O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA’LIM VAZIRLIGI

ICHKI YONUV DVIGATELLARI

Oliy o‘quv yurtlari talabalari uchun darslik

I ISHCHI JARAYONLAR NAZARIYASI

II DINAMIKA VA KONSTRUKSIYALASH

TOSHKENT
«TURON-IQBOL»
2007

31.365
I-94

Taqrizchilar: **B.R.To'layev** – Tosh DTU «Energomashinasozlik» kafedrasi mudiri, dotsent
B.T.Fayziyev – ToshTYMI «Lokomotivlar» kafedrasi mudiri, texnika fanlari nomzodi, dotsent

Tarjimonlar: **M.M. Fayziyev, M.M. Miryunusov, M.M. Orifjonov, B.I.Bozorov**
Двигатели внутреннего сгорания
(M.:«Высшая школа», 1995) nashridan tarjima.

M. M. Fayziyev va boshq.
Ichki yonuv dvigatellari: Oliy o'quv yurtlari talabalari uchun darslik. Q.I: Ishchi jarayonlari nazariyasi. QII: Dinamika va konstruksiyalash/ Tarj. Fayziyev M.M. va boshq.; O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta-maxsus ta'lim vazirligi. - T.: «Turon-Iqbol», 2007. 608 bet.

BBK 31.365ya73

Kitobning I qismida ishchi jarayonlar va ularni IYOD ning energetik, tejamkorlik va ekologik ko'rsatkichlariga, shuningdek, ishonchlilik parametrlariga ta'siri ham ko'rib chiqilgan. Dvigatellarning konstruksiyasi va ishlatilishining o'ziga xosligini ish jarayonlarining kechishiga ta'siri tahlil qilinadi.

Kitobdning II qismida krivoship-shatun mexanizmi kinematikasi va dinamikasi bo'yicha ma'lumot berilgan, IYOD va ularning qismlarini muvozanatlash, tebranishi, shovqini va titrashi masalalari yoritilgan; IYOD detallari va tizimlarining ishlash sharoiti, konstruksiyalarining o'ziga xosligini tahlili va hisobi keltirilgan; EHM dan foydalanib IYOD ning loyihalash asosi ko'rib chiqilgan.

Texnika oliy o'quv yurtlari talabalari va mutaxassislari uchun mo'ljallangan.

O $\frac{1602050000-47}{M361(04)-2007}$ 2007

ISBN 978-9943-14-075-2

© M.:«Высшая школа»
В.Н. Лукашин и др.
© Turon-Iqbol, 2007-y.

SO'ZBOSHI

Kitobning birinchi qismida «Avtotraktor dvigatellari» (ATD) o'qituvchilari va transport dvigatellari muammosi laboratoriyasining (TDML) xodimlaridan tashkil topgan Moskva davlat avtomobil-yo'l instituti (texnika universiteti) mualliflari jamoasi bir necha o'n yillar davrida tadqiqot ishlari natijalarini o'z ichiga olgan ko'p ma'lumotlarni to'plashgan. Darslik deyarli boshqa o'qitish materiallarida mavjud bo'lmagan bo'limlarga ega.

Darslikda birinchi bo'lib (hech bo'lmaganda Rossiyada) materialni o'rganish davomida kompyuterdan foydalanishni aynan faraz qilib, IYOD faniga sintezlab yondashishga harakat qilish amalga oshirilgan.

MAYI (TU) ATD kafedrasi kompyuter texnikasini qo'llash bo'yicha bir qancha bosqichlarni o'tdi va tajriba orttirdi. Avvalambor ushbu texnikani yetishmaslik davrini, shuningdek, uni sotib olishga mablag'ning kamligini ham ko'rsatib o'tish lozim. Bu muammolar hozirgi paytda ham mavjud. Biroq kafedra bugungi kunda ushbu texnika bilan qoniqarli darajada jihozlangan: kafedraning hisoblash markazi faoliyat ko'rsatmoqda: IBM PC shaxsiy kompyuterlar bilan jihozlangan sinfga ega; ATD kafedrasi va TDML xodimlari mualliflari bo'lib hisoblangan ilmiy tadqiqotning avtomatlashtirilgan tizimi faoliyat ko'rsatmoqda.

Kafedraning hisoblash texnikasi har doim markazlashtirilgan bo'lib, boshlanishida faqat tadqiqot hisoblari uchun xizmat qilgan, talabalar faqat qanday bajarilishini kuzatib turar edilar. Ma'lum vaqtdan so'ng talabalarning kurs va diplom loyihalarini bajarish uchun (YEC va SM mashinalar) EHM da ishlashga jalb qilishni, shuningdek, mashinaga stendni boshqarish vazifasini topshirish bilan tadqiqot ishlarini o'tkazishni faol davri boshlandi.

Shaxsiy kompyuterga o'tish amalga oshirilgan hozirgi paytda barcha talabalarni EHM dan foydalanish ko'nikmasini hosil qilish imkoniyati mavjud. Shunday qilib, EHM ni o'quv jarayonida va tadqiqot amaliyotida ishlatishda 30 yildan ko'p davrda orttirilgan tajriba ushbu darslikda o'z aksini topgan.

Biroq o'quv jarayonida EHM dan foydalanish imkoniyati to'liq mavjud degan tushunchani va YEHM asosida kelajak mutaxassislarni tayyorlashni barcha didaktik tamoyillari va o'quv jarayonini tashkil etish yechimlari ishlab chiqilgan deb tasdiqlashga hali erta.

Darslik ustida ishlash natijalarining tahlili quyidagi xulosalar chiqarishga imkon beradi:

· Ma'ruza darsiga vaqtning an'anaviy sarfining qisqarishida materialni talabchan va chuqurroq bayon qilishga imkon tug'ildi. Shunday qilib, asosiy kuch mustaqil ishlashga, amaliy mashg'ulotga, seminarlarga yo'naltirildi. Bu o'qitish jarayonini yakkalashtirishga imkon beradi.

· Kompyuterli o'qitish majmuasi (darslik) o'qiyotgan turli guruhlar uchun yetarlicha moslanuvchanlik bilan materialni dozalashga imkon beradi. Bu doimo darslik tarkibini kengaytirish bilan material hajmini ko'paytirishga, bayon qilishning zamonaviy usullarini qo'llashga imkon beradi. Mualliflar tomonidan darslikning barcha bo'limlarida ushbu sifatga hozircha to'laligicha erishilgani yo'q. Biroq darslikning kompyuter kursini takomillashtirish jarayoni uzluksiz.

· Ushbu darslik asosida o'qitishni tashkil etishda moliyaviy xarajat kam sarflanadi. Demak, u an'anaviy usulga qaraganda tejamkor. Bunda hisobli tajribalarni o'tkazish ekologik tozalikni va IYOD ishlashining ekstremal holatining modellashtirilishi mumkinligini ta'minlaydi. Ushbu tizimni qo'llash foydalanuvchi uchun ko'p xarajatni talab qilmaydi (faqat shaxsiy kompyuter kerak bo'ladi). Shu bilan birga o'quv majmuasini ishlab chiqishda ko'p mehnat sarflanganligini ta'kidlab o'tish zarur, bu uning narxini yuqoriligini bildiradi.

· O'qitish imkoniyatini jiddiy ravishda kengaytirishi bilan birga o'qituvchilarning kasb darajasiga bo'lgan talab keskin ortadi, ularning mehnati jiddiy jadallashadi, o'qitiladiganlarga tavsiya etiladigan masalaning sifatini, mazmunini va ko'p variantliligini oshirish zarurati tug'iladi. O'qituvchi algoritmlarni ishlatish imkoniyatini va o'qitilayotganlarning namunaviy xatolarini yaxshi tasavvur qilishi, hisoblash texnikasini bilishi kerak.

· Tabiiy va imitatsiyali tajribalarni «qo'lda» hisoblash hajmini va EHM yordamida hisoblashni, o'quvchi-o'qituvchi-kompyuter majmuasi tizimida muloqot xarakterini birgalikda samarasini aniqlash bo'yicha bir qancha uslubiy masalalarni ishlab chiqish talab qilinadi.

· Kompyuter majmuasi (darslik) IYOD bo'yicha o'quv jarayonining barcha elementlarini: ma'ruza, laboratoriya ishlari, loyihalash, modellashtirish va IYOD dagi jarayonlarni tadqiqot qilishni ta'minlaydi.

Mualliflar darslikni yozishda EHM asosiy emasligini uqtirib, fan doirasi — ichki yonuv dvigatelini asosiy deb ko'rsatdilar. EHM dan foydalanishning rivojlanishi kompyuter romantizmidan (EHM hamma narsani qilishi mumkin; hamma narsani EHM yordamida hal qilish mumkin) hisoblash texnikasi — faqat asbob uning yordami bilan o'qitish masalasini yechish mumkinligi, lekin o'qituvchini inkor qilmagan holda, unga esa faqat yordamchi sifatida qarash tushunchasigacha yo'lni bosib o'tdi.

IYOD o'qitishni eng ko'p samaradorligiga o'quv jarayonining barcha elementlariga EHM ni kiritish bilan, ya'ni IYOD va EHM ni qarama-qarshi

qurilishidan emas, balki IYOD to'g'risidagi zamonaviy bilim, IYOD o'qitishni uslubiy tajribasi va hisoblash texnikasini rivojlanishi hayotda keltirib chiqargan zamonaviy axborot texnologiyasi an'analarini birlashtirish bilan o'qitish majmuasini sodir qilishda erishish mumkin.

Ushbu darslikdan foydalanish o'qitishning guruhiy usulidan yakka tartibda o'qitishga o'tish uchun mo'ljallangan.

Agar talabada qarab turish refleksi ishlab chiqilgan bo'lsa, o'qitish samarasi ortadi: «Nima bo'ladi, agarda..?».

Shunday qilib, hurmatli hamkasabalar, fikr yuriting, vaziyatlarni, masalalarni mustaqil toping va ularni tavsiya etadigan dasturni ta'minlash yordamida kompyuterda yeching.

Darslik uchta kitobdan tashkil topgan: **birinchisida** IYOD ishchi jarayonlari nazariyasi, yonilg'i uzatish tizimlari, IYOD ni boshqarish, IYOD ning ekologik tavsiflari bayon qilingan; **ikkinchisida** — IYOD kinematika va dinamikasi, IYOD detallari va mexanizmlarini konstruksiyalash va mustahkamlik hisobi, IYOD tebranishi; **uchinchisida** kompyuter praktikumini tashkil etuvchilarini ishlatish bo'yicha umumiy uslubiy ko'rsatmalar berilgan (kompyuterli ma'ruza, IYOD nazariyasi va konstruksiyasi bo'yicha laboratoriya ishlari, kurs va diplom loyihalari, IYOD ni modellashtirish), shuningdek, magnit tashuvchilar to'plami ham berilgan.

Darslik «Yer usti transporti tizimi» yo'nalishi, «Avtomobil va traktorsozlik«, «Avtomobillar va avtomobil xo'jaligi», «Muhandislik qurollanish mashinalari» mutaxassisliklari, «Energomashinasozlik» yo'nalishi, «Ichki yonuv dvigatellari» mutaxassisligi, «Texnologik mashina va jihozlar» yo'nalishi, «Ko'tarish-eltish, qurilish, yo'l mashinalari va jihozlari» mutaxassisligi, «Transport vositalaridan foydalanish» yo'nalishi, «Yo'l harakatini tashkil etish», «Servis, transport, texnologik mashinalar va jihozlaridan texnik foydalanish» (avtomobil transporti; qurilish, yo'l va maishiy mashinasozligi) mutaxassisliklari bo'yicha bilim olayotgan oliy o'quv yurti talabalari uchun mo'ljallangan.

Kitobning ikkinchi qismi ichki yonuv dvigatellari bo'yicha darslikning dvigatel kinematikasiga, dinamikasiga, elementlari va tizimlarini konstruksiyalash va hisoblash asoslariga taalluqli bo'lgan bo'limlarni o'z ichiga olgan.

Kitobda keltirilgan o'quv materialining asosida MAYI (TU)ning mualliflik jamoasi a'zolari tomonidan «Yer usti transport tizimlari» yo'nalishidagi talabalar uchun o'qilayotgan ma'ruzalar yotadi. Ularning mazmuni va hajmi o'quv rejasi va dasturiga mos keladi.

«Energomashinasozlik» yo'nalishi, «Ichki yonuv dvigatellari» mutaxassisligi; «Texnologik mashinalar va jihozlar» yo'nalishi, «Ko'tarish-tashish, qurilish, yo'l mashinalari va jihozlari» mutaxassisligi; «Transport vositalaridan foydalanish» yo'nalishi va «Yo'l harakatini tashkil etish», «Transport va texnologik mashinalar hamda jihozlarning servisi va texnik ekspluatatsiyasi» (avtomobil transporti; qurilish, yo'l va kommunal mashinasozlik) mutaxassisliklari; «Yer usti transport tizimlari» yo'nalishi va

«Avtomobil va traktorsozlik», «Avtomobillar va avtomobil xo'jaligi», «Muhandislik qurollanish mashinalari» mutaxassisliklari bo'yicha o'qiyotgan talabalar ham darslikdan foydalanishlari mumkin.

Ayrim bo'limlarning materialini bayon qilish uslubi dvigatelning ish qobiliyatini, shuningdek, EHM dan foydalanib, qismlarning termik va dinamik yuklanishini zamonaviy tahlil qilish usullariga iloji boricha moslashtirilgan.

O'quv materialida yer usti transport vositalarida ishlatiladigan dvigatellarni, ularning qismlari va tizimlarini konstruksiyalashda yangi yutuqlar kiritilgan, shuningdek, ularni ishlab chiqarishni, ishlatishni va ta'mirlashni zamonaviy texnologiyalari bayon qilingan.

Kitobning I qismini M.M.Fayziyev, M.M.Miryunusov, M.M.Orifjonov; II qismini – so'zboshi, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 bo'limlarni M.M.Fayziyev, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 bo'limlarni M.M.Miryunusov va 15, 16 bo'limlarni B.I.Bozorov tarjima qilganlar.

KIRISH

Katta hajmdagi yuklar va yo'lovchilarni tashish zarurati avtomobillarni ko'plab ishlab chiqarilishiga olib keldi. Bunday an'ana hozirgi paytda ham o'z mavqeini saqlab turibdi.

Porshenli ichki yonuv dvigatellari (PIYOD) deyarli 100 yillik rivojlanishi natijasida yaqin kelajakda yuqori darajada takomillashgan asosiy avtotransport energetikasi bo'lib qoladi. PIYOD konstruksiyasiga ta'sir qiluvchi omillarga solishtirma quvvati, ishonchliligini oshirish zarurati, ishlatiladigan yonilg'i va ashyoni eng kam sarfida va narxida turli ishlatish sharoitida dvigateldan foydalanishning mumkinligi kiradi. Bulardan tashqari dvigatelning konstruksiyasi va ish jarayonlari me'yoriy cheklovlar va texnologik talablar bilan ham aniqlanadi. Yuqorida ta'kidlab o'tilganlarni birmuncha mukammalroq tushuntiramiz. Dvigatel va ularning iste'mol qiladigan yonilg'isi eng katta samarani faqat dvigatel iste'mol qiladigan yonilg'ini hisobga olgan holda uning barpo qilinishi to'g'ri holat deb hisoblanadi. Yaqin kelajakda neftdan olinadigan yonilg'ilarning turlari PIYOD uchun asosiy energiya tashuvchilari bo'lib qoladi. Biroq yaqin o'n yillikda energiyaga bo'lgan talabning o'sishini taxmin qilish kerak. Bu haqiqat, chunki hayot farovonligini va darajasini oshirish jonboshi (to'g'ri keladigan) iste'mol qiladigan energiyaga to'g'ri proporsional. Ushbu holat bugun bo'lmasa yaqin kelajakda muqobil yonilg'i turlari orasida tanlov o'tkazishga majbur qiladi.

Tabiiy, PIYOD ning rivojlanish an'anasi murakkabroq yechimlarni ishlatish yo'li bilan foydali ish koeffitsiyenti (FIK) dan eng yuqori samara olishdagi intilishda o'zini namoyon qiladi.

Dvigatel konstruksiyasining murakkablashishi, ayniqsa, foydalanish doirasida mehnat sarfini ortishini talab qiladi, bu maqsadga muvofiq emas. Demak, ishchi kuchi tanqisligini taxmin qilib, xizmat qilish va ta'mirlashda mehnat sarfini kam bo'lishini talab qiladigan dvigatellarni ishlab chiqarish va tayyorlash texnologiyasini yo'naltirilgan an'anasiga ta'sir qiladi.

Agar yana bir bor yonilg'iga e'tibor berilsa, dunyoda mahsulotlarni ishlab chiqarish an'anasi texnik talablar bo'yicha me'yorini chegara doirasiga yaqinligini kuzatish mumkin. Bunday an'ana unga o'sib borayotgan ehtiyojni qondirish uchun ko'p yonilg'i ishlab chiqarish talabi tufayli sodir bo'lmoqda. Yonilg'i sifatining pasayishi, foydalanish jarayonida kelib chiqishi

mumkin bo'ladigan salbiy oqibatlarni chetlab o'tishga imkon beradigan yechimlarni izlashga majbur qiladi. Bunday holat rostlanishlarni aniqligi va barqarorligiga yuqori bo'lgan talablarni qo'yadi, bu esa PIYOD konstruksiyasini murakkab bo'lishiga olib keladi va foydalanishda mehnat sarfining yuqori bo'lishini talab qiladi. Hozirgi paytda xizmat qiluvchilar malakasining pasayganligini ko'rsatib o'tish mumkin. Boshqacha aytganda, yuqoriroq takomillashgan PIYOD foydalanishda malakasi pastroq ishchilar qo'liga topshiriladi. Bu yerda bir qancha: PIYOD ishlatish sohasining kengayishi, unga xizmat qilishda va ta'mirlashda ish unumdorligining sekinlik bilan o'sishi kabi sabablarni aytish mumkin. Demak, texnik tavsiflarini nominal parametrlarini buzilishida yoki noto'g'ri foydalanishda ham PIYOD ning ishonchli ishlashi ta'minlanishi kerak. PIYOD ning zamonaviy imkoniyatini aniqlaydigan (belgilaydigan) bosh texnik-tejamkorlik omillari shulardan iborat. Biroq ular «me'yorli cheklanishlar» bilan to'ldirilishi zarur. Bu yerda avvalambor PIYOD da zaharli va zaharsiz ajralib chiqishlarni va akustik nurlanish miqdorini cheklash to'g'risida so'z yuritilmoqda.

Amaliyotning ko'rsatishicha, ularning keyinchalik takomillashtirilish rezervi hali tugaganicha yo'q. Mualliflar darslikda ishchi jarayonlar nazariyasi va hisoblarining rivojlanishi, shuningdek, PIYOD konstruksiyalashning yangi usullarini qo'llashni (shu jumladan ALT) so'nggi yutuqlari va kelajak yo'nalishlarini aks ettirishga intildilar. Muqobil yonilg'ilarni va yangi konstruksion ashyolarning ishlatilishiga yetarlicha e'tibor qaratilgan. Erishilgan yutuqlarni ko'pchiligi PIYOD tizimlarini boshqarish uchun mikroprosessorli texnikani ishlatish bilan bog'liqligi ko'rsatilgan. Bu o'z navbatida mikroprosessor bilan boshqarishga mo'ljallangan dvigatellarning ishchi jarayonlarini va tizimlari konstruksiyasini tashkil etishda taraqqiyotga olib keldi: yonilg'i uzatish va aralashmani uchqundan o't oldirish, gaz taqsimlash fazalari, kiritish va bosim ostida kiritish boshqariladigan tizimlari, silindrda zaryadning uyurma harakati jadalligi boshqariladigani, ishlatilgan gazlarni neytrallash va boshqalar. Silindrlar ishchi hajmini, siqish darajasini, issiqlikni foydalanishga tiklashni o'zgarishini boshqarishga imkon beradigan ishga yaroqli konstruksiyalarni izlash davom etmoqda.

Bunga bog'liq holda PIYOD ning yaxshi ekologik ko'rsatkichlari bilan birgalikda yonilg'i tejamkorligiga bo'lgan qattiq talablarni qondirish maqsadida dvigatelning mikroprosessorli boshqarish majmuasining yangi muammosi paydo bo'ldi.

Shuning uchun IYOD bo'yicha mutaxassislarni tayyorlash va zamonaviy talablarga javob beradigan o'quv materiallarini barpo qilish muhim vazifa bo'lib qoladi.

Ichki yonuv dvigatellari bo'yicha darslikning kompyuter versiyasini ishlab chiqish borasida mualliflar fanning barcha bo'limlarida klassik qarashni saqlab qoldilar, bu uning tarkibida o'z aksini topdi: ishchi jarayonlar nazariyasi; kinematika va dinamika; dvigatel detallarining konstruksiyasi va mustahkamlikka hisobi; laboratoriya praktikumi; kurs (diplom) loyihasi

bo'yicha qo'llanma; IYOD jarayonlarini modellashtirish.

PIYOD ning ishlash tamoyillarini chuqur tushunish, uning keyingi rivojlanish yo'llari va usullarini qat'iy ilmiy asoslash — bo'lajak mutaxassisga qo'yiladigan eng asosiy talabdir.

Bizning nuqtayi nazarimiz bo'yicha muammolar majmuasidan quyidagilarni asosiylari deb ko'rsatamiz:

1) yonilg'i tejamkorligini yaxshilash;
2) PIYOD ekologik tavsiflarini takomillashtirish;
3) PIYOD ishonchliligini oshirish.

Yaqin kelajakdagi muhandisning asosiy vazifasini quyidagicha ifodalash mumkin: energetik qurilmalarni ishlab chiqarishda va ishlatish jarayonida atrof-muhitga eng kam ta'sir qilishi, eng kam mehnat, ekspluatatsion ashyolar va energiya sarfi bilan avtomobilda tashishni yuqori sifat va samaradorligini ta'minlaydigan ekologik toza avtomobilning energetik qurilmasini ishlab chiqish.

Avtomobil energetik qurilmasini butun hayotiy sikli davomida atrof-muhit bilan o'zaro ta'sirlanishi moddalar, energiya va entropiya orqali, ya'ni konstruksion va ekspluatatsion ashyolarni olishda, tayyorlashda, transport ishlarini bajarishda, ish qobiliyatini tiklashda va foydalanishga tiklashda sodir bo'ladi.

Avtomobil energetik qurilmasi ekologik toza deb hisoblanadi, agar uni barpo qilishda, ishlashida va foydalanishga tiklashda «Avtomobil transporti — atrof-muhit» ekotizimi barqarorligini buzishga olib kelmasa, ya'ni uning holat tavsiflarini ruxsat etilgan chegarasidan chiqishi (antropogen o'zgarishlarni yoki texnogen ta'sirlarni reglament qilinadigan) tushuniladi.

Shunday qilib, energiya qurilmasiga quyidagi talabni ifodalash mumkin: transport xizmati xavfsizligi, transport komfortini va yuklarni tashishda uning buzilmasligini ta'minlashi, atrof-muhitga zararsiz ta'sir qilishi, tabiiy boyliklarni saqlashi (yonilg'i — energetik, material, mehnat). Transport samaradorligining talabi ham muhim bo'lib qoladi, unga har qanday, shu jumladan ekologik toza energetik qurilma ham muvofiq kelishi kerak.

Yengil avtotransport vositalarining benzinli energetik qurilmalari uchun solishtirma quvvatning yuqorililigi, chiqarib tashlanadigan azot oksidlari, yarimaromatik uglevodorodlarining eng kamligi, shovqinning ruxsat etilgan darajasi va solishtirma yonilg'i sarfining eng kamligi; dizellar uchun — eng kam solishtirma yonilg'i sarfi, shovqinning ruxsat etilgan darajasi, chiqarib tashlanadigan azot oksidlari, qattiq zarrachalar va yarimaromatik uglevodorodlar ko'p ahamiyatga ega bo'ladi.

IYOD — murakkab texnik obyekt. EHM IYOD ga tatbiqan sinashda va tadqiqotlardagi boshqarish — o'lchash kabi majmualarda mikroprosessor sifatida uni tashkil etuvchisi, uni loyihalashda asbob, o'qitish jarayonida element bo'lib hisoblanadi.

I BOB
DVIGATELLARNING ISHLASH TAMOYILLARI, KO'RSATKICHLARI VA SHAROITLARI

1.1. DVIGATELLARNING ISHLATILISH SOHALARI VA TASNIFLASH BELGILARI

Biror energiyani mexanik ishga aylantiradigan qurilma ***dvigatel*** deb ataladi.

Issiqlik energiyasini mexanik ishga aylantiradigan mashinalar ***issiqlik dvigatellari*** (ID) deb nomlanadi.

ID barcha turdagi transport (temir yo'l, daryo, dengiz avtomobil va havo), qishloq xo'jaligi va yo'l qurilish mashinalari energetik qurilmasining asosiy turi hisoblanadi. ID *ko'chmas* va *transportga o'rnatiladigan* turlarga ajratiladi.

Transport dvigatellari uchun tezlik va yuklama rejimlarini keng miqyosda o'zgarishida ishlashi, shu bilan birga uning holatini o'zgarishida ham ishlash qobiliyatini saqlashi o'ziga xos hisoblanadi. Tashqi o'lchamlari va massasini kamaytirish bo'yicha unga yuqori talablar qo'yiladi.

Ishchi jismga (IJ) issiqlik berish usuli bo'yicha (IJ — bu substansiya bo'lib, u orqali issiqlik energiyasining mexanik ishga aylanishi sodir bo'ladi) *issiqlik tashqaridan beriladigan dvigatellarga* (ITBD) va ichki *yonuv dvigatellariga* (IYOD) ajratiladi.

ITBD quyidagi o'ziga xos xususiyatlarga ega:

· IJ issiqlik dvigatelining ishchi silindridan tashqarida beriladi (odatda, issiqlik almashgichda);

· IJ yangilanmaydi va turli agregat holatida berk kontur bo'yicha aylanadi;

· Ish turbinada yoki kengayish silindrida sodir bo'ladi;

· 1.1-rasmda ID ga misol tariqasida bug' dvigateli va uning sxemasi keltirilgan.

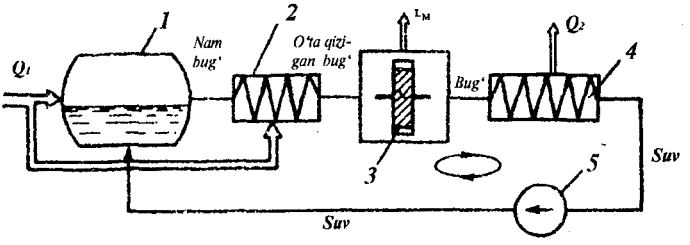
Bu yerda IJ ga (suv) issiqlik bug' generatori va bug' qizitkichda beriladi, mexanik ish L_m bug' turbinasida sodir bo'ladi, IJ dan Q_2 issiqlik kondensatorda olinadi, u yerda turbinada ishlatilgan bug' suvga aylanadi. So'ngra suv ta'minlovchi nasos orqali qaytadan bug' generatoriga haydaladi.

IYOD uchun quyidagilar xususiyatli:

— yonilg'ining yonishi, issiqlikning ajralishi va uning mexanik ishga aylanishi dvigatel silindrida sodir bo'ladi;

— IJ dvigatelning ishlash jarayonida yangilanib turadi.

IYOD ITBD ga nisbatan kam tashqi o'lchamlarga va ishlab chiqaradigan birlik quvvatiga mos keladigan kam massaga ega, shuning uchun ular hozirgi paytda transport energetik qurilmasining asosiy turi hisoblanadi.



1.1-rasm. **Bug' dvigatelining sxemasi:**
1 — bug' generatori (qozon); 2 — bug' qizitkich; 3 — bug' turbinasi;
4 — kondensator; 5 — ta'minlovchi nasos.

Yonadigan yonilg'ining issiqlik energiyasini mexanik ishga aylantiradigan qismlarini konstruksiyasi bo'yicha quyidagicha farqlanadi: porshenlari qaytma-ilgarilanma harakatlanadigan porshenli IYOD (PIYOD); porshenlari aylanma harakatlanadigan dvigatellar yoki rotor-porshenli IYOD (RPD); gazturbinali dvigatellar (GTD); reaktiv dvigatellar (RD).

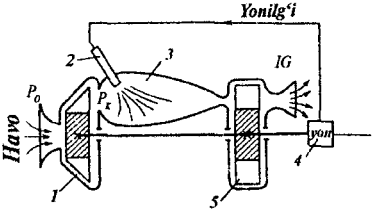
Misol sifatida IYOD ning mavjud konstruksiyasi belgilarini tahlil qilish uchun 1.2-rasmda keltirilgan oddiy bir valli GTD sxemasini ko'rib chiqamiz.

Dvigatelning ishlash tamoyili quyidagilarni o'z ichiga oladi: ishchi g'ildiragi turbinaning valida o'rnashgan kompressor orqali havo P_K bosimgacha siqiladi va yonish kamerasiga uzatiladi, unga yonilg'i nasosi bilan forsunka orqali yonilg'i purkaladi. Yonilg'i to'zoni o't oldirish shami orqali yondirilganidan so'ng harorati yuqori bo'lgan yonish mahsuloti hosil bo'ladi va u turbinaga o'tib foydali ish bajaradi. So'ngra IJ ishlatilgan gaz (IG) ko'rinishida dvigateldan chiqadi. Keltirilgan tizimdan kelib chiqqan holda, ishchi jismga issiqlik dvigatelning ichida beriladi va IJ davriy ravishda yangilanib turadi.

Yonilg'i tejamkorligi qoniqarsiz bo'lganligi tufayli RPD, GTD va RD yer usti transport texnikasida keng miqyosda ishlatishda o'z o'rnini topmadi. Bu yerda energetik qurilma sifatida, asosan, PIYOD[1] ishlatiladi.

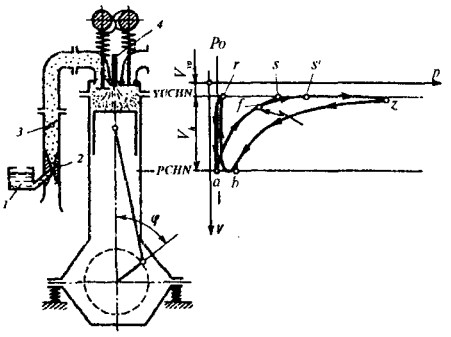
Aralashmani alangalanish usuli bo'yicha IYOD *majburiy alangalantiriladigan* (ko'proq uchqunli) va siqish natijasida alangalanib ishlaydigan dizellarga bo'linadi.

Uchqun orqali o't oldiriladigan dvigatellarda ikki xil yonilg'i ishlatiladi:

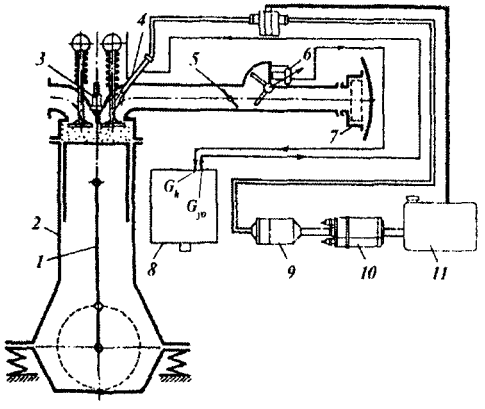


1.2-rasm. **Bir valli gazturbinali dvigatelning sxemasi:**
1 — kompressor; 2 — forsunka;
3 — yonish kamerasi;
4 — yonilg'i nasosi; 5 — turbina.

[1] Bundan keyin PIYOD qisqartirilgan holda IYOD deb qo'llaniladi.



1.3-rasm. **Karbyuratorli dvigatelning sxemasi va indikator diagrammasi:**
1 — qalqovichli kamera; 2 — karbyurator diffuzori; 3 — drossellash to'sma qopqog'i; 4 — o't oldirish shami.



1.4-rasm. **Kiritish tizimiga benzin purkaladigan dvigatelning sxemasi:**
1 — krivoship-shatun mexanizmi; 2 — karter; 3 — o't oldirish shami; 4 — forsunka; 5 — drossel; 6 — sarf o'lchagich; 7 — havo tozalagich; 8 — boshqarish elektron bloki; 9 — yonilg'i filtri; 10 — yonilg'i nasosi; 11 — yonilg'i baki.

suyuq — ko'pincha benzin (benzinli dvigatellar) va **gazsimon** (gazda ishlaydigan dvigatellar).

Uchqun orqali o't oldiriladigan dvigatellar karbyuratorli (1.3-rasm) va gazda ishlaydigan bo'lishi mumkin, silindrlarga kiradigan yonilg'i-havo aralashmasi ularning tashqarisida, ya'ni karbyurator yoki qorishtirgich deb ataladigan mustaqil tuzilmada tayyorlanadi. Bunday dvigatellar tasniflashning boshqa belgisi bo'yicha tashqarida aralashma hosil bo'ladigan IYOD ga kiritiladi.

Yonilg'i silindrga yoki kiritish quvuriga (odatda, kiritish klapaniga) purkaladigan dvigatellar ham mavjud (1.4-rasm).

Dizel silindr ichida aralashma hosil qiladigan dvigatellarga kiritiladi (1.5-rasm).

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelni dizeldan farqlanadigan yana bir belgisini aytib o'tmoq zarur, bu esa quvvatni rostlash usuli.

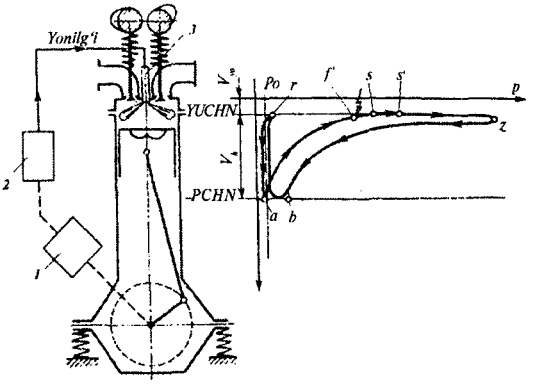
Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar miqdoriy rostlanadigan IYOD ga taalluqli, ularning quvvati rejimlarini ko'p qismida silindrga kiritiladigan yonilg'i — havo aralashmasi (YOHA) miqdorini o'zgartirish bilan rostlanadi.

Dizellar sifatli rostlanadigan dvigatellarga kiradi, ularning quvvatini o'zgartirish uchun deyarli o'zgarmaydigan havo zaryadi miqdoriga turli miqdordagi yonilg'i purkaladi va buning natijasida YOHA tarkibi keskin o'zgaradi, ya'ni undagi yonilg'i

va havoning nisbiy tarkibi o'zgaradi.

Bunday holat yonilg'i energiyasini mexanik ishga aylantirishni ta'minlovchi fizik-kimyoviy jarayonlar xususiyatiga jiddiy ta'sir qiladi.

Siklni amalga oshirish bo'yicha IYOD ikki taktli va to'rt taktliga ajratiladi. Porshenning yuqori va pastki chekka nuqtalari (YUCHN va PCHN) orasida harakatlanishida silindr ichida kechadigan jarayonlar majmuasining ishi bo'lgan taktning ta'rifiga muvofiq, to'rt taktli IYOD da ishchi jarayonlar tirsakli valni ikki marta aylanishida, ikki taktlida esa bir marta aylanishida sodir bo'ladi.



1.5-rasm. **Dizelning sxemasi va indikator diagrammasi:** 1 — reduktor; 2 — yuqori bosimli yonilg'i nasosi (YUBYON); 3 — forsunka.

1.2. IYOD ISH JARAYONLARI

IYOD ish siklini shakllantiradigan jarayonlar xususiyati gaz almashishni tashkil etish tamoyillariga, aralashma hosil qilishni tashkil etish (tashqi yoki ichki) va alangalanish usuliga (uchqundan yoki siqishdan) bog'liq.

1.2.1. TO'RT TAKTLI KARBYURATORLI DVIGATYELNING ISH JARAYONLARI

Silindr ichidagi bosim p ni porshen ustidagi o'zgaruvchan hajmi V ga bog'liqlik ko'rinishga ega bo'lgan indikator diagramma bo'yicha dvigatelning ish jarayonini tahlil qilish qabul qilingan.

1.3-rasmda to'rt taktli karbyuratorli dvigatelning indikator diagrammasi keltirilgan.

I takt (k iritish) krivoshipni 0 dan 180° gacha burilishida amalga oshiriladi, bu porshen ustidagi bo'shliq hajmini j = 0 bo'lganda (YUCHN) V_{yo} dan (yonish kamerasi hajmi) $\varphi = 180°$ bo'lganda (PCHN) $V_a = V_{yo} + V_h$ (silindrning to'liq hajmi) gacha o'zgarishiga mos keladi, V_h hajm *silindrning ishchi hajmi* deb ataladi.

Haqiqiy siklda «takt» va «jarayon» tushunchasi mos kelmaydi. Gaz almashinuvi jarayonlarini yaxshi tashkil etish uchun klapanlar mos kelgan taktni boshlanishigacha ochiladi va uni tugashi bilan yopiladi.

Kiritish boshlanishidan avval yonish kamerasining hajmi V_{yo} da oldingi

siklдan qolgan *qoldiq gazlar* deb ataladigan yonishdan hosil bo'lgan mahsulotlar bo'ladi (1.3-rasmga qarang). Silindrning yangi zaryad bilan to'lishi (diagrammada *ra* chizig'i) unda porshenning PCHN tomon harakatlanishida paydo bo'ladigan siyraklanish tufayli ro'y beradi.

Kiritish takti oxiridagi bosim p_a (*a* nuqta) miqdori dvigatelning tezlik va yuklama rejimlariga bog'liq bo'lgan (YOHA kiritish trakti bo'yicha harakat tezligiga va drossellash to'sma qopqog'ining ochilish darajasiga) kiritish traktidagi gidravlik qarshiliklar bilan aniqlanadi. Nominal quvvat rejimida (drossel to'liq ochiq va tirsakli valning aylanishlar chastotasi nominalga teng) $p_a = (0,8...0,9)\,p_0$ bo'ladi.

T_a haroratga kiritish tizimini va yonish kamerasini shakllantiradigan dvigatel qismlari bilan yangi zaryadning issiqlik almashinuvi va yonilg'i bug'lanishiga sarflangan issiqlik hisobiga uning sovishi ta'sir qiladi, uning o'rnini to'ldirish uchun karbyuratorli dvigatellarda kiritish quvurida YOHA ishlatilgan gazlar yoki sovitish tizimidagi issiq suyuqlik bilan maxsus isitish amalga oshiriladi. Bundan tashqari yangi zaryad harorati uning issiq qoldiq gazlar bilan aralashishi tufayli ham ortadi.

Karbyuratorli dvigatelning nominal rejimida yangi zaryadning isishi ortadi va $T_a = 320...350K$ oralig'ida bo'ladi.

Dvigatel ishining II takti (siqish) krivoshipning $\varphi = 180...360^\circ$ burchakka burilishida sodir bo'ladi (diagrammadagi *ac* chizig'i). Siqish oxiridagi (*c* nuqta) ishchi jismning hisoblangan miqdoriga asosan, ularning boshlang'ich qiymati (p_a, T_a) va V_a va V_{yo} hajmlarni nisbatiga teng bo'lgan siqish darajasi ε ta'sir qiladi, ya'ni $\varepsilon = V_a / V_{yo}$. Zamonaviy karbyuratorli dvigatellar ega bo'lgan $\varepsilon(\varepsilon = 6,5...10)$ ning qiymatlarida $p'_S = 0,9...1,5\,MPa$ va $T_s = 550...750K$ oralig'ida bo'ladi.

Haqiqiy siklni amalga oshirishda siqish takti oxiridagi bosim, ya'ni porshenning YUCHN holatida $p'_s > p_s$ bo'ladi; $p'_s = (1,15...1,25)p_s$, bu yonish jarayonining boshlanishi natijasida bosim ortish oqibati hisoblanadi (*f* — nuqta o't oldirish shamida uchqun razryadi payti). Uchqun berish paytidan porshenning YUCHN ga yetish oralig'idagi burchak *o't oldirishni ilgarilatish burchagi* deb ataladi.

III takt (φ = 360...540°) — k e n g a y i sh takti. Dvigatel ishlashining ushbu takti paytida silindrga kiritilgan yonilg'i asosiy qismining yonishi va ishchi jismning kengayishi sodir bo'ladi va foydali ish amalga oshiriladi.

YUCHN yaqinida, krivoship $\varphi_z = 10...15^\circ$ burchakka burilganda silindr ichidagi bosim eng yuqori qiymat $p_z = 3,5...6,5MPa$ ga erishadi va ishchi jismning harorati mos holda $T_z = 2400...2800K$ gacha ko'tariladi. $\lambda = p_z / p_s$ nisbat *bosimning ortish darajasi* deb ataladi. Zamonaviy karbyuratorli dvigatellar uchun λ = 3,6...4,2 oralig'ida bo'ladi.

Kengayish takti tugashi bilan IJ bosimi va harorati mos holda $p_b = 0{,}53...0{,}5\,MPa$, $T_b = 1400...1700\,K$ hisoblangan miqdorga ega bo'ladi.

Haqiqiy siklda kengayish jarayoni porshen PCHN ga kelishidan avval, chiqarish klapani oldinroq ochilishi tufayli tugashini qayd qilib o'tish kerak.

IV takt $(\varphi = 540...720^\circ)$ — chiqarish takti bir qancha ortiq bosim $p_r = (1{,}05...1{,}2)\,p_0$ ostida amalga oshiriladi, uning miqdori chiqarish tizimidagi gidravlik qarshilikka bog'liq bo'ladi, ishlatilgan gazlar silindrdan $T_r = 900...1100\,K$ harorat bilan chiqadi.

Karbyuratorli dvigatelning haqiqiy siklini termodinamik hisoblashda yonilg'ini yonishida issiqlikning asosiy qismi YUCHN yaqinida ajralib chiqadi deb yo'l qo'yish bilan qabul qilinadi, ya'ni o'zgarmas hajmda issiqlik beriladigan sharoitga yaqin sharoitda $(V = const)$.

1.2.2. TO'RT TAKTLI DIZELNING ISH JARAYONI

1.5-rasmda to'rt taktli dizelning o'ziga xos indikator diagrammasi keltirilgan. O'z-o'zidan ishonchli alangalanishi uchun kerakli haroratni ta'minlash maqsadida dizellarning siqish darajasi karbyuratorli dvigatellarga qaraganda ancha ko'p qilib belgilanadi: $\varepsilon = 14...23$.

Krivoshipning birinchi 180° burilishida $(\varphi = 0...180^\circ)$ kiritish takti bajariladi.

Silindrlarning yangi zaryad bilan to'ldirish jarayoni (dizelda bu havo) va taktning oxiridagi (a nuqta) IJ ko'rsatkichlarining miqdori quyidagi omillar bilan aniqlanadi:

· Dizelning kiritish tizimidagi gidravlik yo'qotish karbyuratorli dvigatelga qaraganda sezilarli darajada kam (karbyuratorning diffuzori va drossellash to'sma qopqog'i yo'q) va ular dvigatelning yuklamasi o'zgarganda o'zgarmaydi;

· Yangi zaryadda yonilg'i ishtirok etmasligi tufayli, kiritish tizimida uning bug'lanishiga yangi zaryad issiqligi sarflanmaydi, shuning uchun kiritish quvurini isitishga ehtiyoj yo'q.

Shu sababli a nuqtadagi dizel bosimi karbyuratorli dvigatelga qaraganda yuqori: $p_a = (0{,}85..0{,}92)\,p_0$.

Siqish darajasi ortganda yangi zaryad bilan harorati past bo'lgan, nisbatan kam miqdordagi ishlatilgan gazlarning aralashishi tufayli dizelning T_a harorati karbyuratorli IYOD ga qaraganda birmuncha kam bo'ladi $(T_a = 310...350K)$. Dizellarning siqish jarayonining o'ziga xosligi $(\varphi = 180...360^0)$ c nuqtada ishchi jismning termodinamik ko'rsatkichlarini karbyuratorli dvigatellarga qaraganda ancha yuqorililigi hisoblanadi: $p_s = 3{,}5...6{,}0\,MPa$; $T_s = 700...900K$; bu, asosan, siqish darajasining kattaligi bilan tushuntiriladi.

Siqish takti oxirida yonish kamerasiga yonilg'i purkash boshlanadi. Yonilg'i purkashning boshlanishidan porshenning YUCHN ga kelgunicha tirsakli valni burilish burchagi *purkashni ilgarilatish burchagi* deb ataladi.

YUCHN gacha yonish jarayonining boshlanishi tufayli silindr ichidagi p_s^1 bosim hisoblangan qiymati p_s dan yuqori bo'ladi: $p_s^1 = (1,05...1,15)p_s$.

Agar karbyuratorli dvigatelda uchqun berilgandan so'ng oldindan tayyorlangan yetarlicha bir jinsli ishchi aralashmaning yonish jarayoni sodir bo'lsa, dizellarda esa yonilg'i purkashning boshlanishidan uning alangalanishigacha bo'lgan qisqa vaqt oralig'ida aralashma tayyorlanadi, shu bilan birga yonilg'ining ko'p qismi silindr ichiga yonish jarayonida purkaladi. Bularning barchasi dizellarda YUCHN yaqinida karbyuratorli IYOD ga qaraganda berilgan yonilg'ining deyarli kam miqdoridagisini yonishiga olib keladi va uning ko'p qismi YUCHN dan so'ng, porshen ustidagi bo'shliqning hajmini sezilarli darajada ortishida yonadi. Shuning uchun dizelning haqiqiy siklini ideallashtirishda IJ ga issiqlikning bir qismi $V = const$ da va boshqa qismi esa $p = const$ da berilib, yonish jarayoni taqlid qilinadi (imitatsiya).

Buning oqibatida bosimni ortish darajasi $\lambda = 1,4...2,2$ karbyuratorli dvigatelga qaraganda kam bo'ladi. Dizel siklining z nuqtadagi eng yuqori bosimi $p_z = 6,0...10,0 MPa$ va mos kelgan harorati $T_z = 1800...2300K$ oralig'ida bo'ladi. T_z miqdorning benzinli dvigatelga nisbatan kam bo'lishiga, asosan, havoning ortiqlik koeffitsiyenti miqdorining ko'pligi sabab bo'ladi.

Kengayish taktining oxiridagi (b nuqta) IJ hisoblangan ko'rsatkichlari $p_b = 0,2...0,4 MPa$ va $T_b = 1000...1200K$ siqish darajasining yuqorililigi va mos holda yongan mahsulotlarning ko'p darajada kengayishi tufayli karbyuratorli dvigatellarga qaraganda kam bo'ladi.

Chiqarish takti $(\varphi = 540...720^\circ)$ biror o'ziga xos tamoyilga ega emas. r nuqtadagi bosim (chiqarish taktining oxiri) karbyuratorli dvigatelning xususiyatiga o'xshab, chiqarish tizimidagi gidravlik yo'qotishlar miqdori bilan aniqlanadi $p_r = (1,05...1,2)p_0$, IJ harorati esa karbyuratorli dvigatelga nisbatan past, $T_r = 700...900K$, bu kengayish takti oxiridagi harorat T_b ning pastligi bilan tushuntiriladi.

1.2.3. IKKI TAKTLI IYOD ISH JARAYONI

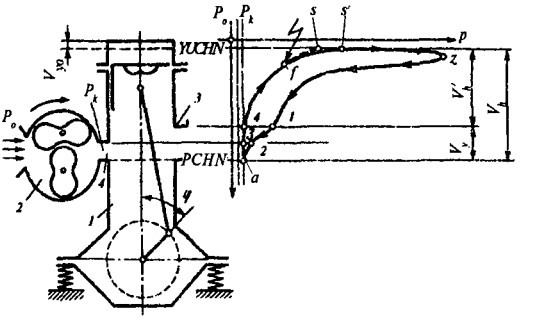
Ikki taktli dvigatelning haqiqiy sikli tirsakli valning bir marta aylanishiga mos keladigan porshenning YUCHN va PCHN oralig'ida ikki marta harakatlanishida amalga oshadi.

Ikki taktli va to'rt taktli dvigatellarning siqish, yonish jarayonlari prinsipial farqqa ega emas, ushbu dvigatellarning ish jarayonlarining o'ziga xosligi gaz almashinuvini tashkil etishning turli usulligi hisoblanadi.

1.6-rasmda ikki taktli dvigatelning sxemasi keltirilgan.

Uning konstruksiyasi asosini krivoship-shatun mexanizmi *1*, puflab haydovchi *2*, chiqarish *3* va puflash *4* darchalari tashkil etadi. Shu yerning o'zida uning indikator diagrammasi keltirilgan.

Birinchi takt $(\varphi = 0...180^\circ)$ quyidagi jarayonlardan tashkil topgan: $c'z$ — yonish jarayonining bir qismi; $z1$ — kengayish jarayoni. Indikator diagrammasining *1* — nuqtasi porshen orqali chiqarish darchasi *3* ning ochilishi boshlanishiga muvofiq keladi, bundan keyin IG erkin chiqishi boshlanadi. Porshenning keyinchalik PCHN tomon ko'chishida u puflash darchasi *4* ni (diagrammada *2* nuqta) ochadi, shundan so'ng PCHN gacha yetguncha (diagrammada *a* nuqta) puflash va chiqarish darchalar orqali silindrning yangi zaryad bilan puflash amalga oshiriladi, silindr ichidagi bosim esa haydovchi hosil qilgan p_k bosim darajasida ushlab turiladi $\left(p_k^1 > p_0\right)$.



1.6-rasm. **Ikki taktli dvigatelning sxemasi va indikator diagrammasi.**

Dvigatel ishlashining ikkinchi takti boshlanishida ham porshenning yuqoriga ko'chishida puflash darchasini (*3* nuqta) to'liq berkitgunicha puflash davom etadi. Shundan so'ng chiqarish darchasi to'liq yopilgunicha porshen ustidagi bo'shliqda joylashgan zaryadning bir qismini siqib chiqarish amalga oshiriladi (*4* nuqta). So'ngra siqish jarayoni 4*f* boshlanadi, uning oxirida (*f* nuqta) karbyuratorli dvigatelda elektr uchquni beriladi, dizelda yonilg'ini purkash boshlanadi va yonish jarayoni sodir bo'ladi.

Ikki taktli dvigatelning farqlanishini o'ziga xosligi bu silindrni ishchi hajmi V_h dan to'liq foydalanmaslik hisoblanadi; uning bir qismi V_y *yo'qotilgan hajm* deb ataladi, ushbu qismi esa gaz almashish jarayonini tashkil qilish uchun foydalaniladi. $\varphi = V_y / V_h$ nisbat *yo'qotilgan hajm* deb ataladi va puflash tizimiga bog'liq holda $\varphi = 0,1...0,28$ oralig'ida o'zgaradi. Shunga bog'liq holda ikki taktli dvigatellarda siqish darajasi haqiqiy $\varepsilon_h = (V_{yo} + V_h) / V_{yo}$ va $\varepsilon = (V_{yo} + V_h) / V_{yo}$ geometrik siqish darajalariga ajratiladi. Bunda $V_h = V_h - V_y$ — ishchi jismni kengayishi uchun foydalaniladigan silindr hajmi. Demak, $\varepsilon > \varepsilon_h$.

1.2.4. IYOD ENERGETIK BALANSI VA TEJAMKORLIK-ENERGETIK KO'RSATKICHLARI

1.7-rasmda keltirilgan energetik balans siklda dvigatelning ishlashi uchun uning silindriga kiritilgan yonilg'i to'liq yonishida energiya sifatida Q_1 ajralishi mumkin bo'lgani foydali (samarali) ish L_e va asosiy yo'qotish turlariga

(issiqlik $Q_{yo'q}$ va mexanik Q_m) bo'linishini ko'rsatadi:

$$Q_1 = L_e + Q_{yo'q} + Q_m.$$

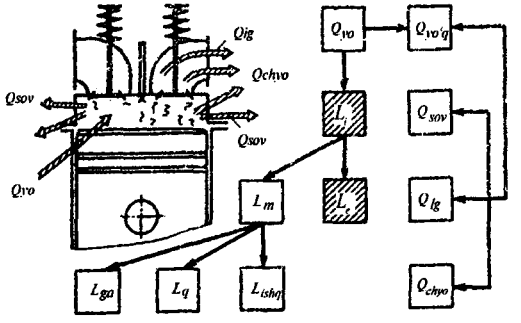
Agar dvigatel bir siklni amalga oshirishida silindrga q_s yonilg'i kiritilsa, u holda $Q_1 = q_s H_u$ bo'ladi, bunda H_u — quyi yonish issiqligi.

Q_1 issiqlikning bir qismi siqish va kengayish taktlarida olinadigan ortiqcha ish ko'rinishida bo'lgan indikator ish L_i ni hosil qilishga ketadi (1.8-rasm).

$$L_i = L_k - |L_s|.$$

Bunga muvofiq L_i indikator diagrammasida shtrixlangan yuza bilan namoyon qilinadi.

Amaliyotda sikl ish qobiliyatining ko'rsatkichi sifatida faqat ish jarayonlarini takomillashtirish bilan aniqlanadigan indikator ishidan foydalanilmasdan, dvigatelning o'lchamlaridan ham foydalaniladigan ishchi hajm birligidan $p_i = L_i / V_h$ olinadigan, bosim o'lchamiga ega bo'lgan, siklning indikator ishi ko'rinishidagi *o'rtacha indikator bosim* deb ataladigan solishtirma ko'rsatkich p_i dan foydalaniladi.



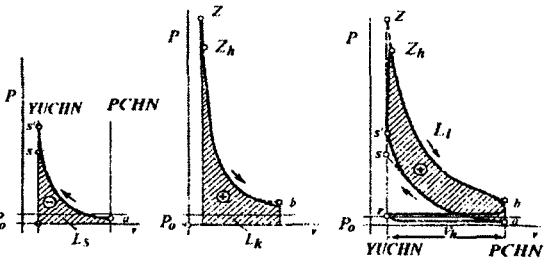
1.7-rasm. **IYOD ning energetik balansi.**

Haqiqiy siklning tejamkorliligi siklga yonilg'i bilan kiritilgan Q_1 issiqlikning qanday qismi indikator ishga aylanishini ko'rsatadigan indikator FIK $\eta_i = L_i / Q_1$ bilan baholanadi. Ushbu ko'rsatkich $L_i = Q_1 - Q_{yo'q}$ ni hisobga olgan holda dvigateldagi issiqlik yo'qotish darajasini belgilaydi:

$$\eta_i = 1 - Q_{yo'q} / Q_1 = 1 - (Q_{sov} + Q_{ig} + Q_{chyo}) / Q_1.$$

Shunday qilib, issiqlik yo'qotishning istalgan turini ortishi, ya'ni zaryadning silindr ichi bo'shlig'ini shakllantiradigan qismlari bilan issiqlik almashinuvidagi issiqlikning yo'qolishi Q_{sov} (asosan, sovitish tizimida atrof-muhitga o'tkaziladigan yo'qotish) Q_{ig}, yoki ishchi jismda jamlangan issiqlikni chiqarish jarayonida silindrdan chiqib ketadigan issiqlikni isrofi (ishlatilgan gazlar orqali yo'qotish), yoki silindrga kiritilgan yonilg'ining chala yonishi bilan bog'liq bo'lgan yo'qotish Q_{chyo} (chala yonish tufayli yo'qotish) η ni kamayishiga olib keladi.

1 sekund davomida olinadigan indikator *ish indikator quvvati* $N_i = L_i / t_s$ deb ataladi. Bunda t_s — bir siklni amalga oshirish uchun ketgan vaqt. Agar dvigatel tirsakli valining aylanishlar chastotasi n, min^{-1} bo'lsa, unga teskari bo'lgan qiymat $1/n$ — bir marta aylanishning minut hisobidagi vaqti va $60/n$ — sekund hisobidagi vaqti. Ushbu holatda $t_s = (60/n)0,5\tau$, bunda τ — taktlilik koeffitsiyenti, ikki taktli dvigatel uchun ikkiga va to'rt taktli dvigatel uchun to'rtga teng. $L_i = p_i V_h$ bo'lishini hisobga olgan holda dvigatelning silindrlar soni i ga teng bo'lganda quvvat $N_i(kVt)$ quyidagiga teng bo'ladi:



1.8-rasm. **Siklning indikator ishini aniqlash.**

$$N_i = p_i n i V_h / (30\tau). \qquad (1.1)$$

Dvigatel tejamkorligini baholash uchun indikator ish birligini hosil qilishga dvigatel qancha yonilg'i sarflashini ko'rsatadigan *solishtirma indikator yonilg'i sarfi* deb ataladigan g_i parametr amaliyotda keng miqyosda ishlatilishi qabul qilingan:

$$g_i = \frac{q_s}{L_i}. \qquad (1.2)$$

g_i miqdor, odatda, $g/(kVt \cdot soat)$ da ifodalanadi, shuning uchun (1.2) tenglamaning suratidagi yonilg'i sarfi *kg/s* o'lchamida beriladi, maxrajidagisi esa kVt da, shundan kelib chiqqan holda $g_i = \frac{G_{yo}}{N_i} \cdot 10^3$ bo'ladi.

Indikator ish qisman foydali ish L_e ni sodir qilishdagi tashqi yuklamani yengishga (ya'ni, transport vositasiga tatbiqan transmissiyaga beradi) va ishqalanishdagi ish L_{ishq} ga, gaz almashinuvi jarayonini amalga oshirishdagi ish L_{ga}* ga sarflanadigan tashkil etuvchilardan iborat bo'lgan dvigatelning ichidagi yo'qotishlar (mexanik yoki ichki yo'qotish) L_{myo} ni yengishga, qo'shimcha agregat va mexanizmlarni yuritish L_q ga (moy va suv nasoslari, dizellarning yonilg'i uzatish apparatlari va boshqalar) sarflanadi.

1.8-rasmda gaz almashishdagi yo'qotishlar, diagrammadagi bra yuzaga proporsional bo'lib, ish siklining manfiy qismi deb hisobga olinishi mumkin. Lekin bu holda termodinamik siklning mosligi gaz almashish jarayonidagi yo'qligi η_i ni η_i bilan taqqoslansa to'g'ri bo'ladi.

Indikator ishning qanday qismi samarali ishga aylanishini ko'rsatuvchi dvigateldagi mexanik yo'qotishlar darajasi mexanik FIK $\eta_m = L_e / L_i$ bilan baholanadi yoki $L_e = L_i - L_{myo}$ ni hisobga olganda quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$\eta_m = 1 - L_{myo} / L_i.$$

Yonilg'i bilan kiritilgan issiqlikning qanday qismi samarali ishga aylanishini ko'rsatuvchi dvigateldagi yo'qotishlar yig'indisi mos holda samarali FIK bilan baholanadi:

$$\eta_e = L_e / Q_1 = L_i \eta_m / Q_1 = \eta_i \eta_m. \quad (1.3)$$

$$N_e = P_e n i V_h / (30\tau). \quad (1.4)$$

Bunda: $p_e = L_e / V_h$ — o'rtacha samarali bosim (p_i ga o'xshash ko'rsatkich). Dvigatelning samarali burovchi momenti M_b p_e ga to'g'ri proporsional, ya'ni $M_b = p_e i V_h / (\pi\tau) = c p_e$.

Yonilg'ining qanday miqdori samarali ish birligini sodir qilishini ko'rsatuvchi *solishtirma samarali yonilg'i sarfi* g_e dvigatelning tejamkorligini baholash uchun qabul qilingan umumiy ko'rsatkichi hisoblanadi:

$$g_e = G_{yo} / N_e \cdot 10^3. \quad (1.5)$$

Bir xil nomlangan indikator va samarali ko'rsatkichlar o'zaro mexanik FIK bilan bog'langan:

$$\eta_m = L_e / L_i = N_e / N_i = p_e / p_i = g_i / g_e.$$

Transport mashinalarining zamonaviy dvigatellarini indikator va samarali ko'rsatkichlari miqdori 4.1- va 4.2- jadvallarda keltirilgan.

1.2.5. LITRLI QUVVAT VA DVIGATELLARNING KUCHAYTIRISH USULLARI

Dvigatelning ishchi hajmi birligidan olinadigan nominal samarali quvvat *litrli quvvat* deb ataladi:

$$N_l = N_e / i V_h = p_e n / (30\tau). \quad (1.6)$$

Litrli quvvat qancha ko'p, ishchi hajmi shuncha kam bo'lsa, bir xil nominal quvvatda dvigatel mos holda kam tashqi o'lchamlarga va massaga ega bo'ladi.

Kuchaytirilganlik darajasi litrli quvvat bo'yicha baholanadi. N_l yuqori qiymatga ega bo'lgan dvigatellar *kuchaytirilgan* deb ataladi.

Litrli quvvatni orttirishga yordam beradigan texnik tadbirlar majmuasi *dvigatelni kuchaytirish* deb ataladi.

Dvigatellarning mumkin bo'lgan kuchaytirish usullari (1.6) ifodadan kelib chiqadi; nominal aylanishlar chastotasi n ni, o'rtacha samarali bosim p_e ni orttirish yoki ikki taktli ish jarayonni qo'llash bilan N_l ortadi.

n ni orttirish bilan litrli quvvatni ko'paytirish karbyuratorli dvigatellarda keng miqyosda foydalaniladi, zamonaviy modellari uchun n 6500 min^{-1} ga va undan yuqoriga erishadi.

Yuk avtomobillari dizellarining nominal aylanishlar chastotasi, odatda, 2600 min^{-1} dan ortmaydi. Shu sababli havo bosimsiz kiritiladigan dizellarda litrli quvvati 12 dan 15 kVt/l gacha oralig'ida yotadi va $N_l = 20...50 kVt/l$ ga ega bo'lgan karbyuratorli dvigatellarning shu kabi ko'rsatkichlariga yon bosadi.

Biroq hozirgi paytda yengil avtomobillar dizellarining ayrim konstruksiyalarida aylanishlar chastotasi bo'yicha ularni kuchaytirish uchun qiyinchiliklarni yengishga erishilmoqda. Nominal aylanishlar chastotasi $n = 4500...5500\ min^{-1}$ ga va litrli quvvati 20 kVt/l gacha ega bo'lgan ko'p miqdordagi dizellar paydo bo'lmoqda.

Aylanishlar chastotasi bo'yicha dizellarni kuchaytirish, litrli quvvatini oshirishda asosiy usul bo'lib hisoblanadigan karbyuratorli dvigatellarga nisbatan kam xarakterli hisoblanadi.

(1.6) bog'liqlik tahlilidan kelib chiqqan holda to'rt taktli ish siklidan ikki taktli ishi sikliga o'tganda litrli quvvat ikki marta ortishi kerak. Haqiqatda esa ishchi hajmning bir qismini gaz almashinuvi jarayonida ishlatish va silindrlarni tozalash va to'ldirish sifatining kamayishi oqibatida puflash nasosini yuritishga energiyaning qo'shimcha sarflanishi N_e faqat 1,5...1,7 marta orttiradi.

Litrli quvvat ko'pligi (50...70% ga) ikki taktli dvigatelning muhim afzalligi hisoblanadi. Biroq silindr ishchi hajmining bir qismidan indikator ishni olish uchun foydalanilmasligi ularning energotejamkorlik ko'rsatkichiga o'xshash to'rt taktli dvigatellarga qaraganda sezilarli darajada kam bo'lishiga olib keladi.

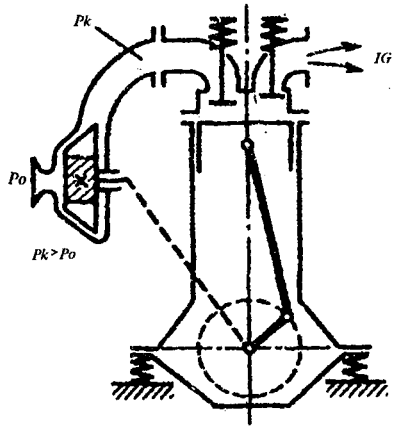
Gaz almashinuvi jarayonlarining qisqa vaqtda kechishi tufayli silindr-porshen guruhi qismlarining issiqlikdan zo'riqishning nisbatan yuqorililigi va yonish kamerasini shakllantiradigan detallardan issiqlikning kam olinishi, shuningdek, ularga yonish jarayonlarining ikki martadan ortiq kelishi bilan tushuntiriladigan vaqt birligida ko'p issiqlik berilishini ikki taktli IYOD kamchiligiga kiritish mumkin.

Ikki taktli karbyuratorli dvigatelning katta kamchiligi silindrni puflash davrida yonuvchi aralashmaning bir qismi yo'qotilishi hisoblanadi, bu ularning tejamkorligini anchaga kamaytiradi.

Litrli quvvatni oshirishga qaratilgan qator tadbirlar ichida o'rtacha samarali bosim p_e bo'yicha dvigatellarni kuchaytirish muhim o'rin egallaydi.

Biroq N_l ni sezilarli darajada p_e ni oshirish yo'li bilan kattalashtirishga faqat ishchi jismga ko'p miqdordagi issiqlik berilishi tufayli ish siklining issiqlikdan yuklanishini oshishida erishish mumkin.

Buning uchun silindrga kerakli ko'p miqdordagi yonilg'ini uzatishda (sikldagi yonilg'i q_s ni ortishi) uning to'liq yonishiga ko'p miqdordagi oksidlovchi talab qilinadi. Amaliyotda bu dvigatelning silindriga kirayotgan



1.9-rasm. **Yuritmali kompressor orqali dvigatelga qo'shimcha havo kiritish sxemasi.**

yangi zaryad miqdorini bosim ostida haydash orqali orttirish bilan amalga oshiriladi. Ushbu usul *dvigatelga qo'shimcha havo kiritish* (*nadduv*) deb ataladi. Bunda p_e, yangi zaryad zichligining ortishiga proporsional ravishda kattalashadi.

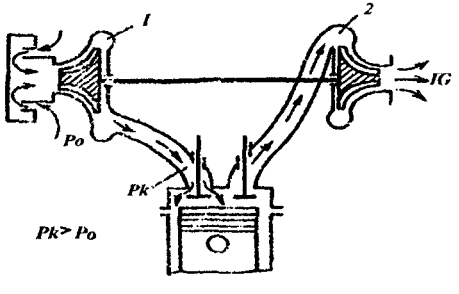
1.9-rasmda qo'shimcha havo kiritiladigan va kompressor IYOD tirsakli validan mexanik yuritma oladigan dvigatelning sxemasi tasvirlangan.

Qo'shimcha havo kiritishning bunday tizimining kamchiligidan biri kompressorni yuritishga energiya sarflanishi tufayli dvigatelning tejamkorligini jiddiy pasayishi hisoblanadi.

Amaliyotda zamonaviy dvigatelsozlikda 1.10-rasmda sxemasi keltirilgan *gazturbina orqali qo'shimcha havo kiritish* keng tarqalgan.

Bu yerda kompressor bilan konstruktiv yaxlit agregat sifatida birlashgan gaz turbinasi *2* da ishlatilgan gazlar energiyasidan markazdan qochma kompressor *1* ni yuritish uchun foydalaniladi. Bunday agregat *turbokompressor* (TK) deb ataladi.

Gaz turbina orqali qo'shimcha havo kiritishda havo kiritadigan agregatning dvigatel tirsakli vali bilan mexanik bog'liqligi mavjud emasligi, TK dan foydalanishda dvigatelning tortish tavsifini va tezlana olishini sezilarli darajada yomonlashtiradi. Bu TK rotorlar tizimi inersiyaligi, shuningdek, tezlanish boshlanishida silindrga kerakli miqdordagi yangi zaryad bilan ta'minlanmasligi tufayli ishlatilgan gazlar energiyasining kamayishi bilan bog'liq. Ushbu kamchilikni bartaraf qilish uchun ko'pincha *qo'shimcha havo berishda aralash tizimdan* foydalanish imkoni tug'iladi. Aralash tizimda qo'shimcha havo berish turli konstruktiv variantda bajariladi va odatda, u yurituvchi kompressor va gaz turbina orqali qo'shimcha havo berishning aralash tizimini ma'lum ko'rinishida bo'ladi.



1.10-rasm. **Gazturbina orqali qo'shimcha havo kiritish sxemasi.**

Dvigatelning silindriga kiritiladigan yangi zaryadning zichligini orttirish uchun ayrim

holatlarda silindrdagi gaz almashinuvi jarayonlarining davriy kelishini natijasi hisoblangan gaz almashinuvi tizimlaridagi tebranish hodisasi (kiritish va chiqarish tizimidagi IJ pulsatsiyasi)dan foydalaniladi. Masalan, kiritish patrubogiga kiritish klapanining berkilishi oldidan uning yonida siqish to'lqini paydo bo'ladigan konstruktiv ko'rsatkichlar (asosan, o'tish kesimining uzunligi va yuzasi) berilsa, u holda silindrga kirayotgan zaryad massasi ortadi. Chiqarish klapani ochiq paytida uning yonida siyraklanish to'lqini sodir bo'ladigan qilib chiqarish quvuri «sozlansa», shunga o'xshash samarani olish mumkin. Buning natijasida silindrlarni tozalash yaxshilanadi va unga ko'p yangi zaryad kiradi.

Gaz almashinuvi tizimining geometrik o'lchamlari to'g'ri tanlanganda ayrim hollarda dinamikaviy havoli bosim ostida kiritish (nadduv) yordamida dvigatelning samarali quvvatini 15...25% orttirishga imkon tug'iladi.

Havoni bosim ostida kiritish usulidan foydalanish yonish kamerasini shakllantiradigan qismlarini issiqlikdan zo'riqishini orttiradi, bu esa silindrga kiradigan yangi zaryad zichligini kerakli darajada orttirishni cheklaydigan asosiy omillaridan biri hisoblanadi. Shuning uchun havo bosim ostida kiritiladigan dvigatellarni konstruksiyalashda va kompressordan chiqishdagi bosim miqdori p_k' ni tanlashda uning qismlarida mexanik va issiqlik yuklamalarning ortishida mumkin bo'lgan oqibatlarni e'tiborga olish kerak.

Dizelning silindriga kirishda hosil qilinadigan bosim miqdori p_k (yoki bosimning ortish darajasi $\pi_k = p_k / p_0$) bo'yicha havoni bosim ostida kiritishni kam $\pi_к < 1,5$, o'rtacha $\pi_к > 1,5...2,0$ va $\pi_к > 2,0$ yuqori darajalilarga ajratiladi. Bunda dvigatelning samarali quvvati mos holda 20...30, 40...50 va 50% dan ortiqqa oshiriladi.

Uchqun orqali o't oldiriladigan dvigatellarda havoni bosim ostida kiritishda *detonatsiyali* yonish deb ataladigan yonish jarayonining buzilishiga qarshi maxsus choralarni ko'rish talab qilinadi (3.3.1- va 3.4.4-bandlarga qarang). Ushbu holat, shu bilan birga IG haroratining yuqorililigi tufayli turbina kuraklarining issiqlikdan zo'riqishi ortishi (yuqoriligi) keltirilgan rusumli dvigatellarda havoni bosim ostida kiritish usulidan amaliy jihatda foydalanishni jiddiy murakkablashtiradi.

1.2.6. ZO'RIQISH, MASSA-TASHQI O'LCHAM VA EKOLOGIK KO'RSATKICHLAR

Dvigatellarning samarali ishlashi va konstruksiyasini takomillashganligini baholash uchun IYOD ning turli xususiyatlari va sifatini tavsiflovchi ko'rsatkichlar tizimidan foydalaniladi.

Ilgari tejamkorligi (η_i, q_i), ishlash qobiliyati (p_i), shuningdek, dvigatelning xususiy ehtiyoji (p_m, η_m) nuqtayi nazaridan baholanadigan ish jarayonini takshil etish va konstruksiyasini takomillashganlik toifasiga taalluqli bo'lgan tejamkorlik-energetik ko'rsatkichlari tahlil qilingan edi.

Dvigatel konstruksiyasini issiqlikdan va dinamik zo'riqishini tavsif-laydigan ko'rsatkichlar uning ishonchliligini va ko'pga chidamliligini baholash uchun katta ahamiyatga ega.

Porshenning o'rtacha tezligi $c_p = Sn/30, m/s$ asosiy ko'rsatkichlaridan hisoblanadi, bunda: S — porshen yo'li, m; n — tirsakli valning aylanishlar chastotasi, min^{-1}. Ushbu parametr mexanikaviy zo'riqishni baholaydi, chunki dvigatel detallarini c_p^2 ga proporsional bo'lgan inersiya kuchlaridan yuklanish darajasini aniqlaydi, birikuvchi tarkibiy qismlarning yeyilishini bilvosita tavsiflaydi.

Zo'riqish majmuasini (issiqlik va mexanik) aniqlaydigan parametr porshen quvvati hisoblanadi (kVt/dm²):

$$N_p = N_e/(iF_p).$$

N_p barcha porshenlar yuzasi birligiga muvofiq keladigan samarali quvvatni ko'rsatadi. Ushbu parametr dvigatel litrli quvvati bilan yaqin bog'liqlikka ega, chunki, $iF_p = iV_h/S$, $N_p = N_eS$.

Ushbu bog'liqlikni N_l ni aniqlaydigan (1.6) ifodaga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$N_p = p_e c_p/\tau.$$

Bunda: p_e issiqlik va mexanik zo'riqishni, c_p esa dvigatel konstruksiyasining dinamikaviy zo'riqishini tavsiflaydi.

Massa — tashqi o'lcham ko'rsatkichi guruhiga, quruq dvigatel massasini uning nominal samarali quvvatiga bo'lgan nisbatini ko'rsatuvchi $g_N = M_{dv}/N_e$ *solishtirma massa* kiradi (kg/kVt), shu bilan birga *litrli massasi* ham (kg/*l*) quyidagi ifodaga teng bo'ladi.

$$g_l = M_{dv}/(iV_h).$$

Bu ko'rsatkichlar o'zaro litrli quvvat orqali bog'langan: $g_N = g_l/N_l$.

Bir xil ishchi hajmda dizellar konstruksiyasi qismlarida issiqlik, mexanik va dinamik zo'riqish yuqoriroq bo'lganligi oqibatida ular massasining ko'pligi tufayli dizellarning litrli massasi karbyuratorli dvigatellarga qaraganda ko'p. Havo bosimsiz kiritiladigan dizellarda, odatda, N_l kam qiymatga ega bo'ladi, ular uchun solishtirma massa miqdori uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarga qaraganda ko'p.

1.1-jadvalda transport dvigatellarining asosiy turlari konstruksiyasining massa-tashqi o'lcham ko'rsatkichlari va issiqlik, mexanik va dinamikaviy zo'riqish ko'rsatkichlarining ahamiyatli miqdorlari keltirilgan.

Ushbu ko'rsatkichlar havoning bosim ostida beriladigan dizellar uchun π_k ga bog'liq holda ko'p miqdor oralig'ida o'zgaradi va taxminan quyidagi

1.1-*jadval*

IYOD turi	Ko'rsatkichlar			
	$c_p, m/s$	$N_p, kVt/dm^2$	$g_l, kg/l$	$g_N, kg/kVt$
Karbyuratorli	8 ... 6	22 ... 41	50 ... 120	1,4 ... 7
Dizel (havoning bosim ostida kiritiladigan)	9 ... 12	11 ... 19	30 ... 150	2,8 ... 10

empirik bog'liqlik bo'yicha baholanishi mumkin ($1,5 < \pi_k < 2,5$ bo'lganda):

$$g_{l(n)} \approx \frac{g_l}{\pi_k - 0,5}; \quad g_{N(n)} \approx \frac{g_N}{\pi_k - 0,5}.$$

Bunda «n» indeksli ko'rsatkich havoning bosim ostida kiritiladigan dvigatellar modifikatsiyasiga tegishli.

IYOD ko'rsatkichlari tizimida *ekologik ko'rsatkichlari* muhim holatni egallaydi, u ishlatilgan gazlarda zaharli tashkil etuvchilarning mavjudligini, shu bilan birga tovush energiyasining atrof-muhitga nurlanishini ham belgilaydi. Agar iqtisodiy-energetik va massa-tashqi o'lcham ko'rsatkichlar darajasi, asosan, texnik, iqtisodiy ko'rsatkichlar, ko'proq esa konyunkturali mulohazalar bilan baholansa, IYOD ekologik ko'rsatkichlari tegishli davlat va xalqaro standart va qoidalar bilan qat'iy bayon qilinadi (6-bobga qarang).

1.2.7. DVIGATELLAR ISHLASHINING TAVSIFLARI VA ISHLATISH REJIMLARI TO'G'RISIDA TUSHUNCHA

Transportda ishlatiladigan dvigatellar tezlik va yuklama ish rejimlari keng miqyosda o'zgarishi talab qilinadigan sharoitda foydalaniladi. IYOD turli rejimlarda va turli rostlash ko'rsatkichlari miqdorida ishlashida uning faoliyati samaraliligini baholash uchun dvigatel tavsiflari xizmat qiladi.

IYOD tavsifi (xarakteristikasi) deb, dvigatel ko'rsatkichlarining ishlash rejimi yoki uning asosiy tizimlarining rostlanishi bilan bog'liq bo'lgan ko'rsatkichlari bog'liqligiga (odatda, chiziqli tasvir) aytiladi.

Dvigatelning rejimi p_e, N_e yuklama va tirsakli valning aylanishlar chastotasi n bilan aniqlanadi.

Dvigatelning ish ko'rsatkichlarini, boshqarish a'zolarini o'zgarmas holatida (drossel to'sma qopqog'ini uchqundan o't oldiriladigan karbyuratorli dvigatel uchun, rostlagichni — dizel uchun), aylanishlar chastotasiga bog'liq holdagi ko'rinishi *tezlik* tavsifi deb ataladi.

Agar boshqarish a'zolari eng ko'p yonilg'i yoki yonuvchi aralashma beradigan holatga mos kelsa, bunday tezlik tavsif ***tashqi tezlik tavsifi*** deb ataladi.

Boshqarish a'zolarining istalgan oraliqdagi o'zgarmas holatida dvigatel ishlashida olingan tavsif ***qismiy tezlik tavsifi*** deb ataladi.

Dvigatelning ***tashqi tezlik tavsifi*** uning quvvat ko'rsatkichi chegarasini aniqlashga va to'liq yuklamada tejamkorligini baholashga imkon beradi. Ushbu tavsif ko'pchilik transport dvigatellari uchun pasport hisoblanadi.

Tirsakli valning belgilangan aylanishlar chastotasida dvigatel ko'rsatkichlarining p_e (yoki N_e)ga bog'liqligi ***yuklama tavsifi*** deb ataladi. U orqali berilgan aylanishlar chastotasida quvvat chegarasi aniqlanadi va turli yuklamalarda dvigatel ishining tejamkorligi baholanadi.

Ushbu tavsiflardan tashqari amaliyotda porshenli IYOD uchun dvigatel ish ko'rsatkichlarini rostlanadigan parametrga (masalan, havoning ortiqlik koeffitsiyenti, o't oldirishni ilgarilatish burchagi, yonilg'i purkashni ilgarilatish burchagi va boshqalarda) bog'liqligini ko'rsatadigan ***rostlash tavsifi*** deb ataladigani keng miqyosda qo'llaniladi. Bunday tavsiflardan yonilg'i uzatish va o't oldirish tizimlari ishining eng optimal ko'rsatkichlarini aniqlashda foydalaniladi.

1.11-rasmda avtomobil dvigatelining ishlashini yuklama va tezlik rejimlari maydoni sxema ko'rinishida ko'rsatilgan.

Abssissa o'qidan yuqorida dvigatel ishlashining faol rejimlar sohasi joylashgan (*A*). Ushbu rejimlarda dvigatel ishlashi ijobiy hisoblanadi. Sohaning yuqori (ustki) tomoni tashqi tezlik tavsifi (*1*) bo'yicha eng yuqori burovchi moment egri chizig'i bilan o'ng tomoni rostlash tarmog'i yoki nominaldan yuqori aylanishlar chastotasidagi burovchi momentning pasayish tarmog'i (*2*) bilan; chap tomoni — berilgan yuklamadagi valning eng kam turg'un aylanishlar chastotasi (*3*) bilan cheklangan.

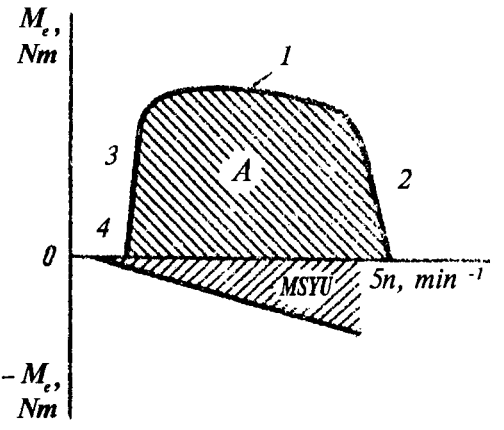
Abssissa o'qida salt yurishdagi valning eng kam aylanishlar chastotasidan boshlab (*4*) salt yurishning o'ta tezlanishi deb ataladigan aylanishlar chastotasi tugaydigan (*5*) yoki rostlagich bilan ishlaganda eng yuqori aylanishlar chastotasigacha joylashgan nuqtalar salt yurish rejimiga muvofiq keladi.

Abssissa chizig'i pastida dvigatel ishining sust rejimi joylashgan. Ishlamayotgan dvigatelni aylantirish uchun kerak bo'lgan moment egri chizig'ining osti bilan chegaralangan ushbu zonada dvigatel inersiya kuchi ta'sirida yugurishni davom ettirish yo'li rejimida yoki majburiy salt yurish yo'lida (MSYU), ya'ni avtomobilni dvigatel bilan tormozlashda ishlaydi.

Ko'p transport qurilmalari haqiqiy foydalanish sharoitida dvigatel ko'rsatkichlari va issiqlik holati vaqt bo'yicha o'zgarib turadigan noturg'un (o'tish) rejimlari sharoitida ko'proq ishlaydi. Bunday holat dvigatel ishini tezlik va yuklanish tavsiflarining tahlil qilishda real ekspluatatsiya sharoitiga to'g'ri kelmaydi. Siklning kechishiga va ishlatish sharoitiga bog'liq holda o'tish rejimlarini ulushi ko'p yoki oz bo'lishi mumkin.

Dvigatel va uning ayrim tizimlari ish jarayonlarining o'ziga xosligi sababli IYOD noturg'un rejimlaridagi ko'rsatkichlari turg'un rejimlarda olinganidan farq qilishi mumkin. Shuning uchun dvigatel ishining faqat tezlik va yuklama tavsiflari bo'yicha tahlili ayrim hollarda haqiqiy ishlatish sharoitiga

mos kelmasligi mumkin. Ko'rsatilgan dvigateldan foydalaniladigan muayyan turkumdagi transport vositalari uchun uni ishlashida ko'proq ahamiyatga ega bo'lgan rejimlari majmuasini ajratish mumkin. Masalan, shahardagi tashish ishlarini bajarishda ishlatiladigan avtomobillar IYOD lari uchun ishlashining nisbatan ko'p davrida tezligini oshirish, dvigatel bilan tormozlash, salt yurish va qismiy yuklamalarda ishlash rejimlari o'ziga xos hisoblanadi. Shaharlararo tashishga mo'ljallangan avtomobil dvigatellari ishlashining ko'p davrida nominal quvvat rejimiga yaqin bo'lgan turg'un rejimlarda ishlaydi.



1.11-rasm. **Avtomobil dvigateli ishlashining yuklama va tezlik rejimlari maydoni.**

II BOB
YONILG'I VA ISHCHI JISM. IYOD HISOBLANGAN SIKLLARI

2.1. YONILG'I, ISHCHI JISM VA ULARNING XUSUSIYATI

2.1.1. PORSHENLI IYOD UCHUN YONILG'ILAR TARKIBI VA XUSUSIYATI

Porshenli IYOD haqiqiy siklida oksidlovchi, yonilg'i va qoldiq gazlar aralashmasidan tashkil topgan ishchi jismning fizik-kimyoviy o'zgarishi amalga oshiriladi. Oksidlovchi bo'lib, odatda, atmosfera havosining kislorodi xizmat qiladi. Neftni qayta ishlash yo'li bilan olinadigan va turli uglevodorodlar aralashmasidan tashkil topgan benzin va dizel yonilg'isi asosiy yonilg'ilar hisoblanadi. Bu to'yingan parafin uglevodorodlar yoki alkanlar C_nH_{2n+2}; olefinlar yoki alkenlar C_nH_{2n} (odatda, yonilg'ilarda oz miqdorda bo'ladi); C_nH_{2n} ifodaga ega bo'lgan (olefinga o'xshash) naftenlar yoki sikloalkanlar, lekin uglerodni atomlariaro boshqacha bog'liqlik bilan; halqa molekula xususiyatli aromatik uglevodorodlar (asosan, C_nH_{2n-6}). Shu bilan birga siqilgan va suyultirilgan gazlar; ko'mirni, slaneslarni, bitumsimon qumlarni qayta ishlab olinadigan sintetik yonilg'ilar; spirtlar; efirlar (spirt izomerlari hisoblangan) ishlatiladi.

Dvigatellardan samarali foydalanish, ya'ni issiqlikning eng ko'p ajralishi va IG da eng kam zaharli mahsulotlar hosil bo'lishi uchun yonilg'i quyidagicha bo'lishi kerak:

— dvigatel ishlashining barcha rejimlarida va tashqi sharoit keng miqyosda o'zgarishida yonilg'i uzatish ishonchli va aralashma hosil bo'lishining yuqori sifatli bo'lishini ta'minlaydigan zichligi, qovushqoqligi, siqiluvchanligi, haydovchanligi (past haroratlarda) va boshqa xususiyatlari eng maqbul miqdorga ega bo'lishi;

— yuqori ekologik xususiyatga ega bo'lishi;

— ishonchli ishga tushirish va to'liq yonishini ta'minlashi; qurum hosil bo'lishiga va yonish mahsulotlarining zanglatish-agressivligiga moyilligi eng kam bo'lishi; yuqori termik turg'unlikka va yaxshi yuvish xususiyatiga ega bo'lishi;

— saqlash va tashishda xususiyatini saqlashi, mexanik aralashmalar va suvni tashkil etmasligi, mumkin qadar kam yong'in va ekologik xavfsizlikka ega bo'lishi, qimmat bo'lmasligi.

Yonilg'ilar xususiyatini fizik-kimyoviy va foydalanish xususiyatlariga ajratish mumkin.

Yonilg'ilarning holatini va tarkibini tavsiflaydiganlari (zichlik, qovushqoqlik, sirt tarangligi, kimyoviy va fraksiya tarkibi va boshqalar) fizik-kimyoviy xususiyatiga kiradi.

Dvigatellarning ishonchli ishlashini va kerakli energetik, tejamkorlik va ekologik ko'rsatkichlarini ta'minlaydigani foydalanish xususiyatiga kiradi (bug'lanuvchanlik, yurgizib yuborish va past haroratli xususiyatlari, alangalanuvchanlik, detonatsiyaga qarshi xususiyati va boshqalar).

Benzinlar. Avtomobil benzinlari 40...200°C harorat oralig'ida qaynaydigan uglevodorodlar aralashmasi ko'rinishiga ega. Rossiyada A-72, A-76, AI-93 (AI-92), AI-98 va AI-95 navli benzinga muvofiq keladigan «Ekstra» benzinlari ishlab chiqiladi. Benzin navidagi son qiymati benzinning detonatsiyaga chidamliligini belgilaydigan oktan sonini (OS) ko'rsatadi. OS son qiymati jihatidan izooktanning (OS = 100) N-geptan (OS = 0) bilan aralashmasidagi miqdoriga (%) teng, u bir silindrli standart dvigatel sharoitida sinalayotgan benzinning detonatsiyaga chidamliligiga teng chidamlikka ega bo'ladi. Oktan sonini aniqlash $n = 900 min^{-1}$ bo'lgan IT9-2M qurilmada 511-82*- GOST bo'yicha amalga oshiriladigan motor usuliga (OSM) va $n = 600 min^{-1}$ bo'lgan IT9-6 qurilmada 8226-82*-GOST bo'yicha amalga oshiriladigan tadqiqot usuliga (OST) ajratiladi; OSM va OST orasidagi farq benzinning oktan soniga sezgirligi deb ataladi.

Haqiqiy OS stendda to'liq o'lchamli dvigatellarda ishlatish sharoitida avtomobilga o'rnatilgan holda aniqlanadi (*yo'l* OS).

Detonatsiyasiz ishlashini ta'minlaydigan OS bilan siqish darajasi va silindr diametri D (mm) orasida taxminiy empirik bog'liqlik mavjud: $OS = 125,4 - 413/\varepsilon + 0,183D$. Parafinlar eng kam, aromatik uglevodorodlar eng ko'p detonatsiya chidamligiga ega. Molekulada uglevodorod atomlari sonining ortishi bilan OS kamayadi. Past haroratda qaynaydigan oktan soni yuqori bo'lgan uglevodorodlar (butan, izobutan fraksiyali va boshqalar) ni, detonatsiyaga qarshi qo'shilmalar (asosan, alkil-qo'rg'oshinli-tetraetil qo'rg'oshin va tetrametil qo'rg'oshin hamda metallkarbanatlar, alkilgalogenidlar) va kislorodga ega bo'lgan tashkil etuvchilar (metil spirt, metil-tret-butil efir) ni qo'shish bilan OS ni orttirish mumkin.

Benzinlarning bug'lanuvchanligi asosan, fraksiyaga haydash egri chizig'i (fraksiya tarkibi bilan) va to'yinish bug'larining bosimi bilan aniqlanadi. Bug'lanuvchanligi past haroratlarda dvigatelini ishga tushirish (o't oldirish) xususiyatiga, bug' tiqinlari hosil bo'lish moyilligiga, qizdirish tezligiga va tezlana olishiga ta'sir qiladi. Ishga tushirishdagi havoning eng past harorati t_i, haydashni boshlanish t_{qb} va 10% ni qaynash (hajmi bo'yicha 10%) t_{10} haroratlarini o'zaro bog'laydigan empirik bog'liqlik mavjud:

$$t_i = 0,5t_{10} - 50,5 + (t_{qb} - 50)/3.$$

Dvigatelning tez qizishi, yaxshi tezlana olishi va tejamkorligi uchun hajmi bo'yicha 50% ni qaynash harorati $t_{50} \approx 100...115^0C$ dan, 90% esa $t_{90} \approx 160...180^\circ C$ dan ko'p bo'lmasligi kerak.

Benzinlarning haydaluvchanligi, cho'kindi hosil bo'lishiga moyilligi, zanglashga faolligi va boshqalar ham muhim foydalanish xususiyatlari hisoblanadi. 2.1-jadvalda avtomobil benzinlariga qo'yiladigan talablar berilgan.

Dizel yonilg'isi. Avtomobillar va traktorlarning dvigatellari uchun, asosan, neftni bevosita haydalgan gidrotozalangan fraksiyasiga katalitik kreking yengil gazoyl qo'shilganidan ishlab chiqiladi. Dizel yonilg'isi quyidagi uglevodorod guruhlarini o'z ichiga olishi mumkin (%): normal parafin — 5...30, izoparafin — 18...46, naften — 23...60, aromatik — 14...35.

Rossiyada uch xil navli dizel yonilg'isi ishlab chiqariladi: «l» (yozgi) — qaynashining so'nggi harorati t_{qs} =360°C dan yuqori bo'lmagan atrof-muhit havosining harorati 0°C va undan yuqori bo'lganda foydalanish uchun, «z» (qishki) — harorat — 20°C va yuqori bo'lganda (sovib quyuqlashish harorati — 35°C dan yuqori bo'lmagan) va — 30°C va yuqori bo'lganda (sovib quyuqlashish harorati — 45°C dan yuqori bo'lmagan) foydalanish uchun; «a» (artika uchun) t_{qo} =330°C dan yuqori bo'lmagan — atrof-muhit havosining harorati — 50°C va yuqori bo'lganda foydalanish uchun.

Dizel yonilg'isini ishlab chiqarish t_{qs} ni oshirish yo'li bilan ham (og'irlashgan fraksiya tarkibli yonilg'i OFT) va bir vaqtning o'zida t_{qs} ni oshirish va t_{qb} ni pasaytirish yo'li bilan ham (kengaytirilgan fraksiya tarkibli yonilg'i — KFT) ko'paytirish mumkin. Yonilg'ining OFT turi yozgi sifatida foydalaniladi. 1991 - yildan boshlab tarkibida oltingugurt 0,1% gacha va 20% gacha aromatik uglevodorodlar miqdori bo'lgan «shahar» yonilg'isini (ekologik toza yozgi dizel yonilg'isi — (ETYODYO) DLECHT 38.1011348—90 TU bo'yicha) tajriba sifatida ishlab chiqarish amalga oshirilmoqda.

Dizel yonilg'ilari uchun bug'lanuvchanlik, alangalanuvchanlik va past haroratlik, haydalanuvchanlik eng muhim foydalanish xususiyatlari hisoblanadi. Bug'lanuvchanlik yonilg'ilarning fraksiya tarkibi, zichligi va qovushqoqligi bilan aniqlanadi.

Yuqori quvvat va tejamkorlik ko'rsatkichlarini va IG kam zaharliligini olish uchun yonilg'i fraksiya tarkibi quyidagi oraliqda bo'lishi kerak: $t_{50} = 230...260^{\circ}C$, $t_{90} \leq 300^{\circ}C$. Yonilg'ining ekologik xususiyatini yaxshilash uchun uning tarkibidagi aromatik uglevodorodlar (15% ko'p emas) va oltingugurt miqdorini (0,05 ... 0,15%) cheklash ham kerak.

Dizel yonilg'ilarining alangalanuvchanligi sinalayotgan yonilg'i nusxasini, alangalanishining kechikish davri sinalayotgan yonilg'iga teng bo'lgan setan ($C_{16}H_{34}$, SC= 100) va α — metilnaftalin ($C_{11}H_{10}$, $SC = 0$) aralashmasini bir silindrli IT9-3 qurilmasida taqqoslab aniqlanadigan setan soni (SS) bilan baholanadi (3.5.3-bandga qarang). Ushbu aralashmadagi setan miqdori (% hajm bo'yicha) sinalayotgan yonilg'ining setan soni bo'lib hisoblanadi. Alkanlar eng ko'p, bisiklik aramatik uglevodorodlar eng kam SS ega. Setan soni yuqori bo'lgan uglevodorodlarning detonatsiyaga chidamliligi kam bo'ladi (OS kam):

$$SS_b = 60 - OS / 2.$$

2.1-*jadval*

Ko'rsatkichlar	Benzinlarning navi			
	A-72	A-76	AI-93	AI-98
Oktan soni:				
Motor usuli bo'yicha OSM, kam emas	72	76	85	89
Tadqiqot usuli bo'yicha OST, kam emas	me'yorlanmaydi		93	98
Etillangan benzindagi qo'rg'oshin massasi, g/kg benzinda, ko'p emas	—	0,24	0,5	0,5
Fraksiya tarkibi:				
Haydashning boshlanish harorati, °C kam emas:				
yozgisi uchun	35			
qishkisi uchun	me'yorlanmaydi			
10% ning haydalish harorati, °C yuqori emas:				
yozgisi uchun	70			
qishkisi uchun	55			
50% ning haydalish harorati, °C yuqori emas				
yozgisi uchun	115			
qishkisi uchun	100			
90% ning haydalish harorati, °C yuqori emas				
yozgisi uchun	180			
qishkisi uchun	160			
Qaynash oxiri, °C yuqori emas:				
yozgisi uchun	195			
qishkisi uchun	185			
Bug'larning to'yinish bosimi kPa (mm, sim ust), ko'p emas:				
yozgisi uchun		66,7 (500)		
qishkisi uchun	66,7...93,3 (500...700)	66,7 ...99,3 (500...700)		

qishkisi uchun	66,7...93,3 (500...700)	66,7 ...99,3 (500...700)		
Oltingugurt miqdori, % ko'p emas	0,12	0,10		
Rangi	—	Sariq	To'q sariq-qizil	Ko'k

Ko'p yonilg'ili dizellar dizel yonilg'isi bilan benzin aralashmasida ishlaganida uning setan soni additivlik sharoitidan kelib chiqqan holda aniqlanishi mumkin:

$$SS_{ar} = SS_b + (SS_d - SS_b)g_d(1 + \rho_{ar}g_d g_b),$$

bunda: SS_{ar}, ρ_{ar} — dizel yonilg'isi va benzin aralashmasining setan soni va zichligi; SS_b, SS_d — benzin va dizel yonilg'isining setan soni; g_b, g_d — aralashmadagi benzin va dizel yonilg'isining massali ulushi ($g_b + g_d = 1$).

Dizel yonilg'isining kam molekulali spirtlar (metanol, etanol) bilan aralashmalarini SS taxminan quyidagi nisbat bo'yicha aniqlanishi mumkin:

$$SS_{ar} = SS_{sp}g_{sp} + SS_d g_d - \left[\ln(100g_{sp}) - 1\right]\ln SS_d,$$

bunda: SS_{sp}, g_{sp} — aralashmadagi spirtning setan soni va massali qismi (metanol uchun SS ≈ 3...5, etanol uchun SS ≈ 8...10).

Dizel yonilg'isining SS ortishi dvigatelni ishga tushirish xususiyatini yaxshilaydi.

Dizellarning yonilg'i tizimini ishonchli ishlashi uchun xiralanish (yonilg'idan qattiq uglevodorodlar tusha boshlaydi), quyuqlashish (yonilg'i harakatlanishini yo'qotishi) haroratlari va tozalanish harorati chegarasi (yonilg'i sovitilgandan keyin ham o'rnatilgan tezlik bilan tozalagichdan o'tish qobiliyatini saqlashi) bilan baholanadigan past haroratli xususiyati muhim hisoblanadi. Tozalanuvchanlik haroratini chegarasi, odatda, xiralanish haroratidan past, quyuqlanish haroratidan yuqori bo'ladi. Past haroratli xususiyatini, tarkibini o'zgartirish va *H*— parafinli uglevodrodlarni chiqarib tashlash bilan ham (bu SS kamayishi bilan kuzatiladi) va maxsus qo'shilmalarni (depressorli) qo'shish bilan ham yaxshilash mumkin.

Dizel yonilg'ilari uchun iloji boricha uni qurum, cho'kindi va qatlamli birikmalar hosil bo'lishiga, zanglash faolligiga kam moyilligi maqsadga muvofiq. Ushbu xususiyatlar yonilg'ining kislotaliligi, oltingugurt miqdori, kul hosil qilishi, kokschanligi va boshqalar kabi xususiyati bilan baholanadi. 2.2-jadvalda tovar va kelajak dizel yonilg'ilari sifatiga talab berilgan.

2.2-*jadval*

Ko'rsatkichlari	GOST 305-82*	KFT	OFT
		TU 38.401500-87	TU 38.001355-84
Fraksiya tarkibi haroratda haydaladi; °C:			
10%, kam bo'lmagan	—	100	100
50%, ko'p bo'lmagan	280	290	290
90%, ko'p bo'lmagan	—	360	—
96%, ko'p bo'lmagan	360	—	—
360°C gacha haydaladi, %	—	—	90
20°C dagi kinematik qovushqoqligi, mm^2/s	3,0...6,0	3,0...6,0	3,0...6,5
Quyuqlashish harorati, °C ko'p bo'lmagan	0	0	0
Xiralanish harorati °C ko'p bo'lmagan	me'yorlanmaydi	—	5
O't olish harorati, °C ko'p bo'lmagan	40(61)	20	40(62)
Oltingugurtning massali qismi, % ko'p emas	0, 5,	0,5,	0,2; 0,5
SS, kam emas	45	45	45(40)

Gazsimon yonilg'ilar. Uglevodorodli gazsimon yonilg'ilar normal sharoitda ularning agregat holatiga qarab siqilgan (STG) va suyultirilgan gazga (SNG) ajratiladi. Siqilgan gaz sifatida, odatda, tabiiy gaz (95% CH_4 metan) ishlatiladi. Metanning kritik harorati $t_{kr} = -82^{\circ}C$, barcha yuqori haroratlarda gazsimon holatda bo'ladi. Tabiiy gazning IYOD uchun yonilg'i sifatidagi kamchiligi benzin va dizel yonilg'isiga nisbatan hajm birligi (atmosfera sharoitida) issiqligining kamligi (≈800...1000 marta) hisoblanadi.

Suyultirilgan gazlar, asosan, yo'ldosh gazlar va gaz kondensati konlari gazlarining qayta ishlash mahsuloti hisoblanadi va normal sharoitda suyuq holda bo'ladigan butan-propanli va butilenpropilen aralashmasidan tashkil topgan. Hajmiy yonish issiqligi suyuq yonilg'ilarga qaraganda bir qancha (≈1,3...1,4 marta) ga kam.

Gazsimon yonilg'ilarning asosiy afzalligi, ularning tozaligi (qo'rg'oshin, metall oksidlari, aromatik uglevodorodlarning ishtirok etmasligi, oltingugurtning juda kam miqdordaligi va boshqa), sovuq paytlarda osonroq ishga tushirilishi, yuqori ekologik sifatliligi hisoblanadi. Zichligini va yonish issiqligini kamligiga qaramasdan, yonishini yuqori samaradorligi tufayli

1544246
TDTU ASOSIY
ARM (KUTUBXONA)

gazsimon yonilg'ilar gazda ishlaydigan dvigatellarni benzinda ishlaydiganlariga nisbatan yuqori FIK bilan ta'minlashi mumkin. Gazsimon yonilg'ilar katta siqish darajasidan foydalanishga imkon beradi.

Yuqoriroq issiqlikka va yonish haroratiga ega bo'lgan va «toza» yonish mahsulotini hosil qiladigan (azot oksidlarini hisobga olmaganda) vodorod kelajak yonilg'isi hisoblanadi. Olinish narxining yuqorililigi, saqlash va quyishning murakkabligi (qiyinligi) vodorodning kamchiligi hisoblanadi. 2.3-jadvalda siqilgan va suyultirilgan gazlarning ayrim xususiyati berilgan.

Kislorod miqdori bo'lgan birikmalar. Kislorod miqdori bo'lgan birikmalarga quyi va yuqori spirtlar kiradi — metanol, etanol, propanol va

2.3-jadval

Ko'rsatkichlari	STG	SNG	Vodorod H_2
Zichligi, kg/m³ (kg/l)	0,72...0,75	(0,54)	0,086 (0,071)
Quyi yonish issiqligi, MJ/m³	32,6...36,0	—	10,2
Oktan soni, kam emas	105	100	—
Oltingugurt va oltingugurt birikmalarining massali qism, % ko'p emas	—	0,01	—

boshqalar; efirlar-metil-tret-butil efiri (MTBE) va boshqalar; o'simlik moyi. Hozirgi paytda ko'mirdan, slaneslardan, o'tindan, biomassadan va boshqalar ishlab chiqarilishi mumkin bo'lgan quyi spirtlardan, xususan metanol, foydalanish ko'proq o'rin olgan. Barcha spirtlar yuqori oktan soniga ega va uchqundan o't oldiriladigan IYOD da ishlatish maqsadga muvofiq. Yonish issiqligining pastligi, zanglatishga moyilligi, bug'lanish issiqligining yuqorililigi, nam tortuvchanligi va boshqalar kabi spirtlarni kamchiligidan, ularning hosilasi — efirlardan foydalanib qutilish mumkin; ko'pchilik mamlakatlarda avtomobil benzinlarini tashkil etuvchisi sifatida MTBE foydalanish ko'proq o'rin olgan.

Suv yonilg'i emulsiyasi (SYOE). Suv yonilg'i emulsiyasi IG da qorakuya va azot oksidlarini keskin kamaytirishga va og'ir dizel yonilg'ilaridan foydalanish samarasini oshirishga imkon beradi. SYOE ni ikki turga ajratish mumkin: «Suv yonilg'ida» va «yonilg'i suvda». Suv ichki faza hisoblanadigan, hajm bo'yicha 10...40% ni tashkil etadigan, «suv yonilg'ida» turi amaliyotda qo'llaniladi. Bunday emulsiyalarda suv tomchilari 2...5 mkm o'lchamli to'g'ri sfera ko'rinishga ega bo'ladi.

Suv-yonilg'i emulsiyasi yonishini o'ziga xosligini farqi, suv tomchilarida «mikroportlashlar» sodir bo'lishida yonilg'ini havo bilan yaxshi aralashish asosi yotganligi tufayli alanga haroratining pasayishi va to'liq yonishni o'sishi hisoblanadi. SYOE kamchiligi, ularni past haroratlarda ishlatib bo'lmasligi va qatlamlarga ajralish xususiyati hisoblanadi.

Sintetik yonilg'ilar. Bunday yonilg'ilar toza holida ham va uglevodorodli yonilg'ilarga qo'shilma sifatida ham ishlatiladi.

Ularni olishni eng arzon manbayi toshko'mir hisoblanadi, undan turli texnologik jarayonlar vositasida sintetik benzinlar va dizel yonilg'isi, metanol va boshqalar olinadi. Ushbu yonilg'ilar, vodorod miqdorining (9...12%) kamligi (dizel yonilg'isiga nisbatan), oltingugurt va azot birikmalari miqdorining ko'pligi, quyuqlashish haroratining yuqoriligi, yonish issiqligining kamligi bilan farqlanadi.

2.1.2. YONILG'ILARNING ELEMENTAR TARKIBI

Motor yonilg'ilari uchun tarkibini aniqlash mumkin emas, chunki ularning tarkibiga yuzlab turli uglevodorodlar kiradi. Yonilg'ining o'rtacha statistik elementar tarkibini berib va yonilg'ini molekular massasini bilib, uglevodorodli yonilg'i C_xH_y ni (gaz aralashmasini «molekulasi» o'xshashligi bo'yicha) shartli «molekula» ifodasini qayta hisoblash mumkin, bunda x, u —molekuladagi uglerod, vodorod atomlari soni. Neftdan olinadigan yonilg'ilarda, ularning molekular massasining ortishi bilan ozgina miqdorda oltingugurt, azot birikmasi, kislorod miqdori bo'lgan birikmalar, og'ir metallar va boshqalar bo'lishi mumkin. Yonish jarayonini hisoblashda neft motor yonilg'ilarida ushbu elementlarning mavjudligini hisobga olmasa ham bo'ladi. Kislorod miqdori bo'lgan yonilg'ilardan (spirtlar, efirlar va boshqalar) foydalanilganda yonilg'ini shartli «molekulasi» $C_xH_yO_z$ ko'rinishiga ega bo'ladi (azot miqdori bo'lgan yonilg'ilar uchun — $C_xH_yO_zN_\sigma$).

1kg $C_xH_yO_z$ yonilg'i uchun elementar tarkibi (ayrim elementlarni massali qismi g) termodinamikada ma'lum bo'lgan aralashmalar nisbati kabi aniqlanadi:

uglerod — $g_c = 12x/(12x+y+16z) = 12x/\mu_{yo}$, (2.1)

vodorod — $g_н = y/(12x+y+16z) = y/\mu_{yo}$, (2.2)

yonilg'idagi kislorod — $g_{O_{yo}} = 16z/(12x+y+16z) = 16z/\mu_{yo}$, (2.3)

bunda: μ_{yo} — «shartli» molekula (yonilg'i)ning molekular massasi; $g_c + g_н + g_{o_{yo}} = 1$; $12x$, y, $16z$ — yonilg'i molekulasidagi uglerod, vodorod, kislorodning massasi.

Har bir gazning qismi hajmiy (molli) r_i bo'lganda $\sum C_xH_yO_z + N_2$ tarkibli gazsimon yonilg'i aralashmasini 1kmol ($1m^3$)i quyidagi tarkibga ega bo'ladi: gazlar aralashmasining molekular massasi

$$\mu_{yo} = \sum\left(\mu_{C_xH_yO_2}\right)_i r_i + 28r_{N_2}; \quad (2.4)$$

$$g_C = 12\sum x_i r_i/\mu_{yo};\ g_H = \sum y_i r_i/\mu_{yo};\ g_{O_{yo}} = 16\sum z_i r_i/\mu_{yo};\ \sum r_i + r_{N_2} = 1. \quad (2.5)$$

2.1.3. REAKSIYA VA YONISH MAHSULOTLARI

Yonilg'ining oksidlanish reaksialari. Boshlang'ich mahsulotlar miqdori (yonilg'i + havo) va yonish mahsulotlarining o'zaro nisbati quyidagi yo'l qo'yishlar bilan kimyoviy reaksiya tenglamasidan aniqlanishi mumkin: barcha kimyoviy birikmalar o'zaro ma'lum sonli nisbatlar bilan bog'langan alohida elementlar atomlaridan tashkil topgan; kimyoviy reaksiyada atomlar o'zining xususiyligini saqlab qoladi va faqat ularni qayta guruhlash sodir bo'ladi.

C_xH_y molekulaning so'nggi mahsulotigacha (karbonat angidrid CO_2 va suv bug'i H_2O) to'liq oksidlanishi (yonishi) quyidagi tenglama bilan tasvirlanadi (boshlang'ich va so'nggi mahsulotlar kmol larda berilgan).

$$C_xH_y + (x + y/4)O_2 = xCO_2 + y/2H_2O, \qquad (2.6)$$

1 kmol C_xH_y dagi C ni x atomlari kmol CO_2 ni beradi, $M_{CO_2} = x$;

1 kmol C_xH_y dagi N ni y atomlari $y/2$ kmol H_2O ni beradi, $M_{H_2O} = y/2$. Yonish mahsulotlarining tarkibi 1kg yonilg'iga ($1/\mu_{yo}$ kmol) qayta hisoblanganda $M_{CO_2} = x/\mu_{yo} = x/(12x + y)$, $M_{H_2O} = (y/2)/\mu_{yo} = (y/2)/(12x + y)$ va (2,1)...(2,3) tenglamalarni hisobga olish bilan elementar tarkibi orqali (kmol/kg yonilg'i) quyidagicha bo'ladi:

$$M_{CO_2} = g_C/12, \quad M_{H_2O} = g_H/2. \qquad (2.7)$$

Reaksiyada $x + y/4$ kmol O_2 ishtirok etadi, $M_{O_2} = x + y/4$ kmol/(kmol yonilg'i).

Agar yonilg'i molekulasining tarkibiga $C_xH_yO_2$ kislorod kirsa, u holda (2.6) tenglamaning o'ng tomoni o'zgarmasdan qoladi, yonish uchun kerak bo'lgan havo kislorodini kmol miqdori mos holda $z/2$ ga kamayadi, $M_{O_2} = x + y/4 - z/2$ kmol/(kmol yonilg'i). (2.6) tenglama asosida aniqlanadigan yonilg'ini to'liq yonishi uchun kerak bo'lgan kislorod L_0' ni eng kam kmol miqdori *stexiometrik* deb ataladi.

M_{O_2} ning stexiometrik miqdori quyidagiga teng:

1 kmol yonilg'ida O_2 ni kmol dagisi $M_{O_2} = x + y/4 - z/2$,

1kg yonilg'ida O_2 ni kmol dagisi

$$L_0' = M_{O_2}/\mu_{yo} = (x + y/4 - z/2)/(12x + y + 16z),$$

1kg yonilg'ida O_2 ni kg dagisi

$$l_0' = L_0'\mu_{O_2} = (32x + 8y - 16z)/(12x + y + 16z).$$

Agar kislorod miqdori $M_{O_2} = x + y/4 - z/2$ dan kam bo'lsa, oksidlanish chala bo'ladi. Chala oksidlanish (yonish) da uglerodning bir qismi

CO (is gazi) gacha oksidlanadi, vodorodning bir qismi umuman yonmaydi. C_xH_y ni uglevodorod molekulasini oksidlanishi ushbu holatda quyidagi tenglama bo'yicha ketadi:

$$C_xH_y + \left[\frac{\varphi}{2}x + (1-\varphi)x + y(1-\varphi_1)/4\right]O_2 =$$

$$= \varphi x CO + (1-\varphi)x CO_2 + \frac{y}{2}\varphi_1 H_2 + y(1-\varphi_1)H_2O, \qquad (2.8)$$

bunda: φ — uglerodning CO gacha oksidlangan qismi; φ_1 —yonmasdan qolgan vodorod qismi.

(2.8) tenglamadan kelib chiqqan holda CO va CO_2 molekulalarini hosil bo'lishi uchun bir xil miqdordagi uglerod talab qilinadi:

$M_{CO} + M_{CO_2} = x$; shunga o'xshash H_2 ni qisman oksidlanishida $M_{H_2} + M_{H_2O} = y/2$. 1kg yonilg'i uchun kmol larda bo'lganda

$$M_{CO} + M_{CO_2} = g_C/12; \quad M_{H_2} + M_{H_2O} = g_H/2. \qquad (2.9)$$

YOXA da kislorod miqdorining kamayishi bilan yonish mahsulotlarida CO va H_2 larning qiymati ortaboradi va H_2O va CO_2 larni miqdori kamayadi. Oksidlanishning mos tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$C_xH_y + \frac{x}{2}O_2 = xCO + \frac{y}{2}H_2. \qquad (2.10)$$

Kislorodning $M_{O_2} = x/2$ kmol miqdori chegara hisoblanadi va YOHA da uglerod atomlari soni kislorod atomlari soniga teng holatiga muvofiq keladi, ya'ni $C:0=1$). YOHA da kislorod miqdorining keyinchalik kamayishida yonish mahsulotlarida yonmagan uglerod (qorakuya) hosil bo'ladi ($C:0>1$).

Havoning stexiometrik miqdori. Havodagi kislorodning hajmiy qismini 21% va massali qismini 23% deb qabul qilib, yonilg'ini yonishi uchun kerak bo'lgan havoning stexiometrik miqdori aniqlaniladi:

1kg yonilg'ida kmol dagi havo

$$L_0 = L_0^1/0,21 = (x + y/4 - z/2)/(12x + y + 16z)/0,21,$$

1kg yonilg'ida kg dagi havo

$$l_0 = l_0^1/0,23 = 138(x + y/4 - z/2)/(12x + y + 16z),$$

yonilg'ining elementar tarkibi orqali

$$L_0 = (g_c/12 + g_н/4 - g_{oyo}/32)/0,21\,\frac{(kmol.havo)}{(kg.yonilg'i)}, \qquad (2.11)$$

$$l_0 = \left(\frac{8}{3}g_c + 8g_н - g_{oyo}\right)/0,23\,\frac{(kg.havo)}{(kg.yonilg'i)}. \qquad (2.12)$$

$\sum C_{xi}H_{yi}O_{zi}$ tarkibli uglevodorodlar aralashmasi ko'rinishiga ega bo'lgan gazsimon yonilg'ilar uchun har bir uglevodorodning molli (hajmiy) r_i qismiga havoning stexiometrik miqdori

$$L_0 = \sum (x_i + y_i/4 - z_i/2) r_i / 0,21 \frac{\left(kmol\left(m^3\right)havo\right)}{\left(kmol\left(m^3\right)yonilg'i\right)} \qquad (2.13)$$

yoki

$$L_0 = \left(\frac{g_c}{12} + \frac{g_n}{4} - \frac{g_{yo}}{32}\right) \mu_{C_xH_yO_z} / 0,21 \frac{\left(kmol\left(м^3\right)havo\right)}{\left(kmol\left(м^3\right)yonilg'i\right)}. \qquad (2.14)$$

2.4-jadvalda keltirilgan ifodalar bo'yicha hisoblashning ayrim natijalari berilgan.

Havoning ortiqlik koeffitsiyenti. Havoning ortiqlik koeffitsiyenti α deb, YOHA sidagi havo miqdori G_h ni aralashmadagi yonilg'i miqdori G_{yo} ni to'liq yonishi uchun nazariy jihatdan kerak bo'lgan havoning eng kam miqdoriga bo'lgan nisbatiga aytiladi, ya'ni

$$\alpha = G_h / (G_{yo} l_0) = L / L_0 = l / l_0, \qquad (2.15)$$

bunda: G_{yo} — yonilg'ini soatiga sarfi, kg/s; $G_{yo}l_0 - G_{yo}$ miqdordagi yonilg'ini to'liq yonishi uchun kerak bo'lgan eng kam havoning nazariy miqdori, kg/s.

Havoning ortiqlik koeffitsiyenti α dan tashqari yonilg'i/havo $f = G_{yo}/G_h$, $f = 1/(\alpha l_0)$ nisbat miqdori ham va yonilg'i/havoning ekvivalent $\varphi = f / f_{stex}$ $\left(f_{stex} = 1/l_0\right)$ nisbati ham ishlatiladi.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar $\alpha >, \leq 1, 0$ bo'lganda ishlaydi; dizellar va gaz turbinalari $\alpha > 1$ bo'lgan YOHA da ishlaydi.

Yonilg'ini CO gacha oksidlanishga muvofiq keladigan havoni eng kam ortiqlik koeffitsiyenti (2.10) tenglamadan aniqlanadi:

$$\alpha_{CO} = \left(M_{0_2}\right)_{CO} / \left(M_{0_2}\right)_{\alpha=1} = (x/2)/(x + y/4), \qquad (2.16)$$

yoki yonilg'ining elementar tarkibi orqali

$$\alpha_{CO} = g_c / (2g_c + 6g_H) \qquad (2.17)$$

elementar tarkibi $g_C = 0,872$; $g_H = 0,128$ bo'lgan dizel yonilg'isi uchun

$$\alpha_{CO} = 0,872 / (2 \cdot 0,872 + 6 \cdot 0,128) = 0,872 / 2,512 = 0,347.$$

qarida aralashma hosil qilinadigan dvigatellarda α_{CO} amaliyotda di, shuning uchun yonish mahsulotlarida uglerod mavjud bo'lmaydi.

Dizellarda aralashma hosil bo'lish sharoitida $\alpha < \alpha_{CO}$ zonasi mavjud va yonish jarayonida yonmagan uglerod hosil bo'lishi mumkin. α ga bog'liq holda uglerodni oksidlanish va M_{CO} va M_{CO_2} larni hosil bo'lish xususiyati 2.1-a rasmda ko'rsatilgan.

Yangi zaryadning tarkibi va miqdori. Yangi siklning har birini boshlanishida silindrga yoki havo yoki uni yonilg'i bilan aralashmasi (benzin va gazda ishlaydigan dvigatellarda) ko'rinishidagi yangi zaryad kiradi.

Yonishni boshlanishidan oldin yangi zaryad M_1 ning miqdori 1kg yonilg'iga quyidagi kmol hisobida bo'ladi:

benzinda ishlaydigan dvigatellarda

$$M_1 = L + 1/\mu_{yo} = \alpha L_0 + 1/\mu_{yo}, \qquad (2.18)$$

dizellarda

$$M_1 = L = \alpha L_0. \qquad (2.19)$$

Gazsimon yonilg'ilarda ishlaydigan dvigatellarda 1kmol (m^3) gazsimon yonilg'iga kmol (m^3) hisobida

$$M_1 = L + 1 = \alpha L_0 + 1. \qquad (2.20)$$

Yonish mahsulotlarining tarkibi. 1) $\alpha \geq 1$. (2.6) tenglamaga mos holda yonilg'i $\alpha \geq 1$ bo'lgandagi havoda yonishida nazariy jihatdan to'liq yonishga ega bo'ladi. Yonish mahsulotlari CO_2 va H_2O lardan tashqari azot M_{N_2} miqdoriga va ortiqcha kislorod M_{O_2} ga ega bo'ladi (α>1 bo'lganda):

$$M_{N_2} + M_{O_2} = 0,79\alpha L_0 + 0,21(\alpha - 1)L_0 = \alpha L_0 - 0,21L_0.$$

(2.7) tenglamani e'tiborga olib, yonish mahsulotlarining mollari miqdori M_2 quyidagiga teng bo'ladi:

$$M_2 = M_{N_2} + M_{O_2} + M_{CO_2} + M_{H_2O} =$$
$$= \alpha L_0 - 0,21L_0 + g_c/12 + g_H/2.$$

(2.11) tenglamani e'tiborga olib L_0 uchun quyidan ifoda yoziladi:

$$M_2 = \alpha L_0 + g_H/4 + g_{Oyo}/32 \qquad (2.21)$$

α=1 bo'lganda yonish mahsulotlari mollarining miqdori $(M_2)_{\alpha=1}$

$$(M_2)_{\alpha=1} = L_0 + g_H/4 + g_{Oyo}/32.$$

Demak,

$$M_2 = (M_2)_{\alpha=1} + (\alpha - 1)L_0. \qquad (2.22)$$

2.4-*jadval*

Ko'rsatkichlarning nomlanishi	Yonilg'i		Gaz aralashmasi (30% C_2H_2 atsetilin, 60% C_3H_8 propan, 10% CH_4O etanol)
	Izooktan	n-geksadekan	
Molekular massasi, kg/kmol	$12 \cdot 8+1 \cdot 18=114$	$12 \cdot 16+1 \cdot 34=226$	$26 \cdot 0,3+44 \cdot$ $\cdot 0,6+32 \cdot 0,1=37,4$
Elementar tarkibi:	$12 \cdot 8/114 = 0,842$	$12 \cdot 16/226 = 0,85$	$12(2 \cdot 0,3+3 \cdot 0,6+1 \cdot$ $\cdot 0,1)/37,4 = 0,8021$
q_c			
X	8	16	$q_s/12=0,802 \cdot$ $\cdot 37,4/12=2,5$
q_H	$1 \cdot 18/144=0,158$	$1 \cdot 34/226=0,15$	$1(2 \cdot 0,3+8 \cdot \cdot 0,6+4 \cdot$ $\cdot 0,1)/37,4=0,1551$
Y	18	34	$q_H/1=5,8$
q_{Oyo}	—	—	$16(1 \cdot 0,1)/37,4=$ $=0,0428$
Z	—	—	$q_{o_{yo}}/16=0,1$
Molekula ifodasi	C_8H_{18}	$C_{16}H_{34}$	$C_{2,5}H_{5,8}O_{0,1}$
Havoning stexiometrik miqdori L_0, $\frac{(kmol\ havo)}{(kmol\ yonilg'i)}$	$(0,842/12+$ $+0,158/4)//0,21=$ $=0,522$	$(0,85/12+$ $+0,15/4)//0,21=$ $=0,516$	—
$L_0 \frac{(kmol\ havo)}{(kmol\ yonilg'i)}$	—	—	$(0,8021/12+$ $+0,1551//$ $-0,0428/32)/0,21=$ $=18,57$
$l_O \frac{(kg\ havo)}{(kg\ yonilg'i)}$	$\frac{138(8+18/4)}{12 \cdot 8+18} =$ $= 15,1$	$\frac{138(16+34/4)}{12 \cdot 816+34} =$ $= 14,96$	

$\sum C_x H_y O_z$ ko'rinishidagi 1 kmol gazsimon yonilg'ini yonishida quyidagi kmol yonish mahsulotlari hosil bo'ladi:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{N2} + 0,21(\alpha - 1)L_0.$$

$$M_{CO_2} = \Sigma x_i r_i, \quad M_{H_2O} = \Sigma \frac{y}{2} r_i, \quad M_{N_2} = 0,79\alpha L_0 + N_{yo}, \tag{2.23}$$

bunda: N_{yo} — gazsimon yonilg'i aralashmasidagi azot.

2) $\alpha<1$. (2.8) tenglamaga muvofiq yonish mahsulotlari M_{CO_2}, M_{CO}, M_{H_2O}, M_{H_2} va azot $M_{N_2} = 0,79\alpha L_0$ larni o'z ichiga oladi.

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + 0,79\alpha L_0$$

(2.9) tenglamani e'tiborga olib,

$$M_2 = g_c / 12 + g_н / 2 + 0,79\alpha L_0 \tag{2.24}$$

bo'ladi.

Yonish mahsulotlarining tahlili $K = M_{H_2} / M_{CO}$ nisbatning doimiyligini va H/C (yonilg'i tarkibi) nisbatini funksiyasi ekanligini ko'rsatadi. $H/C = 0,17...0,19$ bo'lganda $K = 0,45...0,50$ bo'ladi; $H/C = 0,13$ bo'lganda $K = 0,30$ bo'ladi. To'rtta o'zgaruvchi $(M_{CO_2}, M_{CO}, M_{H_2O}, M_{H_2})$ larni aniqlash uchun (2.9) tenglamadan, K uchun nisbatdan, shu bilan birga yonilg'i va havodan olingan $(M_{O_2} = 0,21\alpha L_0 + g_{Oyo} / 32)$ va (2.8) tenglamaga muvofiq C ni CO ga $(M_{O_2}^{CO} = M_{CO} / 2)$, C ni CO_2ga $(M_{O_2}^{CO_2} = M_{CO_2})$, H ni H_2O ga $(M_{O_2}^{H_2O} = M_{H_2O} / 2)$ oksidlanishi uchun ishlatilgan kislorod balansidan foydalaniladi:

$$M_{CO_2} + M_{CO} / 2 + M_{H_2O} / 2 = 0,21\alpha L_0 + g_{Oyo} / 32. \tag{2.25}$$

$K = M_{H_2} / M_{CO}$ ligini e'tiborga olib (2.9) va (2.25) tenglamalar tizimini yechib, quyidagi ifodani olinadi:

$$M_{CO} = 0,42L_0(1-\alpha)/(1+K), \quad M_{CO_2} = g_c / 12 - M_{CO}, \tag{2.26}$$

$$M_{H_2} = 0,42KL_0(1-\alpha)/(1+K), \quad M_{H_2O} = g_н / 2 - M_{H_2}. \tag{2.27}$$

Yonish mahsulotlarini hisoblash to'liq emasligi va tashkil etuvchilarining energetik va tejamkorlik ko'rsatkichlariga jiddiy ta'sir qilishini aytib o'tish lozim. Boshqa qator yonish mahsulotlari (azot oksidlari va oltingugurt, yonmasdan qolgan uglevodorodlar, qo'rg'oshin oksidi va boshqalar) ning miqdori IG ga nisbatan kam bo'lganligi tufayli energetik hisoblashlarda e'tiborga olinmaydi, biroq ekologik tavsifiga jiddiy ta'sir qiladi. IG turli tashkil

etuvchilari miqdorini α ga bog'liqligi 2.1-b, d rasmda berilgan. Dizel uchun (2.1-b rasm) yuklamani ortishi (α ni kamayishi) bilan issiqlik ajralib chiqish miqdori va yonish harorati ortadi, bu NO_x ning hosil bo'lishini ko'payishiga olib keladi. α ni 1 ga yaqin miqdorida CO qiymatining oshishi eng yuqori yuklama rejimida aralashma hosil bo'lishini yomonlashishi va chala yonishiga bog'liq. α ning katta qiymatlarida CO ni ortishi reaksiya tezligini va yonish haroratini sezilarli darajada kamayishi bilan bog'liq, bu ortiqcha kislorod O_2 bo'lishiga qaramasdan chala oksidlanishga olib keladi.

Karbyuratorli dvigatellar uchun (2.1-d rasm) $\alpha<1$ bo'lganda, keltirilgan nisbatdan kelib chiqqan holda CO va H_2 miqdorlarni, shuning bilan birgalikda yonmasdan qolgan uglevodorodlar C_xH_y ni o'sishiga o'rin bo'ladi. $\alpha\approx1{,}05...1{,}1$ bo'lganda NO_x eng yuqori miqdorga, ya'ni kislorodni birmuncha ortiqligida va yonish haroratini yetarlicha yuqoriligida erishadi.

Yonishda ishchi jism mol tarkibi va hajmining o'zgarishi. Boshlang'ich tashkil etuvchilarning va yonish mahsulotlarining hajmida yangi zaryad M_1 ni va yonish mahsulotlari M_2 ni kmol lari sonining farqi tufayli tafovut bo'lishi mumkin. Yonishdagi kmol lar sonining o'zgarishi $\Delta M = M_2 - M_1$ ga teng, u bundan tashqari molekular o'zgarishning nazariy koeffitsiyenti $\mu_0 = M_2 / M_1 = 1 + \Delta M / M_1$ bilan ham tavsiflanadi.

Dizel uchun

$$\mu_0 = 1 + (g_н / 4 + g_{O_{yo}} / 32) / \alpha L_0. \qquad (2.28)$$

(2.21) va (2.24) tenglamalarni e'tiborga olib, karbyuratorli dvigatellar uchun

$$\alpha > 1,\ \mu_0 = 1 + \frac{g_н / 4 + g_{O_{yo}} / 32 - 1 / \mu_{yo}}{\alpha L_0 + 1 / \mu_{yo}},$$

$$\alpha < 1,\ \mu_0 = 1 + \frac{g_c / 12 + g_н / 2 - 0{,}21\alpha L_0 - 1 / \mu_{yo}}{\alpha L_0 + 1 / \mu_{yo}}. \qquad (2.29)$$

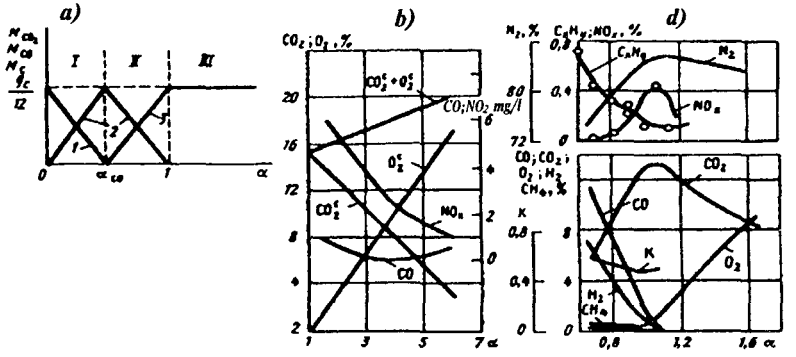
(2.11) tenglama bo'yicha L_0 ni almashtirilsa, quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$\mu_0 = 1 + \frac{0{,}21(1-\alpha)L_0 + g_H / 4 + g_{O_{yo}} / 32 - 1\mu_{yo}}{\alpha L_0 + 1 / \mu_{yo}}. \qquad (2.30)$$

Gazsimon yonilg'ida ishlaydigan dvigatel uchun ($\alpha>1$) (2.13), (2.20) va (2.23) tenglamalardan kelib chiqqan holda

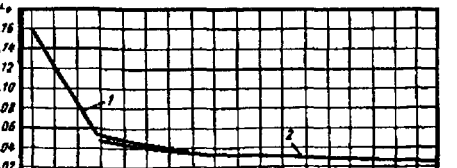
$$\mu_0 = \frac{\Sigma(y_i / 4 + z_i / 2 - 1)r_i}{\alpha L_0 + 1}. \qquad (2.31)$$

To'liq yonishdagi ($\alpha \geq 1$) kmol lar sonining nim o'sishi va yonish mahsulotlari hajmining ortishi faqat vodorod oksidlanishi va O_2 ning bir



2.1-rasm. **Yonish mahsulotlaridagi tashkil etuvchilar miqdorining α ga bog'liqligi. a — uglerodning oksidlanish sxemasi:**
I — $\alpha<\alpha_{co}$ CO hosil bo'lishi va uglerodni ajralishi bilan chala yonishi; II — $\alpha_{co}<\alpha\leq 1$ CO va CO_2 hosil bo'lishi bilan chala yonishi; III — $\alpha>1$ CO_2 hosil bo'lish bilan to'liq yonishi; g_c/12—1kg yonilg'idagi uglerod mol-larini miqdori; $M_c(1)$, $M_{CO}(2)$, $M_{CO_2}(3)$-1 kg yonilg'ini oksidlanish mahsulotlaridagi C, CO, CO_2 larni mos holda mollarining miqdori; **b — dizelda oksidlanish**: CO_2, O_2 egri chiziqlar to'liq oksidlanish sharoiti uchun hisobi; NO_x, CO egri chiziqlari-tajribada olingan ma'lumotlar; ***d* — karbyuratorli dvigatelda oksidlanish** (tajribada olingan ma'lumotlar).

molekulasidan ikki molekula H_2O [(2.6) tenglamaga qarang] hosil bo'lishi tufayli sodir bo'ladi. Chala yonishda ($\alpha<1$) H_2 ni H_2O ga oksidlanishidan tashqari (bir molekula O_2 — ikki molekula H_2O) C ning CO ga chala oksidlanishi (bir molekula O_2 — ikki molekula CO) [(2.8) tenglamaga qarang] sodir bo'lishi tufayli ΔM hajmni ortishi $\alpha<1$ bo'lgandagidan ko'p bo'ladi. Benzin va dizel yonilg'isi uchun $\mu_0>1$ va α ni kamayishi bilan ortadi (2.2-rasm). Gazsimon yonilg'ilar uchun ΔM hajm o'zgarishi turli uglevodorodlar miqdoriga bog'liq va $(y_i/4+z_i/2)>1$ bo'lganda $\Delta M>0$ va $(y_i/4+z_i/2)<1)$ bo'lganda $\Delta M<0$ bo'lishi mumkin. Mos holda $\Delta M>0$ bo'lganda $\mu_0>1$, $\Delta M<0$ bo'lganda $\mu_0<1$ bo'lishi mumkin va $\Delta M=0(y_i/4+z_i/2=1)$ bo'lgan chegara holatda $\mu_0=1$ bo'ladi.



2.2-rasm. **Molekular o'zgarish kimyoviy koeffitsiyentining havoni ortiqlik koeffitsiyenti α ga bog'liqligi:**
1 — benzin; 2 — dizel yonilg'isi.

Yonilg'ilar va ularning yonish mahsulotlarini issiqlik — fizik xususiyati. Yonilg'ilarning yonish issiqligi va bug'lanishi, issiqlik sig'imi, issiqlik o'tkazuvchanligi va boshqalar kabi xususiyatlari ishchi siklni amalga oshirishda muhim ahamiyatga ega. Ulardan eng muhimi yonish issiqligi hisoblanadi. Yonilg'ining yonishi ekzotermik reaksiyaga oid, ya'ni issiqlik ajralish bilan kechadi. CO_2

va H_2O larning hosil bo'lishi bilan ketadigan reaksiyalarning issiqlik samarasi ***yonish issiqligi*** deb ataladi. Suv yonish mahsulotlarida bug' holatida ham va suyuq holatida ham bo'lishi mumkin, shu sababli mos holda quyi H_u va H_b yuqori yonish issiqligi kiritiladi, ular orasidagi farq suv bug'i hosil bo'lishining yashirin issiqligiga teng: $H_u = H_b - 2,512M_{H_2O}$.

Porshenli IYOD va gaz turbinalarida yonish mahsulotlari suv bug'ining kondensatsiyalanish haroratigacha sovitilmaydi, shuning uchun hisoblashlarda quyi yonish issiqligi H_u qabul qilinadi.

Yonilg'ini tashkil etgan moddalar hosil qilgan issiqlik samarasi bo'yicha yonilg'ining yonish issiqligini, ya'ni yonilg'ining elementar tarkibiga asosan aniqlash mumkin. D.I. Mendeleyevning yonish issiqligi uchun ifodasi quyidagi ko'rinishga ega (MJ/kg).

$$H_u = 34,013g_C + 125,6g_H - 10,9\left(g_{O_{yo}} - g_S\right) -$$
$$- 2,512\left(9g_H + g_{H_2O}\right),$$

bunda: g_C, g_H, $g_{O_{yo}}$, g_S — uglerod, vodorod, kislorod va oltingugurtlarni yonilg'idagi massali qismi; $9g_H - g_H$ — vodorodning yonishida hosil bo'ladigan suv bug'ini miqdori; g_{H_2O} — yonilg'idagi suvning massali qismi.

1 kmol YOHA yonishida ajralib chiqadigan issiqlik H_{ar} ning miqdori quyidagiga teng:

$$\alpha \geq 1 \text{ bo'lganda } H_{ar} = H_u / M_1, \qquad (2.32)$$

$$\alpha < 1 \text{ bo'lganda } H_{ar} = \left(H_u - \Delta H_u\right) / M_1, \qquad (2.33)$$

bunda: $\Delta H_u = 114\left(1 - \alpha\right) L_0$ — benzinning kimyoviy chala yonishi, MJ/kg.

2.5-jadvalda benzin va dizel yonilg'isining ayrim issiqlik-fizik va termokimyoviy xususiyati keltirilgan.

2.6-jadvalda haqiqiy sikl jarayonlarini hisoblashda foydalaniladigan ayrim gazlarning issiqlik sig'imi uchun $\mu c_p = a + bT$ tenglamadagi koeffitsiyentlar miqdori berilgan.

Yonish mahsulotlarining issiqlik sig'imi uchun quyidagi nisbatlardan foydalanish mumkin $\left[kJ / \left(kg \cdot K\right)\right]$:

benzin $\left(0,7 \leq \alpha \leq 1,2;\ T = 273...2600K\right)$

$c_p = \left(0,5186 - 0,0488\alpha\right) T^{0,148}$;

$c_v = \left(0,2871 - 0,0242\alpha\right) T^{0,190}$;

dizel yonilg'isi $\left(1 \leq \alpha \leq 2,\ T = 273...2600K\right)$

$c_p = \left(0,3865 + 0,0350\alpha\right) T^{0,1751-0,0177\alpha}$;

$c_v = \left(0,2255 + 0,0120\alpha\right) T^{0,2180-0,0155\alpha}$.

2.5-*jadval*

Ko'rsatkichlar	Yonilg'i	
	Benzin	Dizel yonilg'isi
Elementar tarkibi (massali qism):		
Uglerod g_c	0,855	0,872
Vodorod g_H	0,145	0,128
Yonilg'ining molekulyar massasi $\mu_{ë}$, kg/mol	115	190
Yonilg'ining o'xshash ko'rinishdagi «molekulasini» ifodasi C_xH_y	$C_{8,2}H_{16,7}$	$C_{13,8}H_{24,3}$
Yonilg'ining quyi yonish issiqligi H_u: massali, MJ/kg	44	42,6
hajmiy, MJ/m³	32116	35800
Havoning stexiometrik miqdori:		
L_0, kmol/kg yonilg'i ,	0,516	0,498
l_0 kg/kg yonilg'i	14,96	14,56
Stexiometrik YOHA yonish issiqligi (α=1)		
$H_{\mu\ ap}$: 1kg, MJ/kg	2,76	2,74
1 kmol, MJ/kmol	83,9	85,5
α=1 bo'lgandayonish mahsulotlarining kmol miqdori, $(M_2)_{\alpha=1}$	0,552	0,530
t=20°C bo'lgandasirt taranglik koeffisiyenti, 10^3H/m	21...22	28...30
p= 50MPa va t=20°C bo'lgandao'rtacha siqilish koeffisiyenti, 10^9 m²/H	1,17	0,65
Issiqlik sig'imi c_{yo}, kJ/(kg · K):		
Suyuq faza	≈1,5	≈1,9
Bug'lari (P=const bo'lganda)	≈1,5	≈1,5
Zichligi ρ, kg/m³	720...740	830 ... 845 (860 dan ko'p emas)
Dinamik qovushqoqligi μ, H · s/m³	$0,56 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$

2.6-*jadval*

Gaz	a	$b \cdot 10^3$	Harorat oralig'i, K
CO	27,65	5,03	273...2500
CO_2	44,20	9,05	298...2500
H_2	27,74	3,39	273...2500
H_2O	30,04	10,73	298...2500
N_2O	33,73	3,85	298...2500
N_2	27,91	4,27	298...2500
O_2	34,65	1,08	273...5000
OH	27,03	3,69	298...3000

Bundan tashqari adiabat ko'rsatkichi $K = c_p / c_v$ uchun taxminan I.I. Vibe taklif qilgan ifodadan foydalanish mumkin:

benzinning yonish mahsulotlari ($\alpha = 1$)

$$K = (1{,}22 - 77{,}3)/T; \tag{2.34}$$

dizel yonilg'isining yonish mahsulotlari ($\alpha = 1$)

$$K = (1{,}22 - 76{,}7)/T. \tag{2.35}$$

2.2. IYOD HISOBLANGAN SIKLLARI

Haqiqiy sikl jarayonini taxminiy yoritadigan termodinamik jarayonlar majmuasi hisoblangan sikl deb tushuniladi.

Hisoblangan sikllarning har biri qator yo'l qo'yishlarga asoslangan.

Hisoblangan sikllarning tahlili yo'l qo'yilgan sohasida to'g'ri bo'ladi.

Hisoblangan sikllarning tahlili bir omilli bo'lishi mumkin, ya'ni hisoblash yo'li bilan omillarning har birini, boshqalarini o'zgarmas holda saqlab, ta'sirini oydinlashtirishga erishiladi.

Haqiqiy dvigatellar bilan tajribalarni bajarishda omillarni har birining alohida ta'sirini hamma holatda ham o'rnatish mumkin emas.

2.2.1. TERMODINAMIK SIKLLAR

Quyidagi yo'l qo'yishlarga asoslanib, hisoblangan sikllarni termodinamik deb tushunish qabul qilingan:

— sikllarni tashkil etgan jarayonlar qaytar hisoblanadi;

— jarayonlar tarkibi o'zgarmas bo'lgan almashtirilmaydigan ishchi jismda (IJ) amalga oshiriladi.

— IJ issiqlik sig'imi uning holatiga bog'liq bo'lmaydi;

— IJ va atrof-muhit o'zaro issiqlik almashmaydi.

IYOD termodinamik sikllarida issiqlik berish o'zgarmas hajm, o'zgarmas bosim va aralash usul — o'zgarmas hajm va o'zgarmas bosim bo'yicha amalga oshiriladi.

Issiqlik aralash usulda beriladigan (Sabate-Trinklerni) sikli umumiy hisoblanadi (2.3-rasm). Termik FIK deb, sikl ishi $l_s = q_1 - q_2$ ni berilgan issiqlik q_1* ga bo'lgan nisbatiga aytiladi:

$$\eta_t = 1 - q_2 / q_1, \tag{2.36}$$

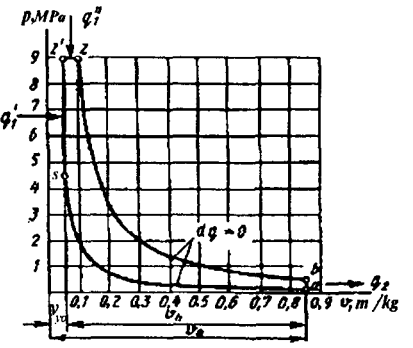
bunda olingan issiqlik miqdori q_2, $q_2 = c_v (T_b - T_a)$ modul bo'yicha aniqlanadi.

Nisbatlar quyidagicha belgilanadi:

$\lambda = \frac{p_z}{p_s} = \frac{T_{z'}}{T_s}$ — bosimning ortish darajasi,

$\rho = \frac{v_z}{v_{z'}} = \frac{T_z}{T_{z'}}$ — dastlabki kenga-yish darajasi,

$\delta = \frac{v_b}{v_z}$ — keyinchalik kengayish darajasi.



2.3-rasm. **Issiqlik aralash usulda beriladigan sikl** (Sabate-Trinkler sikli).

Siqish darajasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{v_a}{v_{yo}} = \frac{v_a}{v_z} \cdot \frac{v_z}{v_{yo}} = \delta \cdot \rho. \qquad (2.37)$$

Termodinamik siklda q_1 dvigatel silindrida yonilg'ining yonishida ajralib chiqadigan issiqlik miqdorini o'xshashligi bo'lib hisoblanadi, ya'ni yuklamani o'xshashligi hisoblanadi. Siqish darajasi, ishchi jism va siklni boshlang'ich ko'rsatkichlari (*a* nuqtadagi ko'rsatkichlar) ni o'zgarmas holatida q_1 ni ortishida siklni λ va ρ larini, b o $P_z$va harorat T_z larning eng yuqori qiymatlarini o'sishi kuzatiladi. p_z va T_z larning kattalashishi siqish darajasini ortishida ham sodir bo'ladi.

q_2 uchun ifodadagi T_b haroratni T_a funksiyasi ko'rinishida tasavvur qilish mumkin:

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{\kappa-1}} = \frac{T_{z'} \cdot \rho}{\delta^{\kappa-1}} = \frac{T_s \lambda \rho}{\delta^{\kappa-1}} = \frac{T_a \varepsilon^{\kappa-1} \lambda \rho}{\delta^{\kappa-1}} = T_a \lambda \rho^{\kappa}.$$

Shuning uchun $q_2 = c_v T_a \left(\lambda \rho^k - 1\right)$ va

$$q_1 = q_1' + q_1'' = c_v \left(T_{z'} - T_s\right) + c_p \left(T_z - T_{z'}\right) =$$
$$= c_v T_a \varepsilon^{k-1} \left(\lambda - 1\right) + c_p T_a \varepsilon^{k-1} \lambda \left(\rho - 1\right) =$$
$$= c_v T_a \varepsilon^{k-1} \left[\lambda - 1 + k\lambda\left(\rho - 1\right)\right].$$

q_1 va q_2 ifodalarini termik FIK boshlang'ich tenglamasiga qo'yilsa, quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda \rho^{\kappa} - 1}{\varepsilon^{\kappa-1}\left[\lambda - 1 + \kappa\lambda\left(\rho - 1\right)\right]}. \qquad (2.38)$$

* Keltirib chiqarishda 1 kg ishchi jism ko'riladi.

Siklning o'rtacha bosimi P_s deb, ishchi hajm V_h ga oid bo'lgan siklni ishiga aytiladi. Sabate-Trinkler sikli uchun P_s ning aniqlash ifodasini quyidagicha olish mumkin:

$$p_s = \frac{l_s}{v_h} = \frac{q_1\eta_t}{v_h} = \frac{c_v T_a \varepsilon^{\kappa-1}\left[\lambda-1+\kappa\lambda(\rho-1)\right]}{v_h}\eta_t,$$

bunda $T_a = \frac{p_a v_a}{R}$; $\frac{c_v}{R} = \frac{c_v}{c_p - c_v} = \frac{1}{k-1}$; $\frac{v_a}{v_h} = \frac{v_a}{v_a - v_{yo}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}$.

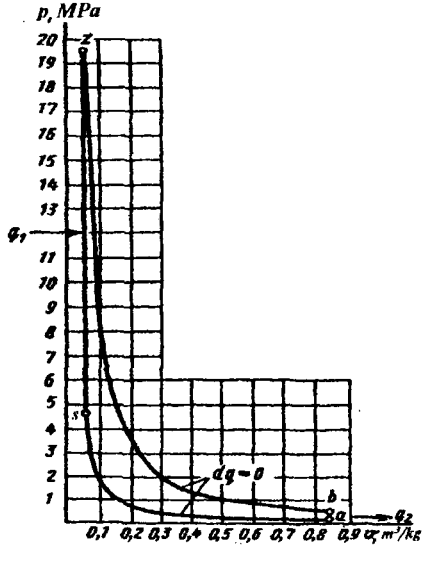
Ushbu bog'liqliklar e'tiborga olinsa, siklning o'rtacha bosimining so'nggi ifodasi hosil bo'ladi:

$$p_s = p_a \frac{\varepsilon^k}{(\varepsilon-1)(k-1)}\left[\lambda-1+k\lambda(\rho-1)\right]\eta_t. \qquad (2.39)$$

(2.38) va (2.39) ifodalardan issiqlik o'zgarmas hajmda beriladigan sikl uchun, ya'ni $\rho=1$ bo'lganda (Otto sikli (2.4-rasm), uchqundan o't oldiriladigan dvigatelning haqiqiy siklini ideallashtirish uchun foydalaniladigan termik FIK η_t va P_s larni olamiz:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}, \qquad (2.40)$$

$$p_s = p_a \frac{\varepsilon^{\kappa}(\lambda-1)}{(\varepsilon-1)(\kappa-1)}\eta_t. \qquad (2.41)$$



2.4-rasm. **Issiqlik o'zgarmas hajmda beriladigan sikl (Otto sikli).**

Issiqlik o'zgarmas bosimda beriladigan sikl uchun (Dizel sikli 2.5-rasm) $\lambda=1$, demak η_t va P_s quyidagi ifodaga ega bo'ladi:

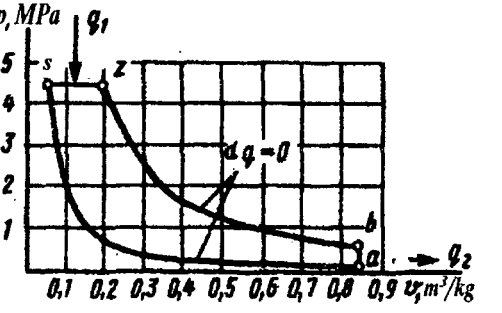
$$\eta_t = 1 - \frac{\rho^{\kappa}-1}{\varepsilon^{\kappa-1}\kappa(\rho-1)}, \qquad (2.42)$$

$$p_s = p_a \frac{\varepsilon^{\kappa}\kappa(\rho-1)}{(\varepsilon-1)(\kappa-1)}\eta_t. \qquad (2.43)$$

(2.38) ... (2.43) ifodalardan termodinamik sikllarning ko'rsatkichlariga ε, k, λ, ρ, p_a larni ta'sir qilishi kelib chiqadi.

ε ni kattalashishi η_t va P_s larning ortishi bilan kuzatiladi. Adiabat ko'rsatkich k ni o'sishida ham shunday hodisa ro'y beradi (2.6-rasm). Siklni amalga oshirishda uch atomli gaz o'rniga ikki atomli gazlardan

foydalanib, k ni orttirish mumkin. Bundan porshenli dvigatellarni suyuq aralashmalarda ishlashi maqsadga muvofiqligi kelib chiqadi, chunki suyuq aralashmalarda ikki atomli gazlar (O_2 va N_2) ko'p. (2.40) ifodadan Otto sikli uchun η_t ni q_1 ga bog'liq emasligi kelib chiqadi, ya'ni tashqi yuklamaga bog'liq emas.



2.5-rasm. **Issiqlik o'zgarmas bosimda beriladigan sikl (Dizel sikli).**

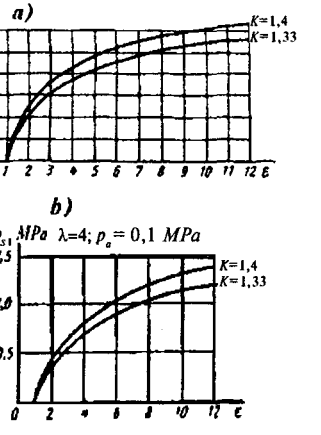
(2.42) ifodadan dizel sikli uchun q_1 ni ortishi (ρ ni o'sishi) da termik FIK kamayishi kelib chiqadi (2.7-rasm). Demak, dizel sikli bo'yicha ishlaydigan dvigatellarda (havoni yuqori bosim ostida beriladigan kam aylanishli dizellar) tashqi yuklamani ortishida η_t kamayadi.

Sabate-Trinkler siklini termik FIK ga beriladigan issiqlik q_1^1 va q_1^{11} (λ va ρ) miqdori ta'sirini 2.8-a rasm bo'yicha kuzatish mumkin. ρ ning $\left(q_1^{11}\right)$ o'zgarmas qiymatida λ o'sishi (ya'ni, q_1^1 ni o'sishi) η_t ni ortishi bilan kuzatiladi.

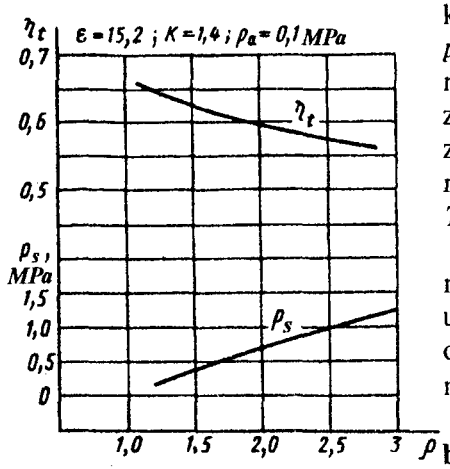
Beriladigan issiqlikning o'zgarmas miqdorida (A-o'zgarmas) $\lambda\left(q_1^1\right)$ ni ortishi va mos holda $\rho\left(q_1^{11}\right)$, bunda $A = \lambda - 1 + k\lambda\left(\rho - 1\right)$ ni kamayishi bilan termik FIK ko'payadi, bu 2.8-a rasmdan ko'rinib turibdi.

$q_1^1(\lambda)$ o'zgarmas holatida $q_1^{11}(\rho)$ ning ortishi η_t ni kamayishiga olib keladi.

Demak, termodinamik nuqtayi nazardan issiqlikni YUCHN da berish eng foydali hisoblanadi. η_t o'zgarishining p_s ga ta'siri tabiiy. Lekin ε, k, λ va ρ larning p_s miqdoriga ta'siri η_t ga qaraganda boshqacharoq (2.7- 2.8-b rasmlarga qarang). ε va k larning p_s ga sifatli ta'siri η_t ni ta'siriga o'xshash. Biroq bosimning ortish darajasini ko'payishi Otto sikli n_t η_t ga ta'sir qilmaydi, lekin p_s ni o'sishiga olib keladi. Bunda p_s q_1 miqdor kabi darajada ortadi. ρ ning ortishi bilan (q_1^{11} Sabate-Trinkler va Dizel sikllarida) p_s ni o'sishi birmuncha kam darajada ro'y beradi, chunki bunda η_t kamayadi.(2.39), (2.41) va (2.43) ifodalardan boshqa bir xil sharoitlarda r_s siklning boshlang'ich bosimi p_a ga proporsional ravishda o'zgarishi kelib chiqadi. Ushbu bog'liqlik porshenli dvigatellarda havoni bosim ostida berish maqsadga muvofiqligini



2.6-rasm. **Ottoning termodinamik sikli ko'rsatkichlarini siqish darajasiga bog'liqlik chiziqli tasviri:** $a - \eta_t$; $b - p_s$.



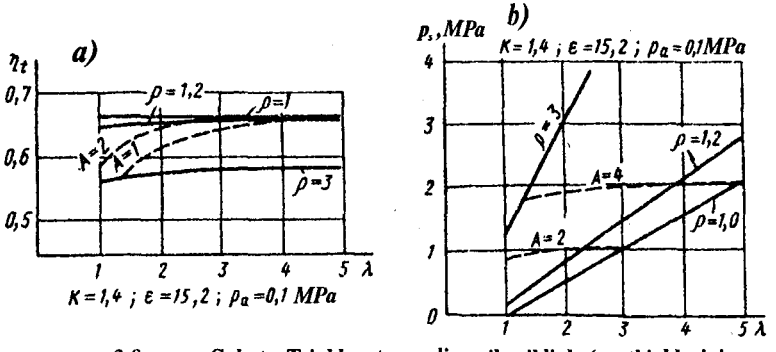
2.7-rasm. **Dizelning termodinamik sikli ko'rsatkichlarini dastlabki kengayish darajasiga bog'liqlik chiziqli tasviri.**

ko'rsatadi. Boshqa «Bir xil sharoitda» p_a ni ortishida beriladigan issiqlik miqdori $Q_1 = q_1 G_a$ ni ortishi bilan kuzatiladi. Silindrlarga tushadigan yangi zaryad miqdori $P_a$ga nisbatan kam darajada ortadi, chunki bir vaqtning o'zida T_a ham ortadi.

Q_1 ni haqiqiy ortish imkoni G_a ni ortish darajasiga bog'liq. Shuning uchun kompressordan keyin havoni oraliq sovitishni qo'llash maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Issiqlik turli usul bilan berilganda sikllarni taqqoslash. Taqqoslashni eng oddiy holati uchun sikllarning boshlang'ich ko'rsatkichlarini (2.9-rasmdagi *a* holat), ishchi jismni (c_v va k), siqish darajasini, berilayotgan issiqlik miqdorining bir xilligi taxmin qilinadi. Ushbu sharoitdagi Otto sikli $(a-c-z_1-b_1)$ P_z va T_z qiymatlarining ko'pligi 2.9-rasmdan ko'rinib turibdi. Termik FIK ham Otto siklida eng yuqori bo'ladi. Masalan, $q_1 = idem$ holatida bu eng kam q_2 issiqlik olinishidan kelib chiqadi (2.9-b rasm).

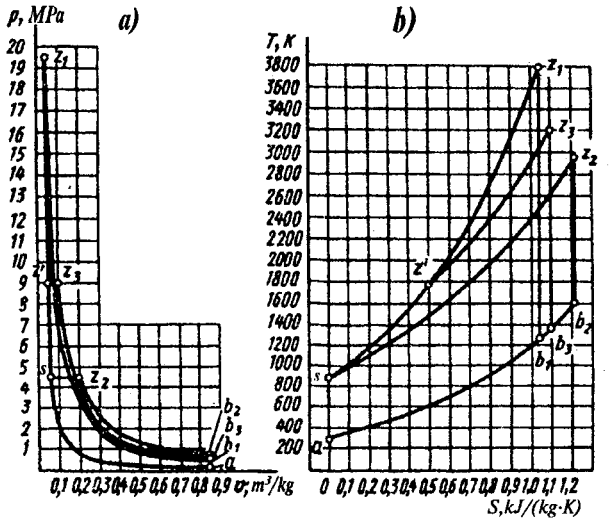
p_a, T_a, c_v, k, q_1, $p_z = idem$ sharoitda, ya'ni gazlar bosim kuchidan porshenga bir xil mexanik yuklama tushadigan sharoitda, sikllarni taqqoslash qiziqish uyg'otadi (2.10-rasm).



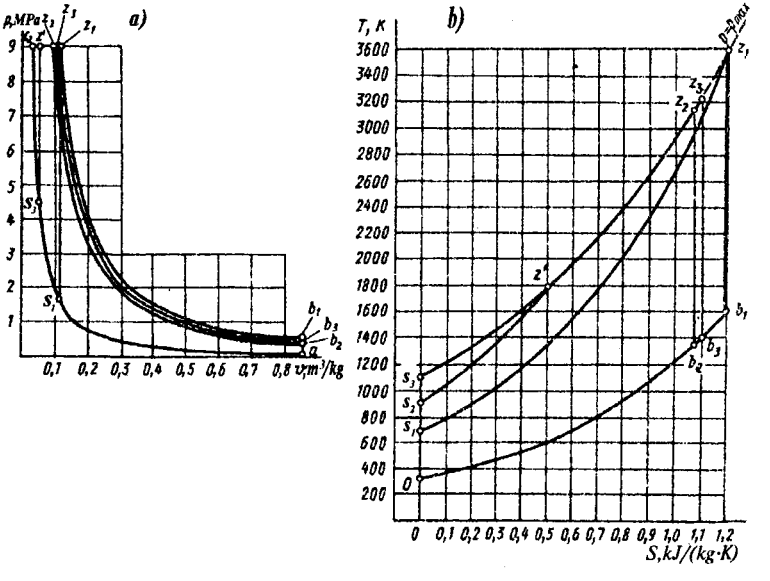
2.8-rasm. **Sabate-Trinklar termodinamik sikli ko'rsatkichlarini bosimning ortish darajasiga bog'liqlik chiziqli tasviri:**

——— — dastlabki kengayish darajasi o'zgarmas bo'lganda;

-------- — beriladigan issiqlikni o'zgarmas miqdorida: $a-\eta_t$; $b-p_s$.



2.9-rasm. **Otto, Dizel va Sabate-Trinkler sikllarini** q_1, ε = *idem* **bo'lganda** $p - V(a)$ **va** $T - s(b)$ **koordinatalarda taqqoslash grafigi.**



2.10-rasm. **Otto, Dizel va Sabate-Trinklar sikllarini** q, p = *idem* **bo'lganda** $p - V(a)$ **va** $T - s(b)$ **koordinatalarda taqqoslash grafigi.**

Siklning eng yuqori bosimi cheklanganda η_t ni eng ko'p qiymatiga Dizel siklida erishiladi $(a - c_2 - z_2 - b_2)$. Ko'rilayotgan sharoitda ε va δ lar faqat ushbu siklda eng yuqori qiymatlarga ega bo'lishi bilan bog'liq. Ushbu siklga T_{z_2} va kengayish oxiridagi T_{b_2} haroratning eng kam miqdori ham muvofiq keladi.

Xususan, gaz turbinada amalga oshirilishi mumkin bo'lgan, kengayishni davom etishi $(p_b = p_a)$ deb ataladigan holat kombinirlangan dvigatellarda bajarilishi mumkin.

2.11-rasmda dvigatelning tirsakli vali bilan mexanik bog'langan kuch, gaz turbinali havoni oraliq sovitmasdan uni gazturbina bilan bosim ostida beradigan kombinirlangan dvigatel sxemasi keltirilgan.

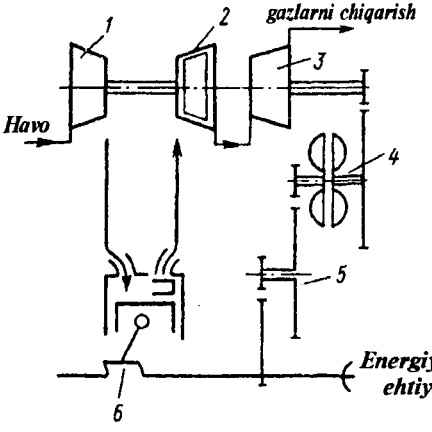
Uzatmaga buralma tebranishlarni so'ndirish va qator rejimlarda kuch, gaz turbinani tirsakli valdan ajratish uchun xizmat qiladigan mufta kiritilgan.

2.12-rasmda kombinirlangan dvigatelning porshenli qismi va gaz turbina oralig'idagi traktlar hajmi nolga teng deb taxmin qilinadigan dvigatelning $a - c - z' - z - b' - f - l'$ sikli tasvirlangan. Ushbu holatda turbina, soplo apparati oldidagi gazlar bosimini o'zgaruvchanligida ishlaydi va gazlarni ega bo'lgan ishi nazariy eng yuqori darajada amalga oshiriladi. Biroq soplo apparati oldidagi gazni o'zgaruvchan bosimida ishlaydigan turbinaning FIK i ushbu bosim doimiy bo'lgan turbinani FIK dan kam.

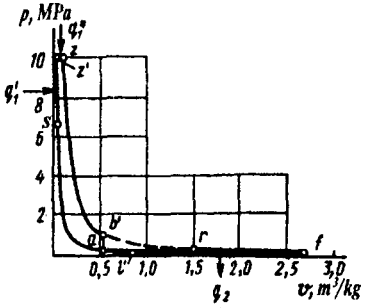
Yuqorida ishlatilgan usullardan foydalanib, bunday siklning termik FIK uchun ifodani quyidagi ko'rinishda olish mumkin:

$$\eta_t = 1 - \frac{k\left(\rho\lambda^{1/\kappa} - 1\right)}{\varepsilon_0^{k-1}\left[\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)\right]},$$

bunda: $\varepsilon_0 = \varepsilon_\kappa \varepsilon$, ε_κ — kompressorning siqish darajasi.



2.11-rasm. **Kombinirlangan dvigatelning sxemasi:**
1 — kompressor; 2 — turbina; 3 — kuch turbinasi; 4 — gidromufta; 5 — tishli g'ildirakli uzatma; 6 — tirsakli val.



2.12-rasm. **Kombinirlangan dvigatellarning sikllari:**
az'zb'fl' — turbina oldidagi bosim o'zgaruvchan bo'lganda;
az'zb'arfl' — turbina oldidagi bosim o'zgarmas bo'lganda.

Agar sikl ishi kengayishining davom etishi kombinirlangan dvigatelning porshen qismini ishchi hajmiga ko'chirilsa, u holda siklning o'rtacha bosimi ifodasini quyidagi ko'rinishda olish mumkin:

$$p_s = p_l \frac{\varepsilon_0^k}{(k-1)(\varepsilon-1)} \eta_t \left[\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)\right].$$

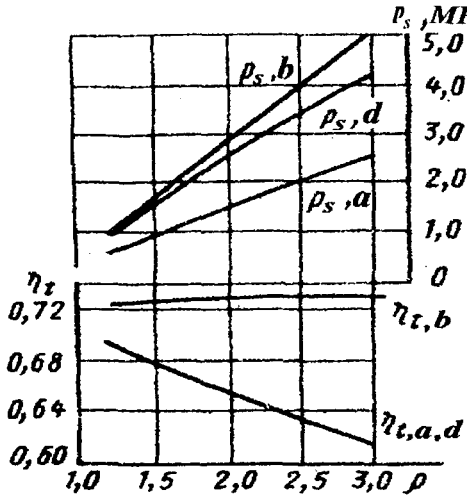
2.12-rasmda porshen qismi va gaz turbina orasida cheksiz katta hajmga ega bo'lgan idish joylashgan deb taxmin qilishdagi kombinirlangan dvigatelning $a - z' - z - b' - a - r - f - l$ sikli ham tasvirlangan. Silindrdan idishga (drossellash) gazni oqish jarayonida gaz kengayadi, foydali ish esa bajarilmaydi. Issiqlikka aylanadigan energiyani dissipatsiyasiga o'rin bo'ladi. Shu sababli sikl ishining yo'qotilishi drossellashdagi yo'qotishdan kam bo'ladi. $a - z' - z - b' - a - r - f - l$ sikl uchun termik FIK ifodasini quyidagi ko'rinishda olish mumkin:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon_0^{k-1}} \frac{\lambda \rho^k - 1}{\left[\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)\right]}.$$

Kombinatsiyalangan dvigatelning ikkala sikli uchun o'rtacha bosim ifodasi bir xil bo'ladi.

2.13-rasmda quyidagi sharoitda uchta sikl ko'rsatkichlarining taqqoslanishi keltirilgan: $p_l = 0{,}1 MPa$, $T_l = 298 K$, $p_z = 10 MPa$, $K = 1{,}4$, $\lambda = 1{,}5$, kombinirlangan dvigatellarning sikllari uchun $\varepsilon = 12{,}2$, $\varepsilon = 1{,}64$, $\varepsilon_0 = 20$. Porshenli dvigatelning siklida $\varepsilon = \varepsilon_0$. *b* sikl — turbina oldidagi gazlarning o'zgaruvchan bosimida *d* sikl —turbina oldidagi gazlar bosimi o'zgarmas (ikkala sikl 2.12-rasm bo'yicha) bo'lganda amalga oshiriladi.

Taqqoslash $p_z = idem$ va $T_z = idem$ sharoit uchun amalga oshiriladi. Dvigatellarning yuklamasini o'zgarishi dastlabki kengayish darajasini taqlid qilish bilan amalga oshiriladi.



2.13-rasm. **Termodinamik sikllar ko'rsatkichlarini dastlabki kengayish darajasiga bog'liqlik chiziqli tasviri:** *a* sikl — porshenli dvigatel; *b* sikl — turbina oldidagi gazlar bosimi o'zgaruvchan bo'lgan kombinirlangan dvigatel; *d* sikl — turbina oldidagi gazlar bosimi o'zgarmas bo'lgan p_z, T_z = *idem* bo'lgan sharoitdagi kombinirlangan dvigatel. Havo bosimsiz beriladigan dvigatelni siqish darajasi ε kombinirlangan dvigatellarda ε_0 ga teng.

Turbina oldidagi bosim o'zgaruvchan bo'lgan kombinirlangan dvigatel sikli (b-sikl) yuqoriroq ko'rsatkichlarga ega, lekin $q_1(\rho)$ ni ortishi bilan termik FIK ozgina oshadi. Agar issiqlik faqat $p = const$ da berilsa, ya'ni $\lambda = 1$ sharoitda, u holda η_t ρ ga bog'liq bo'lmas edi.

a va *b* sikllarning termik FIK bir xil va beriladigan issiqlik miqdorini ortishi bilan sezilarli darajada, ya'ni ρ ni ortishida kamayadi. Bu porshenli dvigatelda keyinchalik kengayish darajasini kamayishi va turbina oldida gazlar bosimi o'zgarmas bo'lgan kombinirlangan dvigatel siklida drossellashdagi yo'qotishlarni ortishi bilan bog'liq. *d* siklning o'rtacha bosimi *a* siklning o'rtacha bosimidan yuqori, chunki kombinirlangan dvigatel holatida havoni bosim ostida berish ko'zda tutilgan.

Turbina oldidagi gazning bosimi o'zgaruvchan bo'lgan kombinirlangan dvigatelning FIK va o'rtacha bosimi, boshqa bir xil sharoitda, havoni bosim ostida beriladigan porshenli dvigatel siklidagi miqdordan 15,7 % yuqori (2.7-jadvaldagi birinchi ikki qatorga qarang).

2.2.2. HISOBLANGAN SIKLLARNING TAHLILI (DISSOTSIATSIYANI E'TIBORGA OLINISHI VA OLINMASLIGI BILAN)

Agar termodinamik sikllarda foydalaniladigan ayrim yo'l qo'yishlardan voz kechilsa, u holda hisoblangan siklni olamiz. Hisoblangan sikllarning tahlili dvigatelning indikator ko'rsatkichlariga turli foydalanish va konstruktiv omillarning ta'sirini mufassal va aniq tushirishga imkon beradi.

Turli ko'p hisoblash sikllari taklif qilingan. Ulardan ikkitasini ko'rib chiqamiz. Porshenni ikki ko'chishida amalga oshiriladigan ushbu sikllarda

har bir onda silindrda bir jinsli aralashma bo'ladi. Uning tarkibi yongan yonilg'i miqdoriga mos holda o'zgaradi, lekin yonilg'ini yonib tugash xususiyati ma'lum deb hisoblanadi. Aralashmaning bir jinsliligini taxmin qilish, yonilg'ini ketma-ket yonadigan har bir qadog'i bir onda qolgan zaryadlar bilan aralashishini bildiradi. EHM da qadamli hisoblash issiqlik sig'imini harorat va ishchi jism tarkibiga bog'liqligini hisobga oladi.

Ko'rilayotgan hisoblangan sikllarni birinchisida zaryad va uning atrofidagi detallar sathi orasidagi issiqlik almashinuvi hisobga olinadi. Bunday sikl uchun siqish-yonish-kengayish jarayonlardagi termodinamikaning birinchi qonunini tenglamasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\frac{dQ_x}{d\varphi} + h_{yo}\frac{dG_x}{d\varphi} = \frac{dQ_{i.yo'q.x}}{d\varphi} + p\frac{dV}{d\varphi} + \\ + U_x\frac{dG_x}{d\varphi} + \frac{du_x}{dT}\frac{dT}{d\varphi}G_x + \frac{du_x}{dx}\frac{dx}{d\varphi}G_x, \qquad (2.44)$$

bunda: dQ_x — val $d\varphi$ burchakka burilishida ajrab chiqqan issiqlikning elementar miqdori (zaryadga berilgan). $dQ_x = G_{syo}H_u dx$, $dG_x = G_{syo}dx$; h_{yo} — yonilg'ining entalpiyasi; dG_x — zaryadga yonayotgan yonilg'ini qo'shilishi natijasida uning massasini o'zgarishi; $dQ_{i.yo'q.x}$ — issiqlik almashinuvi natijasida zaryaddan olingan issiqlikning elementar miqdori; p, V, T — zaryadning bosimi, hajmi va haroratini joriy miqdori; du_x — zaryadni massa birligi ichki energiyasini o'zgarishi. Yonilg'ini yonib tugagan $x = \frac{Q_x}{G_{syo}H_u}$ qismi *issiqlik ajralib chiqish koeffitsiyenti* deb ataladi.

Yonilg'ini yonib tugash xususiyati [issiqlikni ajralib chiqish tavsifi — $x = f(\varphi)$] ma'lum deb hisoblanadi. $\frac{dx}{d\varphi}G_{syo}H_u = f(\varphi)$ yoki $\frac{dx}{d\varphi} = f(\varphi)$ *bog'liqlik issiqlik ajralib chiqish tezligini tavsifi* deb ataladi. $\frac{dx}{d\varphi}G_{syo}H_u$ ga teng bo'lgan (2.44) tenglamaning chap qismidagi birinchi had issiqlik ajralib chiqish tezligini ifodalaydi (zaryadga issiqlik berish tezligi), chap qismidagi ikkinchi had boshlang'ich harorati 320 ... 330 K ga ega bo'lgan purkalanadigan yonilg'ini entalpiya tizimiga kiritilishi natijasida zaryad entalpiyasini o'zgarishini ifodalaydi. Ushbu hadning miqdori ko'p emas, shuning uchun uni e'tiborga olmasa ham bo'ladi.

(2.44) tenglamaning o'ng tomonidagi birinchi had issiqlikni devorga berish tezligini, ikkinchisi bajarilgan elementar ishni ifodalaydi.

Tenglamaning o'ng tomonidagi boshqa uchta hadi, zaryad massasi, harorati, tarkibini o'zgarishi oqibatida ichki energiyani o'zgarishini ifodalaydi.

Issiqlikni devorga o'tishi bilan yo'qolishi G. Voshni ifodasidan foydalanib, Nyuton tenglamasi yordamida ifodalanishi mumkin:

$$\frac{dQ_{i.yo'q.x}}{d\varphi} = c_1 \frac{D^{-0,2} p^{0,8} T^{-0,53}}{n} \left\{ c_2 c_p + c_3 \frac{Vh}{GR} \left[p - p(-\varphi) \right] \right\}^{0,8} x$$

$$x \left[\frac{\pi D^2}{4} K_F \left(T - T_{k=p} \right) + F_s \left(T - T_s \right) \right], \qquad (2.45)$$

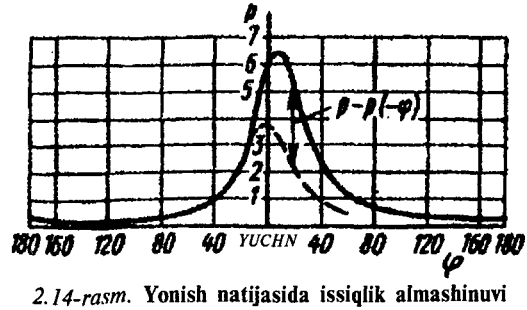
bunda: $K_F = \left(F_k + F_p \right) / \left[2 \left(\pi D^2 / 4 \right) \right]$, $T_{k=p}$, $T_s = f\left(p_k, T_k, c_p, \alpha, T_{sov}, D \right)$.

Keltirilgan ifodalarda D — silindr diametri; n — tirsakli valning aylanishlar chastotasi; c_p — porshenni o'rtacha tezligi; R — zaryadning gaz doimiysi; $p(-\varphi)$ — yonish sodir bo'lmaganda silindrdagi bosim (YUCHN nisbatan tirsakli valning simmetrik holati uchun taxminan siqish jarayoni bosimiga teng); F_k, F_p, F_s — kallak, porshen va silindrning issiqlik almashinuvi sathlari; $T_{k=p}$, T_s — silindr — porshen kallagi va silindr haroratlari (sath va vaqt bo'yicha o'rtacha); p_k, T_k — kiritish a'zolari oldidagi bosim va harorat; T_{sov} — sovitish suyuqligining harorati; c_1, c_2, c_3 — o'zgarmas miqdor (konstanta) lar.

Yonish natijasida issiqlik almashinuvining jadallashishini, yonish-kengayishni amalga oshirishda va siqish paytiga mos keladigan $\left[p - p(-\varphi) \right]$ siklning joriy vaqtidagi bosimlar farqi orqali ifodalash qabul qilingan (2.14-rasm).

Ifoda $T_{k=p}$ va T_s uchun bir xil aralashma hosil qilish usuliga ega bo'lgan va bir xil ashyolardan tayyorlangan bir xil konstruksiyali dvigatellar detallari sathi haroratini o'lchash bo'yicha olingan tajriba ma'lumotlariga ishlov berish bilan olinadi. Termodinamikaning birinchi qonuni tenglamasidan tashqari hisoblashlarda holat tenglamasi $p = GRT / V$ dan ham foydalaniladi.

Ikkinchi sikl birinchisidan $Q_{i.yo'q.x} = 0$ bo'lishi bilan farqlanadi, ya'ni sikl momentlarini har birida zaryad va detal atrofi orasida issiqlik almashinuvi sodir bo'lmaydi. Bunday siklni amalga oshirish mumkin emas. Uni ko'rib chiqish dvigatel ko'rsatkichlarini yaxshilash zaxirasini nazariy jihatdan mumkin bo'lgan chegarasini o'rnatishga imkon beradi.



2.14-rasm. **Yonish natijasida issiqlik almashinuvi jadalligini hisobga olish usulini tushuntirish grafigi.**

2.7-jadvaldagi ma'lumotlardan foydalanib, ishchi jism harorati va tarkibiga bog'liq holda issiqlik sig'imining o'zgarishini sikl ko'rsatkichlariga ta'siri to'g'risidagi ma'lumotni olish mumkin. Masalan, buning uchun havo bosim ostida beriladigan dvigatel siklini termodinamik ko'rsatkichlarini (ishchi jism-normal sharoitda ma'lum issiqlik sig'imli) issiqlik almashinuvi mavjud bo'lmagan hisoblangan sikl ko'rsatkichlari bilan λ va q_1 larni amaliy bir xil miqdorlarida taqqoslaymiz. Hisoblangan siklda $\alpha = 1{,}79$ va yonishning davomiyligi $\varphi_z = 50$ grad. TVB deb qabul qilingan. Issiqlik sig'imini ishchi jism tarkibiga va haroratga bog'liqligini e'tiborga olish FIK ni 13% ga kamaytiradi.

Termodinamik sikllarni 2.7-jadval uchun hisoblashda $k = 1{,}4$ va $c_v = 0{,}7180\, kJ/(kg \cdot K)$ deb qabul qilingan. Yonilg'ini yonishida uch atomli gazlar hosil bo'ladi. Uch atomli gazlarning issiqlik sig'imi haroratga bog'liq holda jiddiy ortadi. Beriladigan issiqlik miqdori bir xil bo'lganda p_z va T_z larning kamayishida issiqlik sig'im ko'p qiymatga ega bo'ladi.

Shuning uchun kengayish jarayonida kam ish bajariladi, FIK va p_{sh} kamayadi. Issiqlik almashinuvini hisobga olish η_{th} va p_{sh} larni 10,2% ga kamaytiradi. 2.7-jadvaldagi ma'lumotlarni taqqoslashdan (ikkinchi, uchinchi va to'rtinchi satrga qarang), issiqlik sig'imning harorat va aralashma tarkibiga bog'liqligini ta'siri, issiqlik almashinuvi ta'siriga qaraganda ko'pligi kelib chiqadi.

Hisoblangan sikllar tahlili amaliyot uchun muhim bo'lgan rostlash, rejim va konstruktiv omillarni dvigatelni ishlash sharoitiga va takomillashganligiga ta'siri to'g'risidagi ma'lumotlarni olishga imkon beradi. Bu yerda sharoit deganda detallarga tushadigan mexanikaviy va issiqlik yuklamalar tushuniladi, ish jarayonlarini takomillashganligi esa 1.2.6-bandda ko'rib chiqilgan ko'rsatkichlar bilan baholanadi.

Mexanikaviy yuklamalar inersiya kuchlardan tashqari gaz kuchlari $p_z(\pi D^2/4)$ bilan ham aniqlanadi. Detallardagi dinamikaviy yuklamalar va yonishdagi shovqinning nurlanishi ko'pincha *yonishdagi bosim ortishining eng katta tezligi* $(dp/d\varphi)_{\max}$ bilan baholanadi.

Dvigatel detallarining issiqlikdan zo'riqishi ularning harorat maydoni bilan aniqlanadi va ishchi jismga qaragan detallarning sathi bo'yicha issiqlik yuklamani (issiqlik oqimining zichligi) taqsimlanishiga, detallarning konstruksiyasiga, ularning ashyolariga va sovitish sharoitiga bog'liq. Detallarning konstruksiyasi, ashyosi va sovitish sharoiti majmuasi ishchi jismdan sovitish muhitiga issiqlik uzatishning termik qarshiligini aniqlaydi. Termik qarshilik qancha yuqori bo'lsa, bir xil issiqlik yuklanishida detallar harorati va ularning farqi shunchalik yuqori, ya'ni issiqlikdan zo'riqish ham yuqori bo'ladi. Ishchi jismdan detallar sathiga uzatiladigan issiqlik oqimi zichligi q ni $q = \alpha_{T\Sigma}(T - T_w)$ taxminan ifoda bilan belgilash mumkin. Bunda $\alpha_{T\Sigma}$ — majburiy konveksiya va nurlanish orqali issiqlik almashinuvini hisobga oladigan shartli umumiy issiqlik berish koeffitsiyenti. Bunday yondashish yuqorida

2.7-jadval

Sikl	λ	ρ	ε	ε_k	ε_0	q_1, kJ/kg	η_t, η_{th},η_i	p_s ,p_{sh} , p_i	T_a, K	p_z, МПа	T_z, K
Kombinirlangan dvigatelning termodinamikaviy sikli,	1,66	1,677	16	1,3688	21,9	1646,35	0,743	2,081	338,5	12,49	2857,7
Havoning bosim ostida beriladigan porshenli dvigatelning termodinamika sikli	1,66	1,677	16	—	—	1646,35	0,642	1,801	338,5	12,49	2857,7
Issiqlik almashinuvi mavjud bo'lmagan, havoning bosim ostida beriladigan porshenli dvigatelning hisoblangan sikli	1,66	—	16	—	—	1641,6	0,5584	1,562	338,5	11,29	2062
Issiqlik almashinuvi mavjud bo'lgan, havoning bosim ostida beriladigan porshenli dvigatelning hisoblangan sikli	1,69	—	16	—	—	1651,1	0,5015	1,411	338,5	11,27	1978

(2.45) tenglamani yozishda foydalanilgan. Detalldagi o'rtacha mahalliy $q_{o'r}$ issiqlik yuklamasi quyidagicha aniqlanadi:

$$q_{o'r} = \frac{\int_0^{\varphi_s} \alpha_{T\Sigma}(T - T_W)d\varphi}{\varphi_s}$$

yoki

$$q_{o'r} = \frac{\int_0^{\varphi_s} \alpha_T T d\varphi}{\varphi_s} - \frac{\int_0^{\varphi_s} \alpha_{T\Sigma} T_w d\varphi}{\varphi_s}.$$

Issiqlik almashinuvi bo'yicha umumlashtiruvchi zaryad harorati to'g'risida tushuncha kiritiladi:

$$T_{um} = \frac{\int_0^{\varphi_s} \alpha_{T\Sigma} T d\varphi}{\int_0^{\varphi_s} \alpha_{T\Sigma} d\varphi}.$$

Sikl davomida detal sathi harorati T_w ning kam o'zgarishini hisobga olinsa, quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$T_w = \frac{\int_0^{\varphi_s} \alpha_{T\Sigma} T_w d\varphi}{\int_0^{\varphi_s} \alpha_{T\Sigma} d\varphi}.$$

Bunda: $\left(\int_0^{\varphi_s} \alpha_{T\Sigma} d\varphi\right) / \varphi_s = \alpha_{T.o'r}$ — sikldagi o'rtacha issiqlik berish koeffitsiyenti.

Nihoyat $q_{o'r} = \alpha_{T.o'r}(T_{um} - T_w)$ kelib chiqadi.

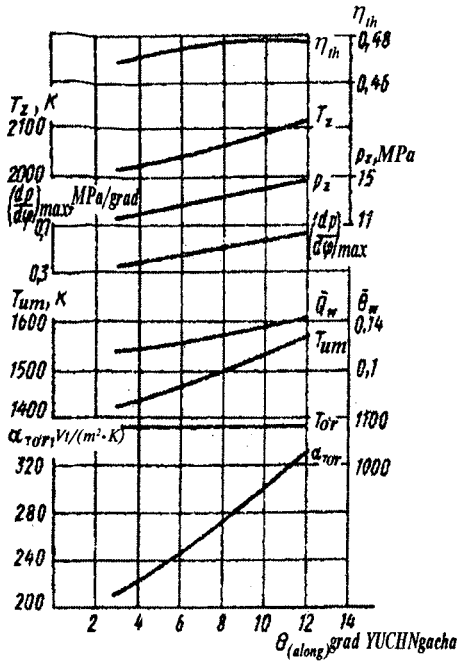
$T_{um} > T_w$ bo'lganligi uchun $q_{o'r}$ ni miqdoriga ta'sirni $\alpha_{T.o'r} \cdot T_{um}$ ko'paytma belgilab beradi. Shuning uchun hisoblangan sikllarni tahlil qilishda $\alpha_{T.o'r}, T_{um}$ va ularning ko'paytmasini aniqlash kerak.

Tekis devorni bir o'lchamli statsionar issiqlik o'tkazuvchanligida $T_{w1} - T_{w2} = q_{o'r} \frac{\delta}{\lambda}$ bo'ladi.

$\frac{\delta}{\lambda} = const$ deb belgilansa $T_{w1} - T_{w2} \approx q_{o'r}$ hosil bo'ladi, ya'ni devordagi haroratlar farqi issiqlik oqimi zichligiga to'g'ri proporsionaldir. Ushbu bog'liqlik silindrsimon devor uchun ham to'g'ri hisoblanadi.

Alangalanishning ilgarilatish burchagi θ_{alang} ning ta'siri (2.15-rasm).

Alangalanishning ilgarilatish burchagi deb, yonishni boshlanishi bilan YUCHN oralig'idagi burchak tushuniladi. Foydalanish jarayonida alangalanishni ilgarilatish burchagi purkashni ilgarilatish burchagi (o't oldirish), atrof-muhit sharoiti o'zgarganda va dvigatel yeyilganda o'zgaradi. U dvigatelning shovqinli nurlanishi, tutunliligi va ishlatilgan gazlarining zaharliligidan tortib barcha ko'rsatkichlariga jiddiy ta'sir qiladi.



2.15-rasm. **Hisoblangan sikl ko'rsatkichlarini alangalanishni ilgarilatish burchagiga bog'liqlik chiziqli tasviri.**

θ_{alang} ortganda quyidagilar ko'payadi:

– siqishning salbiy ishi;

– issiqlik sig'imining haroratga bog'liqligini η_t ga salbiy ta'siri, chunki siklning eng yuqori harorati ortadi;

– haroratlar farqi $(T_{um} - T_w)$ ni va issiqlik berish jadalligini ortishi tufayli sovitish tizimida issiqlikni yo'qolishi;

– keyinchalik kengayish darajasini eng kam qiymati $\delta_{\min} = V_e / V_{i.at}$, issiqlik ajralib chiqish YUCHN yaqinida nihoyasiga yetishi tufayli. $V_{i.at}$ – issiqlik ajralishni tugash vaqtidagi silindr hajmi.

Keltirilgan omillardan oldingi uchtasi siklning FIK va o'rtacha bosimini kamayishi va to'rtinchisi siklni takomillashganligi tufayli bo'lishi kerak. Omillarning qarama-qarshi ta'siri η_{th} va p_{sh} miqdorlar bo'yicha alangalanishni ilgarilatish burchagini eng maqbulini mavjud bo'lishini aniqlaydi.

Zaryadning vaqt bo'yicha o'rtacha harorati $T_{o'r} * \theta_{\text{alang}}$ ni o'zgarishida kam o'zgaradi (2.15-rasm). Bu sovitish muhitdagi issiqlik oqimi zichligini va nisbiy yo'qotishni o'zgarish xususiyatini aks ettirmaydi $\bar{Q}_w = \frac{Q_w}{G_{syo} H_u}$. Shu vaqtning o'zida T_{um} ning o'zgarishi nisbiy yo'qotish $\bar{Q}_w$ ning o'zgarish xususiyatiga mos keladi. Bundan ***issiqlik almashinuvi bo'yicha haroratni umumiysi*** degan parametrning nomi kelib chiqadi.

θ_{alang} ortishi bilan faqat issiqlik yuklamasi keskin ortib qolmasdan (demak, detallarni issiqlikdan zo'riqishi), ularga tushadigan mexanik yuklama p_z, $(dp / d\varphi_{\max})$ ham.

Shuning uchun dvigatelning ishonchli ishlashi ham pasayadi.

Xususiy holda alangalanish boshlanishini ilgarilatish burchagi oldinroq bo'lsa, halqalar va porshenlarda tirnalishlar sodir bo'lishi mumkin. Shuning uchun ishlatish jarayonida, ayniqsa dvigatelning texnik xizmati va ta'mir-

* – siqish va kengayish taktlari uchun aniqlangan.

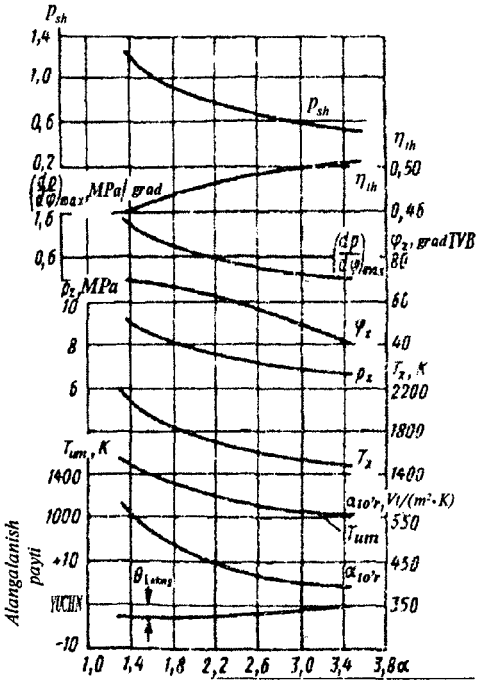
lashdan so'ng dizelning yonilg'i nasosini va uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarning uzgich-taqsimlagich valini tirsakli valga nisbatan to'g'ri o'rnatilishiga alohida e'tibor berish kerak.

Aralashma tarkibining ta'siri. Dizelda yuklamani o'zgartirishga yonilg'i uzatishni o'zgartirish bilan erishiladi. Havoni uzatilishiga ta'sir qilinmaydi. Shuning uchun yuklamani kamayishi bilan havoning ortiqlik koeffitsiyenti jiddiy ortadi.

α ni ortishida issiqlik sig'imi kamayadi, ishchi jismning adiabat ko'rsatkichi oshadi va buning oqibati sifatida η_{th} ham kattalashadi (2.16-rasm).

Amaliyotda yuklamani o'zgarishi bilan purkashni boshlanish payti kam o'zgaradigan dizellarning yonilg'i tizimi keng tarqalgan. Sikllarning tahlili, dizelning yuklamasi kamayganda alangalanish boshlanishining eng maqbul burchagi, asosan, yonilg'ini yonib tugash davomiyligi φ_z ni kamayishi hisobiga kichiklashishini ko'rsatadi (2.16-rasm). Agar yuklamaning kamayishida alangalanish boshlanishini eng maqbuli ta'minlansa, u holda sikl η_{th} ni θ_{alang} o'zgarmas holatidagiga nisbatan anchaga oshirishga erishish mumkin. Bunday holat sovitish muhitida issiqlik yo'qotilishi $\bar{Q}_w$ ni nisbatan kam o'zgarishi oqibatida T_{um}, $\alpha_{t.o'r}$ larni ko'p kamayishi bilan bog'liq, bir vaqtning o'zida $\theta_{alang} = idem$ bo'lganda α ni o'sishi bilan $\bar{Q}_w$ ko'payishga intiladi. $\theta_{alang} = opt$ bo'lganda α ni o'sishi bilan p_z, $dp/d\varphi_{max}$, T_z larni keskin kamayishini qo'shimcha ko'rsatib o'tish kerak.

θ_{alang} ni kamayishida chiqarib tashlanadigan azot oksidlarini keskin kamayishini ham hisobga olish kerak (6-bobga qarang). Shuning uchun tashqi yuklamani o'zgarishida alangalanishni boshlanish payti o'zgarishini eng maqbulini ta'minlaydigan xususiyatga ega bo'lgani, yonilg'i tizimi dizellarning kelajak yonilg'i tizimi hisoblanadi.

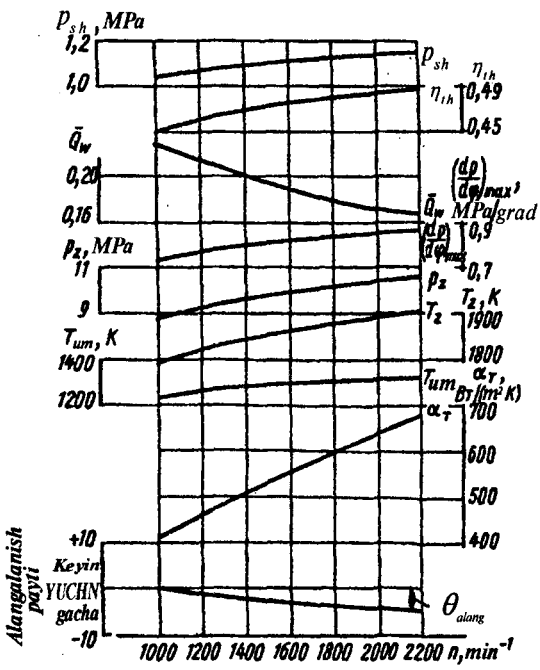


2.16-rasm. **Hisoblangan sikl ko'rsatkichlarini $\theta_{alang} = opt$ bo'lganda havoning ortiqlik koeffitsiyentiga bog'liqlik grafigi.**

Aylanishlar chastotasining ta'siri (2.17-rasm). Rejimlarni ishchi oralig'ida tirsakli valning burilish burchagi bo'yicha yonilg'ini yonib tugash davomiyligi aylanishlar chastotasiga kam bog'liq bo'ladi. Shuning uchun aylanishlar chastotasining hisoblangan sikl ko'rsatkichlariga ta'sirini o'rganilayotganda yonib tugash davomiyligini o'zgarmas deb qabul qilish mumkin.

n ni o'zgarishida siklning ko'rsatkichlarini jiddiyroq o'zgarishi ishchi jism va sovitish muhiti orasidagi issiqlik almashinuvi bilan bog'liq. Aylanishlar chastotasi ortganda issiqlik almashinuvi jadalligi bog'liq bo'lgan zaryadning harakat jadalligi ortadi. Agar gazlarning majburiy harakatida silindr ichida faqat issiqlik berishga o'rin bo'lsa, u holda issiqlik berish koeffitsiyenti $n^{0,8}$ ga proporsional ravishda o'zgarishi kerak edi. Haqiqatda issiqlik almashinuvi jadalligiga dizellarda nurlanish ham jiddiy ta'sir qiladi.

n ni ortishi bilan nurlanish jadalligi ortishi mumkin deyishga fizikaviy asos yo'q. Agar $\alpha_{T\Sigma} = \alpha_к + \alpha_l$ deb qabul qilinsa, u holda ushbu yig'indining faqat bir qismi $n^{0,8}$ ga proporsional ravishda o'sadi, boshqa qismi esa birinchi yaqinlikda n ga bog'liq emas. Shuning uchun $\alpha_{T\Sigma}$ n ga nisbatan jiddiy darajada kam oshadi. Issiqlik almashinuvi vaqti (siklning davomiyligi) n qanday darajada ortsa shunday darajada qisqaradi. $Q_w = \alpha_{T.o'r}(T_{um} - T_w) F \tau_s$ bo'lganligi tufayli n ni ortishi bilan Q_w kamayadi, chunki issiqlik almashish jadalligining ortish darajasi jarayon davomiyligining qisqarishidan kam bo'ladi. Bu sovitish muhitiga issiqlik nisbiy yo'qolishining kamayishini ta'minlaydi va ishga aylanadigan issiqlik qismini ortish oqibati hisoblanadi.



2.17-rasm. **Hisoblangan siklning ko'rsatkichlarini aylanishlar chastotasiga bog'liqlik grafigi.**

Shuning uchun qabul qilingan sharoitda n ning ortishi bilan η_{th} va p_{sh} ortadi (2.17-rasm). Alangalanishni ilgarilatish burchagining eng maqbul qiymati aylanishlar chastotasini ortishi bilan ortadi. Bunni ortishida sovitish muhitiga issiqlik yo'qolishini kamayishi bilan bog'liq.

Issiqlik almashinuvining ta'siri kamayganda θ_{alang} ni eng maqbuli kattalashish tomoniga siljiydi, chunki bunda keyinchalik kengayish darajasini eng kichik qiymati ortadi. Keltirilgan tahlildan, agar aylanishlar chastotasini ortishi bilan yonilg'ini yonib tugashi tirsakli valning burilish burchagi bo'yicha cho'zilib ketmasligi va yonishni to'liqligi yomonlashmasligi uchun aralashma hosil bo'lish va yonish jarayonlarini jadallashtirishga erishilsa, u holda $\alpha = idem$ bo'lganda aylanishlar chastotasini ortishi bilan issiqlikdan foydalanishni sezilarli darajada yaxshilanishining kutish mumkin bo'lishi kelib chiqadi. Ushbu xulosada — yetarli darajada yuqori aylanishli dvigatellarni yaratish mumkinligiga birdan-bir nazariy yondashish mumkin.

Kiritish qismlari oldidagi sharoitning ta'siri (2.18-rasm). Bosim ostida kiritilayotgan havoning bosimi ortganda uning harorati T_k ham ko'tariladi. Oqibatda, siklning o'rtacha va eng yuqori harorati ko'tariladi, bu issiqlik sig'imini haroratga bog'liqligi siklning FIK ga salbiy ta'sirini ortirishga olib keladi. Dvigatel detallari haroratini ham ortiradi. Biroq bu T_k ni ortishiga qaraganda kam darajada sodir bo'ladi.

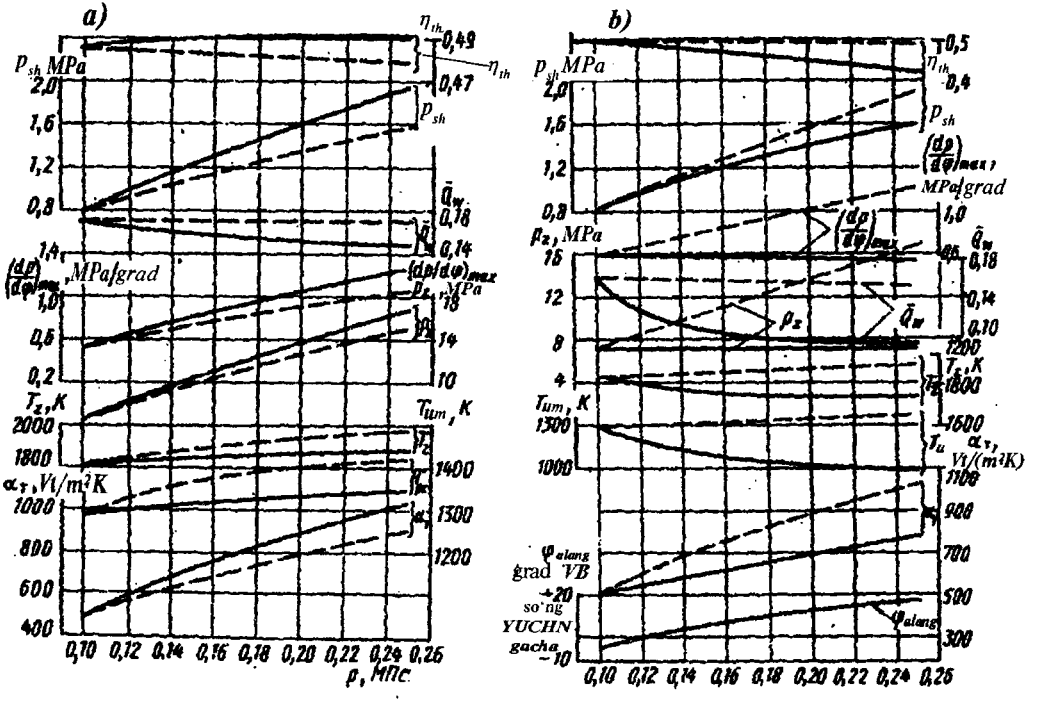
Yonilg'ining yonib tugash davomiyligini o'zgarmas deb taxmin qilib, bosim ostida kiritiladigan havoning bosimini hisoblangan sikl ko'rsatkichlariga ta'sirini tahlil qilish mumkin. Taqqoslashning qo'shimcha sharoiti α o'zgarmas.

p_k ni ortishida, ε va yonilg'ining yonish xususiyatini o'zgartirmasdan qoldirishda silindrdagi zaryad zichligi mos holda ortadi, bu issiqlik berish koeffitsiyentini ortishiga olib keladi. Demak, bosim ostida kiritiladigan havo bosimini oshirishda harorat farqi $(T_{um} - T_w)$ ham va issiqlik almashinuvi jadalligi ham ortadi. Shuning uchun zaryaddan devor orqali sovitish muhitiga beriladigan issiqlikni absolut miqdori jiddiy ortadi, bu detallar haroratini oshishiga olib keladi. Dvigatelning ishonchli ishlashini saqlash uchun maxsus chora qabul qilish kerak.

η_{th} ga sovitish muhitiga uzatilgan issiqlikning absolut miqdori emas, uni yonilg'i bilan kiritilgan $\bar{Q}_w$ issiqlikka bo'lgan nisbati ta'sir qiladi. Agar siklning eng yuqori bosimi cheklanmasa, ya'ni $\theta_{alang'il}$ ni miqdori η_{th} i ni eng ko'p qiymatga erishadigan shartidan kelib chiqqan holda qabul qilinsa va bosim ostida kiritiladigan havo (BOKH) sovitilmasa, u holda hisoblangan sikllar tahlilini ko'rsatishicha p_k ni ortishi bilan $\bar{Q}_w$ ozginaga ko'payadi (2.18-a rasm). $\bar{Q}_w$ ni ortishi va issiqlik sig'imining haroratga bog'liqligini salbiy ta'siri, bosim ostida kiritiladigan havo bosimini o'sishi bilan (havoni sovitish mavjud bo'lmaganda) η_{th} ni kamayishiga sababchi bo'lib hisoblanadi. Shuning uchun p_s silindrni yangi zaryad bilan massali to'lishiga qaraganda kam darajada ortadi.

Yonilg'ining yonib tugash xususiyati saqlanib qolinganda p_k ni ortishi bilan faqat p_z jiddiy ortib qolmasdan $dp/d\varphi$ ning eng yuqori qiymati ham ortadi.

T_a ni o'sish sur'atini pasayishini keltirib chiqaradigan BOKH sovitish usuli qo'llanilsa, p_k ni o'sishi bilan haroratni barcha ahamiyatli qiymatlari ($T_{o'r}$, T_{um}, T_z) va ularni o'sish sur'ati ham kamayadi. Buning natijasida $\bar{Q}_w$ ortmasdan kamayadi. Shuning uchun η_{th} kamaymaydi, balki p_k ni ortishi



2.18-rasm. **Hisoblangan sikl ko'rsatkichlarini havoni bosim ostida kiritish bosimiga bog'liqlik grafigi:**

a _____ — bosim ostida kiritiladigan havo sovitiladi; ---------- bosim ostida kiritiladigan havo sovitilmaydi, $q_{alang.il}$ = opt;

b----- BOK havo sovitiladi; $q_{alang.il}$ = opt; _____BOK havo sovitilmaydi, P_z = const.

bilan ozgina ko'payishi ham mumkin. Buning oqibatida p_{sp} massali to'lishga qaraganda bir necha darajaga ko'p ortadi. BOKH sovitish usuli qo'llanilsa, yonishdagi p_z ni va $dp / d\varphi$ ni eng yuqori qiymatini qo'shimcha ortishiga olib keladi (BOKH sovitish usuli mavjud bo'lmagandagiga qaraganda). Bu tabiiyki, silindrda ko'p miqdordagi yonilg'ining yonish oqibati hisoblanadi.

BOKH tizimiga sovitish usuli kiritilsa, p_{sh} jiddiy darajada ortadi, biroq bunda detallarga tushadigan mexanik yuklama ko'payadi. Agar havoni bosim ostida kiritishda $p_z = idem$ sharti qo'yilsa, u holda p_k ni o'sishi bilan alangalanishni boshlanish payti ko'proq kechikishi kerak va hattoki YUCHN dan keyinga ko'chiriladi. BOKH sovitish usuli qo'llanilmaganda ham p_z ni cheklash p_k ni ortishi bilan siklni ahamiyatli haroratlarini kamayishiga olib keladi (2.18-b rasm). Buning natijasida $\bar{Q}_w$ ham sezilarli darajada kamayadi. Biroq η_{th} ga asosan, issiqlikni o'z vaqtida ajralib chiqmasligiga uni YUCHN yaqiniga keltirish bilan bog'liq bo'lgan yo'qotishlarni ortishi ta'sir qiladi. Buning natijasida $\eta_{th}\, p_k$ ni ortishi bilan BOKH sovitish usuli qo'llanilmaganiga va p_z ni cheklanmaganiga qaraganda ko'p darajada kamayadi. p_z cheklanganda p_k ni ortishi bilan bosimni ortish tezligini eng yuqori qiymati kamayadi, chunki eng yuqori tezlik bilan issiqlikni ajralib chiqishi silindr hajmini kamayishi yoki hajmni ko'payishi tezligida ham sodir bo'ladi.

Yonib tugash tavsiflarini sikl ko'rsatkichlariga ta'siri. Yonib tugash tavsiflariga φ_{zj} ning davomiyligi, yonib tugash xususiyati ko'rsatkichlari m_i va jarayonning ayrim fazalarida yonib tugaydigan yonilg'ini A_i qismi kiradi. Dizelga nisbatan, odatda, yonib tugashning ikki fazasi farqlanadi. Ulardan birinchisida, asosan, alangalanishni kechikish davrida tayyorlangan aralashma yonib tugaydi. Yonib tugash kimyoviy reaksiyani kinetikasi qonuni bo'yicha ro'y beradi, shuning uchun fazani kinetik faza deb ataladi. Ma'lum paytdan boshlab yonib tugash tezligi aralashma tayyorlash bilan cheklanadi, ya'ni turbulentli aralashish tezligi bilan; bu faza diffuziyali faza deb ataladi. Majburiy o't oldiriladigan benzinli dvigatellarda issiqlik ajralib chiqish bir fazali bo'ladi.

Yonilg'ining yonib tugash xususiyatini matematik tushunchasi usullaridan biri I.I. Vibe ishlarida asoslangan. Jarayonning birinchi fazasi davrida yonilg'ining yonib tugagan qismini quyidagicha ko'rsatish mumkin:

$$x = A_1\left[1 - e^{-6{,}908\left(\frac{\varphi}{\varphi_{z1}}\right)^{m_1+1}}\right] + A_2\left[1 - e^{-6{,}908\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m+1}}\right]$$

va ikkinchi faza davrida

$$x = A_1 + A_2\left[1 - e^{-6{,}908\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m+1}}\right].$$

Birinchi fazada yonib tugashning tezligi uchun ifoda mos holda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{dx}{d\varphi} = 6,908\frac{A_1}{\varphi_{zH}}(m_H+1)\left(\frac{\varphi}{\varphi_{zH}}\right)^{m_H} e^{-6,908\left(\frac{\varphi}{\varphi_{zH}}\right)^{m_H+1}} +$$

$$+ 6,908\frac{A_2}{\varphi_z}(m+1)\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m} e^{-6,908\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m+1}},$$

ikkinchi fazada esa

$$\frac{dx}{d\varphi} = 6,908\frac{A_2}{\varphi_z}(m+1)\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m} e^{-6,908\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m+1}},$$

bunda: A_1 va A_2 — jarayonning birinchi va ikkinchi fazalarida yonib tugagan yonilg'i qismi; φ — alangalanishni boshlanishidan hisoblanadigan tirsakli valning joriy burilish burchagi, φ_{zH} va φ_z — birinchi va ikkinchi yonib tugash fazalarini davomiyligi; m_H, m — jarayonning birinchi va ikkinchi fazalarida yonib tugash xususiyatini ko'rsatkichlari.

Benzinda ishlaydigan dvigatellar uchun ifoda soddalashib quyidagi ko'rinishga keladi:

$$x = 1 - e^{-6,908\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m+1}},$$

$$\frac{dx}{d\varphi} = 6,908\frac{m+1}{\varphi_z}\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m} e^{-6,908\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m+1}}.$$

Birinchi fazada ajralib chiqadigan issiqlik miqdorining qismi ko'p bo'lmaganda (10...20%), birinchi faza tavsifi (φ_{ZH}, m_H) dizel siklini energetik va tejamkorlik ko'rsatkichlariga kam ta'sir qiladi. m_H va φ_{zH} ortishi bilan faqat bosim ortishining eng yuqori tezligi ($dp/d\varphi$) max sezilarli darajada kamayadi. Birinchi fazada ajralib chiqadigan issiqlik miqdori (A_1) qismining ortishida alangalanishni eng maqbul ilgarilatish burchagi sezilarli darajada kamayadi, p_z va $(dp/d\varphi)_{max}$ o'sadi, T_z esa sezilarli darajada kamayadi. $T_z$ni pasayishi asosiy fazada issiqlik ajralish tezligini kamayishi bilan bog'liq. Asosiy fazada issiqlik ajralib chiqish davomiyligini kamayishi η_{ih} va p_{sh} larni ortishi bilan kuzatiladi, φ_z ni katta qiymatlari oralig'ida ayniqsa sezilarli darajada bo'ladi. Issiqlikni o'z vaqtida ajralib chiqmasligi bilan bog'liq bo'lgan yo'qotilishning

qisqarishi tufayli sovitish muhitida nisbiy yo'qotishni ko'payishiga olib keladi. φ_z ni qisqarishida bir vaqtning o'zida zaryad haroratini ahamiyatli qiymatlari sezlarli oshadi (T_{um}, T_z) .

Asosiy fazada issiqlik ajralib chiqish tezligi tavsifining oldingi ko'lami tikkaligi oshganda (m ni kamayishida) siklning $\eta_{i,h}$, p_{sh} ko'rsatkichlari ham ortadi. Bu issiqlik ajralib chiqishi boshlanishini eng maqbulini kechroq bo'lishiga qaramasdan, asosan, issiqlik ajralib chiqish dinamikasini qulay o'zgarishi bilan bog'liq. m ning qiymati kichik bo'lganligi tufayli issiqlikni ko'prog'i YUCHN yaqinida ajralib chiqadi. Issiqlik ajralib chiqishi boshlanishini kechikishi FIK ni kamayishiga olib kelmaydi, chunki jarayonning oxirida issiqlik ajralib chiqish tezligi kichik bo'ladi.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellardagi bir fazali issiqlik ajralib chiqishda φ_z va m larning ta'siri deyarli ikki fazali dizellarniki kabi bo'ladi.

Dizelning yonib tugash tavsifiga yonish kamerasining shakli va o'lchamlarini, yonilg'i tizimi o'lcham turalarini, soplo teshiklari soni va yo'nalishini, zaryad uyurma harakati jadalligini birgalikda tanlash bilan ta'sir qilish mumkin.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelda issiqlik ajralib chiqish xususiyatiga yonish kamerasi shakli va o'lchamlarini qabul qilish, o't oldirish shamlarini joylashtirish, turbulentlilikni jadalligi, aralashmani qatlamlarga ajralishi hisobiga ta'sir qilish mumkin.

Parchalanish (dissotsiatsiya)ning ta'siri. Yuqori haroratlarda yonish mahsulotlari oddiy tashkil etuvchilarga parchalanadi. Ushbu jarayon *termik parchalanish diss* deb ataladi, u issiqlikni yutish bilan kechadi.

Masalan, CO_2 va H_2O larni parchalanishi quyidagi tarzda ifodalanadi:

$$2CO_2 \rightleftarrows 2CO + O_2$$

$$2H_2O \rightleftarrows 2H_2 + O_2$$

Kengayish chizig'ida haroratning pasayishi tufayli dissotsiatsiya issiqligi qaytariladi (rekombinatsiya), lekin siklda kam FIK bilan foydalaniladi, buning natijasida siklni tejamkorligi dissotsiatsiya e'tiborga olinmaganda aniqlangan uning qiymatiga nisbatan kamayadi.

Parchalanish darajasi α_d — muvozanat paytigacha parchalangan modda qismining kmoli (yoki m^3).

Kimyoviy reaksiya muvozanatining o'zgarmas miqdori K parchalanish darajasining funksiyasi hisoblanadi $K=f(\alpha_d)$. Ushbu funksiya yordami bilan dvigateldagi asosiy yo'qotishlarni aniqroq aniqlash, shu bilan birga yonish mahsulotlarining zaharli tashkil etuvchilarini hosil bo'lishini baholash mumkin.

Tahlil qilishning maqsadi va hisoblangan siklni kutilgan T_z ga bog'liqligi parchalangan aralashma qanday tashkil etuvchilardan iborat bo'lishi orqali

tanlanadi. Parchalanish hisobi qabul qilingan yonish mahsulotlarining tashkil etuvchilari soniga bir qo'shilgan tenglamalar tizimi bo'yicha amalga oshiriladi, chunki bir vaqtning o'zida yonish mahsulotlarining harorati aniqlanadi.

Tizimga kimyoviy muvozanat tenglamasi, yonish mahsulotlari parsial bosimlari balansi, yonishni boshlanishi va oxiridagi issiqlik balansi va material balansi (uglerod, vodorod, kislorod, azot bo'yicha) kiradi.

Yonish mahsulotlarining muvozanat tarkibi aniqlanadigan tashkil etuvchi uchun (masalan, kislorod) parsial bosimi va T_z harorati berilganda tenglamalar tizimining yechimi yaqinlashish (iteratsiya) usuli bilan EHM da amalga oshiriladi.

Barcha tashkil etuvchilarining parsial bosimi aniqlanganidan so'ng, birinchi tashkil etuvchining parsial bosimi qanchalik muvaffaqiyat bilan tanlanganligi tekshiriladi, agar lozim bo'lsa, u oydinlashtiriladi va hamma hisoblash takrorlanadi.

Shu tarzda T_z aniqlanadi, uning miqdori issiqlik balansini qanoatlantiradi:

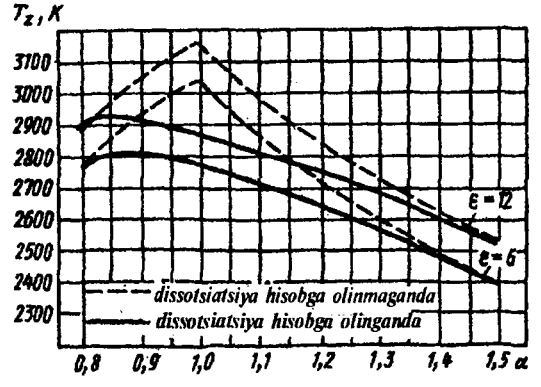
$$(H_u - \Delta H_u) + U_s = U_z' + \Delta q_{diss},$$

bunda: U_z' — parchalangan aralashmaning ichki energiyasi; Δq_{diss} — parchalanish issiqligi.

Yonilg'ining Δq_{diss} (kJ/kg) miqdorini quyidagi ifoda orqali aniqlash mumkin:

$$\Delta q_{diss} = 283{,}07\left[M_{CO}'' - M_{CO}'\right] + 242{,}08\left[M_{H_2}'' - M_{H_2}'\right],$$

bunda: M_i'' va M_i' i — tashkil etuvchini (qoldiq gazlarni hisobga olish bilan) mos holda parchalanish hisobga olinganda va hisobga olinmagandagi kmol lar soni.



2.19-rasm. **Siklning eng yuqori haroratini havoning ortiqlik koeffitsiyentiga bog'liqlik grafigi.**

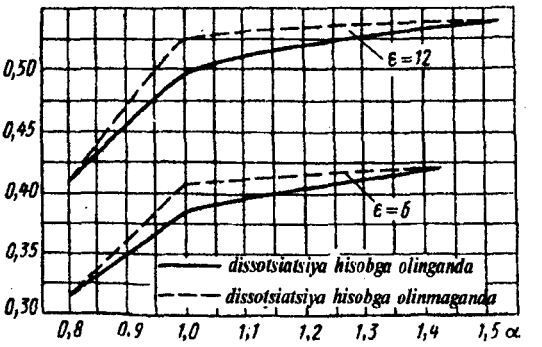
Parchalangan aralashma tashkil etuvchilarining kmollar soni ularning parsial bosimi orqali aniqlanadi.

2.19-rasmda siklning eng yuqori haroratiga α ni ta'siri ko'rsatilgan. Hisoblangan siklda issiqlik sig'imining haroratga nisbatan o'zgarishi inobatga olingan, yonish $V = const$ deb hisoblangan, siqish jarayoni adiabat deb qabul qilingan, kengayish jarayoni esa parchalanish issiqligini qaytarilishi natijasida

issiqlik berish bilan kuzatiladi deb qaralgan.

CO_2 va H_2O larning eng ko'p parchalanishi $\alpha = 1$ bo'lganda sodir bo'ladi, quyuq aralashma sohasida parchalanishning kamayishi kuchli.

Hisoblangan siklning eng yuqori harorati $0{,}8 < \alpha < 1{,}5$ oralig'ida parchalanish natijasida pasayadi. $\alpha = 1$ va $\varepsilon = 12$ bo'lganda haroratni pasayishi 300°C ga erishadi.



2.20-rasm. **Hisoblangan siklning FIK ni havoning ortiqlik koeffitsiyentiga bog'liqlik grafigi.**

Parchalanish tufayli issiqlikni yo'qolishi η_{th} ni kamayishiga olib keladi (2.20-rasm), $\alpha = 1$ bo'lganda u eng ko'p qiymatga ega bo'ladi va $\varepsilon = 12$ bo'lganda 9% ga (η_t ga nisbatan parchalanish e'tiborga olinmaganda) erishadi.

Aralashmaning suyuqlashishi bilan hisoblangan sikl parametrlari va ko'rsatkichlariga parchalanishning ta'sirini sezilarli kamayishi, ya'ni yonish haroratini pasayishida, dizelning hisoblangan sikli ko'rsatkichlariga parchalanishni kam ta'sir qilishini bilvosita ko'rsatadi.

2.3. IYOD da ISSIQLIKDAN QAYTA FOYDALANISH

Yonilg'ining energetik potensialidan to'laroq foydalanishga intilish, ishlatilgan gazlar issiqligidan foydalanishni amalga oshiradigan kombinirlangan (murakkab) dvigatellarni paydo bo'lishiga olib keldi.

2.21-rasmda issiqlikdan qayta foydalanishni ikki bosqichli qurilmasining sxemasi keltirilgan.

Bunday dvigatellarda IG energiyasini ko'paytirish maqsadida yonish kamerasi devori, sovitish muhitiga issiqlikni uzatishiga to'sqinlik qiladigan keramikali ashyo bilan qoplanib, issiqlik himoyasi amalga oshiriladi.

Ikki issiqlik qabul qiluvchi bilan issiqlik oladigan termodinamik siklni ishlatish asosida IYOD da issiqlikdan qayta foydalanish imkoniyati qiziqish uyg'otadi.

Haqiqatda IYOD ni haqiqiy siklida IG issiqligi keyinchalik sovitish suyuqligiga uzatish bilan ishchi kamera devoriga uzatiladi, ya'ni ikki issiqlik qabul qiluvchi ishlaydi.

IYOD sikli haroratini yuqoriligi tufayli devor bilan olib ketilgan issiqlik miqdorini IG bilan olib ketilgan issiqlik miqdoriga tenglashtirilsa bo'ladi .

Tavsiya etilgan termodinamik siklga, asosan, ikki issiqlik qabul qiluvchi olgan issiqlikdan foydalanish bilan IYOD asosidagi issiqlik kuch qurilmasining termik FIK uchun ifodasi olingan.

Issiqlik kuch qurilmasiga asos qilib olingan IYOD ning termodinamik sikli umum qabul qilingan va qo'shimcha yo'l qo'yishliklarga va aniqliklarga asoslangan. Xususan, devor orqali issiqlik olib ketish, issiqlik almashinuvining haqiqiy sharoitini e'tiborga olgan holda, issiqlik qabul qiluvchiga issiqlikni YUCHN da yoki qisman YUCHN va PCHN da olib ketish bilan modellashtiriladi. Bunday yo'l qo'yishdagi siklda ikkitadan kam bo'lmagan issiqlik qabul qiluvchilar ishtirok etadi.

Bayon qilingan modelga asosan siklning termik FIK quyidagi tarzda aniqlanadi:

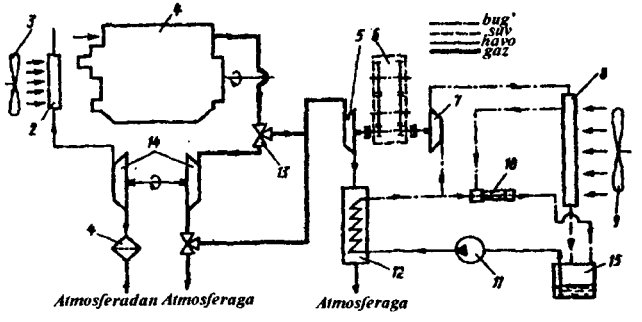
$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_r + q_0}{q_1} = 1 - \frac{q_r + q_{01} + q_{02}}{q_1},$$

bunda: q_1 — berilgan issiqlik; q_2 — olingan issiqlik; q_r — birinchi issiqlik qabul qiluvchi olgan issiqlik (IG); q_0 — ikkinchi issiqlik qabul qiluvchi olgan issiqlik (yonish kamerasi devori); q_{01} — YUCHN yaqinida izoxor bo'yicha ikkinchi issiqlik qabul qiluvchi olgan issiqlik; q_{02} — PCHN da izoxor bo'yicha ikkinchi issiqlik qabul qiluvchi olgan issiqlik.

2.22- va 2.23-rasmlarda issiqlik berishning izoxor holati uchun, 2.24- va 2.25-rasmlarda issiqlik berishning izoxor-izobar (o'zgarmas hajm-o'zgarmas bosim) holati uchun, 2.26- va 2.27-rasmlarda ishchi jismning dastlabki siqish bilan termodinamik sikli ko'rsatilgan.

Avval issiqlik o'zgarmas hajmda beriladigan sikllarni ko'rib chiqamiz. Asos qilib olingan IYOD ning termik FIK uchun ifodasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\eta_t = \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}\right)\left(1 - bK_q\right),$$



2.21-rasm. **Kompaundli kuch qurilmasining prinsipial sxemasi:**
1 — tozalagich; 2— havo sovitkich; 3— shamol parrak; 4— dvigatel; 5— kuch turbinasi; 6— reduktor;7— bug' turbinasi; 8— kondensator; 9— shamol parrak; 10— ejektor; 11— nasos; 12— bug' generatori; 13— o'tish klapani; 14— turbokompressor; 15— sarflagich idish.

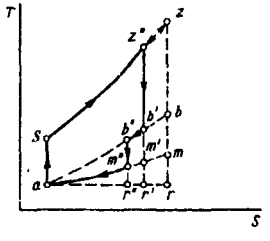
bunda: $K_q = q_0 / q_1$ — issiqlik yo'qotish koeffitsiyenti; $b = q_{01} / q_0$ — o'zgarmas hajmda YUCHN yaqinida olingan issiqlikning qismi.

Birinchi issiqlik qabul qiluvchi (IG) olgan issiqlikdan foydalanish imkonini ko'rib chiqamiz.

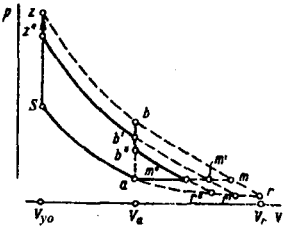
Gazlar energiyasidan to'liq foydalanish mumkin, agar atrof-muhit haroratigacha adiabat bo'yicha kengaysa (*b"r"* adiabat) keyinchalik atrof-muhit bosimigacha izotermik siqilsa (*ra* izoterma).

Haqiqiy kengayish mashinalarida (masalan, turbinalarda) gazlarning kengayishi muhit bosimigacha yoki uning bosimidan ortiq bosimgacha amalga oshiriladi. Shuning uchun gazlarning kengayishidagi eng ko'p ishi *b"m"* adiabat bilan aniqlanadi. Bunda issiqlikni olish *ma* izobara bo'yicha amalga oshiriladi. Ishlatilgan gazlardan olingan issiqlikdan qayta foydalanishda termik FIK ni o'sishi quyidagini tashkil etadi:

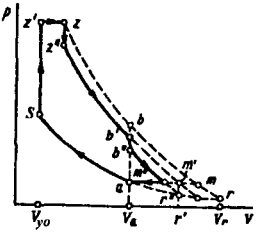
$$\Delta\eta_{tr} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}(\lambda-1)}\left\{\left[\lambda'(\delta'-1)\right] - K\left[(\lambda'\delta')^{1/k} - 1\right]\right\},$$



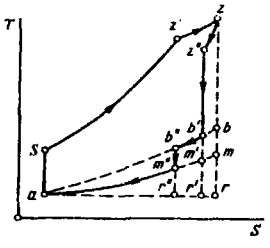
2.22-rasm.
T—S koordinatalarda issiqlik o'zgarmas hajmda beriladigan sikl.



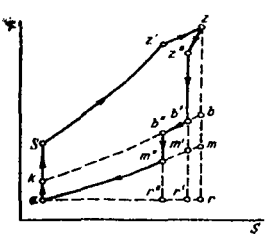
2.23-rasm.
p—V koordinatalarda issiqlik o'zgarmas hajmda beriladigan sikl.



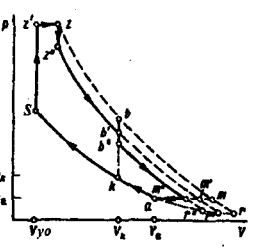
2.24-rasm.
p—V koordinatalarda issiqlik aralash usulda beriladigan sikl.



2.25-rasm.
T—S koordinatalarda issiqlik aralash usulda beriladigan sikl.



2.26-rasm.
Ishchi jismni dastlabki siqish bilan T—S koordinatalardagi sikli.



2.27-rasm.
Ishchi jismni dastlabki siqish bilan p—V koordinatalardagi sikli.

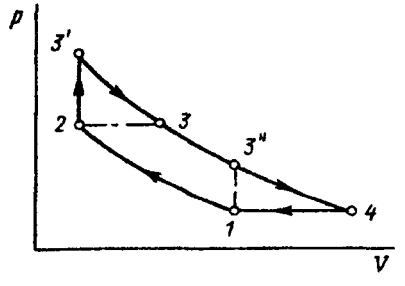
bunda: $\lambda = p_z / p_s$ — bosimning ortish darajasi; $\lambda' = p_{z'} / p_s$ YUCHN yaqinida ikkinchi issiqlik qabul qiluvchi olgan issiqlikni hisobga olganda bosimning ortish darajasi; $\delta' = p_{b''} / p_{b'}$ — PCHN yaqinida ikkinchi issiqlik qabul qiluvchi olgan issiqlik tufayli bosimning kamayish darajasi.

Qayd qilingan siqish darajasi ε da $\Delta\eta$ eng yuqori qiymatga ikkinchi issiqlik qabul qiluvchini issiqlik olishi mavjud bo'lmaganda, ya'ni $\lambda' = \lambda$, $\delta = 1$, bo'lganda erishishi ifodadan ko'rinib turibdi. Ushbu holatga *bm* adiabat muvofiq keladi.

IG dan olingan issiqlikdan foydalanishda siklni termik FIK quyidagiga teng bo'ladi:

$$\eta_{t.if} = \eta_t + \Delta\eta_{tr}.$$

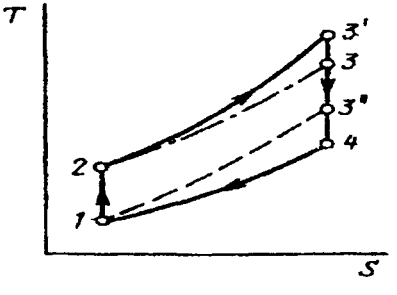
Ikkinchi issiqlik qabul qiluvchi olgan issiqlikdan foydalanish imkoni ikkinchi ishchi jism (gaz)ga q_0 issiqlik izobar yoki izoxor bo'yicha uzatilishi tufayli mumkin bo'ladi. IJ birinchi holatda ish bajarishi mumkin faqat haydovchi bilan dastlabki siqish amalga oshirilganda.



2.28-rasm.
r—V koordinatalarda sovitish gazi olgan issiqlikdan foydalanish sikli.

2.28 va 2.29-rasmlarda q_0 — issiqlikdan foydalanishning termodinamik sikllari keltirilgan. Issiqlik o'zgarmas hajmda berilganda issiqlikdan foydalanish siklining ishi eng yuqori bo'lishi rasmdan ko'rinib turibdi.

Ikkinchi IJ ga issiqlik o'zgarmas bosimda berilganda issiqlikdan foydalanish sikli uchun issiqlik kuch qurilmasini termik FIK ni o'sishi quyidagini tashkil etadi:



2.29-rasm.
T—S koordinatalarda sovitish gazi olgan issiqlikdan foydalanish sikli.

$$\Delta\eta_{to} = K_q \left(1 - \frac{1}{\frac{K_0 - 1}{\pi^{K_0}}} \right),$$

bunda: π — sovitilgan gaz haydovchi bosimning ortish darajasi.

Sovituvchi gazga issiqlik, o'zgarmas hajmda berilishida issiqlikdan foydalanish sikli

ishlatilganda

$$\Delta\eta_{to} = K_q\left[1 - \frac{K}{\frac{K_0-1}{\pi^{K_0}}}\left(\frac{t^{1/k_0}-1}{t-1}\right)\right],$$

bunda $t = T_3 / T_2$ yoki

$$\Delta\eta_{t0} = K_q\left\{1 - K_0\left(\frac{K_e}{mK_q}\right)\left[\left(1 + m\frac{K_q}{K_e}\frac{1}{\frac{K_0-1}{\pi^{K_0}}}\right)^{1/k-1} - 1\right]\right\},$$

bunda: $m = \xi\frac{H_u}{T_1 C_Y(\alpha l_0+1)}$; $K_e = G_b / G_r$ — sovituvchi gaz haydovchining ish unumdorlik koeffitsiyenti; G_b — sovituvchi gaz sarfi; G_r — IG sarfi.

Issiqlik qabul qiluvchilar olgan issiqlikdan foydalanish bilan issiqlik o'zgarmas hajmda berilgan siklni termik FIK quyidagini tashkil etadi:

$$\eta_{t\ if} = \eta_t + \Delta\eta_{tr} + \Delta\eta_{t0}$$

Issiqlik o'zgarmas hajm va o'zgarmas bosimda beriladigan siklni ko'rib chiqamiz (2.24-rasmga qarang).

Asos qilib olingan IYOD ning termik FIK

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}\frac{\lambda\rho^k - 1}{(\lambda-1)+k\lambda(\rho-1)} - bk_q\left(1 - \frac{\rho^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}}\right).$$

IG olib ketgan issiqlikdan foydalanishda siklning termik FIK ni o'sishi quyidagini tashkil etadi:

$$\Delta\eta_{tr} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}\frac{\lambda\rho^k - 1}{(\lambda-1)+k\lambda(\rho-1)}\left\{\left[\lambda\delta\delta'\cdot\rho^k - 1\right] - K\left[\left(\lambda\delta\delta'\cdot\rho^k\right)^{1/k} - 1\right]\right\},$$

bunda: $\delta = p_z'' / p_z$ — YUCHN yaqinida devorga issiqlik berilishi tufayli bosimning pasayish darajasi.

$\pi_H = \varepsilon_H^k$ gacha dastlabki siqishda siklning termik FIK ni o'sishi quyidagini tashkil etadi:

$$\Delta\eta_{tr} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}\frac{1}{(\lambda-1)+k\lambda(\rho-1)}\left\{\left[\lambda\delta\delta'\rho^k - 1\right] - \frac{K}{\varepsilon_n^{k-1}}\left[\left(\lambda\delta\delta'\rho^k\right)^{1/k} - 1\right]\right\}.$$

Issiqlik qabul qiluvchilar olgan issiqlikdan foydalanish bilan issiqlik o'zgarmas, hajm-o'zgarmas bosim (aralash usul)da berilganda siklning termik FIK i

$$\eta_{tif} = \eta_t + \Delta\eta_{tr} + \Delta\eta_{t0}.$$

Termik FIK ni aniqlash uchun K_q ni bilish kerak.

B.S. Stechkinning ko'rsatishicha, issiqlik yo'qotish koeffitsiyenti mashinaning issiqlik tavsifini beradi va ε, λ, ρ lar bilan birgalikda dvigatelning ko'rsatkichlari safiga kiradi.

Sikl ishi quyidagi tarzda aniqlanadi:

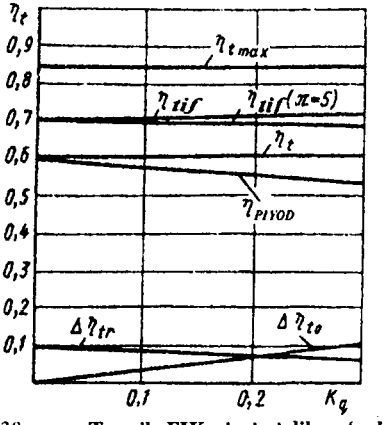
$$A_{tif} = q_1\eta_{tif}.$$

Siklni o'rtacha bosimi quyidagiga teng:

$$P_{tif} = A_{tif}/V_h.$$

2.30-rasmda FIK va uning tashkil etuvchilarini issiqlik yo'qolish koeffitsiyentiga bog'liqligi tasvirlangan.

Bunday bog'liqlikka ega bo'lib, ko'p amaliy masalalarni masalan, sovitiladigan dvigatel FIK ning eng yuqori qiymati, olingan issiqlikdan qayta foydalanish bilan sovitiladigan dvigatel va adiabatli porshenli dvigatel FIK ning eng yuqori qiymati,issiqlikdan qayta foydalanishni samaradorligiga siklni ta'siri va boshqalar to'g'risidagi masalani yechish mumkin.



2.30-rasm. **Termik FIK ni «issiqlik yo'qolish» koeffitsiyentiga bog'liqligi.**

III BOB
HAQIQIY SIKLLAR JARAYONI

Dvigatelning haqiqiy siklini hosil qiluvchi jarayonlarda ishchi jism miqdori va tarkibini o'zgarishi, shu bilan birga issiqlik almashinuvi sodir bo'ladi. Ko'p zarar bo'lmagan holda hisoblashlar aniq bo'lishi uchun, odatda, massa almashinish faqat kiritish va chiqarish jarayonlarini tahlilida va shu bilan birga dizellarda yonilg'ini purkashda inobatga olinadi, ya'ni ushbu jarayonlar uchun silindr ichki bo'shlig'i ochiq tizim sifatida qaraladi. Boshqa barcha holatlarda silindr ichki bo'shlig'i yopiq tizim deb hisoblanadi. Gazlarning holati muvozanatlangan deb hisoblanadi.

3.1. GAZ ALMASHINUV JARAYONLARI

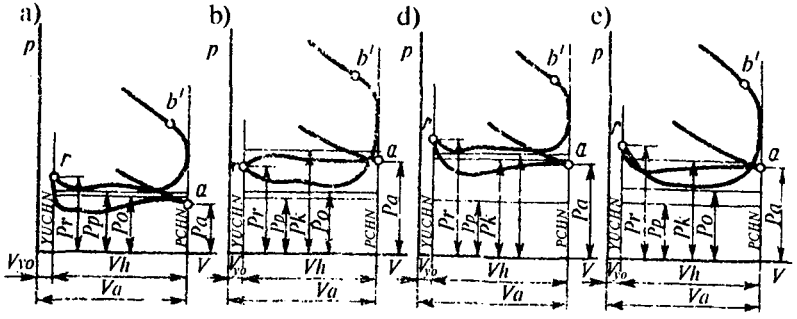
3.1.1. UMUMIY HOLAT

Kiritish va chiqarish jarayonlarini amalga oshirishda ishchi jismning almashinishi ***gaz almashinuvi*** deb ataladi. Gaz almashinuvi nihoyasiga yetganidan so'ng silindrda qolgan yangi zaryad miqdoriga siklda olinadigan ish va binobarin dvigatelning quvvati ham hal qiladigan darajada bog'liq bo'ladi.

Gaz almashinuvi jarayonlari faqat bir-biri bilan bog'liq emas. Silindrlar kallagidagi kiritish kanalining maxsus shakllantirish va joylashtirish yo'li bilan kiritish paytida dvigatel silindrida zaryadning yo'naltirilgan harakatini barpo qilish, aralashma hosil qilish va yonishni yaxshilashga imkon yaratuvchi asosiy omillardan biri deb hisoblanadi. Tashqarida aralashma hosil qiladigan dvigatellarda kiritish jarayoni yonilg'i-havo aralashmasini hosil qilish jarayoni bilan ham uni silindrga kirgunicha bog'liq bo'ladi.

3.1.2. CHIQARISH JARAYONI VA KLAPANLARNING BARAVARIGA OCHIQ TURISH DAVRIDA GAZ ALMASHINUVI

Chiqarish jarayoni. Kengayish taktini oxirida porshen PCHN yetmasdan 40...70° ilgariroq ishlatilgan gazlar chiqara boshlanadi (3.1-a rasmda b' nuqta). Bu vaqtda bosimsiz kiritiladigan dvigatellarda silindrdagi bosim $p \approx 0,4...0,6 MPa$ oralig'ida bo'ladi. Shovqin so'ndirgich, neytrallagich va uzatuvchi quvurlar qarshiligi tufayli chiqarish klapani tirqishidan gazlarni chiqishida bosim $p_p \approx 0,105...0,12 MPa$ oralig'ida bo'ladi, shuning uchun gazlarni chiqarish avval yuqori kritik bosimlar farqida ro'y beradi $p_p / p < \beta_{kr}$, ya'ni klapan tirqishi orqali gazlar kritik tezlik bilan oqadi (500...700 m/s). Silindr ichidagi gazlar miqdorini tezlik bilan kamayishi va ularning kengayishi natijasida bosim sezilarli darajada pasayadi $p_p / p > \beta_{kr}$ va bo'lganda gazlar oqimining



3.1-rasm. **To'rt taktli dvigatelning gaz almashinuvi diagrammasi:**
a — bosim ostida kiritish usuli qo'llanilmagan; b — yurituvchi haydagich orqali bosim ostida kiritish usuli qo'llanilgan; d — $p_k < p_p$ bo'lganda gazturbina orqali bosim ostida kiritish; e — $p_k > p_p$ bo'lganda gazturbina orqali bosim ostida kiritish.

tezligi kritik qiymatidan kichik bo'ladi. Chiqarish jarayonining birinchi davri ***erkin chiqish davri*** deb ataladi, u PCHN yaqinida tugaydi. Qisqa vaqtli erkin chiqish davrida silindr ichidan 50...70% ishlatilgan gazlar chiqarib tashlanadi.

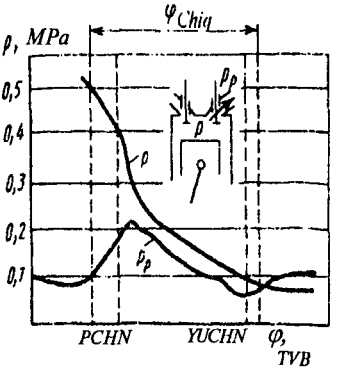
Majburiy chiqarish deb ataladigan ikkinchi davr paytida, ya'ni porshen YUCHN tomon siljishida, uni siqishi ta'sirida chiqarish sodir bo'ladi.

3.2-rasmda silindr ichidagi p va silindrlar kallagi kanalidagi (chiqarish klapani oldidagi) p_p bosimlarni chiqarish davrida o'zgarishi ko'rsatilgan. Chiqarishni boshlanishi bilan p ni kamayishi shiddatliroq kechadi, p_p bosim esa ortadi, bu bosim to'lqinini hosil bo'lishiga olib keladi. Ushbu to'lqin o'tkazuvchi quvurning ochiq tomonini oxirigacha tarqaladi, bu yerda u energiyasini bir qismini berib qaytadi va chiqarish klapani tomon siyraklanish to'lqini ko'rinishida siljiydi, chiqarish klapanida yangi qaytarish sodir bo'ladi va hokazo.

O'tkazuvchi quvur bo'ylab to'lqinlarning siljishida energiyasini ishqalanishga sarflanishi bilan bog'liq holda ularning ketma-ket so'nishi ro'y beradi. Tebranma jarayonning natijasi dvigatelning barcha silindrlaridan gazlarni chiqarishda hosil bo'ladigan to'g'ri va qaytarilgan to'lqinlar yig'indisi bilan aniqlanadi. Chiqarishning boshlanish payti silindrning yaxshi tozalanishini ta'minlaydigan darajada, boshqa tomondan ushbu jarayonga kam energiya sarflanadigan qilib tanlanadi. Agar klapan erta ochilaboshlasa chiqarishning dastlabki davrida gazlarning foydali ishini yo'qolishi ortadi. Agar klapan kech ochilsa, u holda majburiy chiqarish paytida salbiy ish ortadi.

Klapanlarning baravariga ochiq turishi davrida gaz almashinuvi. Kiritish va chiqarish tizimlaridagi tebranma jarayonlarning tabiati umumiylikka ega. Tajribalarning ko'rsatishicha, gaz almashinuvi yaxshi bo'lishi uchun kiritish klapani porshen YUCHN ga taxminan 10...30° yetmasdan ochilaboshlanishi, chiqarish klapani esa YUCHN dan 10...50°

o'tgandan so'ng yopilishi kerak. Ikkala klapanning bir vaqtda ochiq turish davri ***klapanlarning baravariga ochiq turish davri*** deb ataladi (3.3-rasmda φ_{bo}). $p_p < p$ va $p < p_k$ bo'lgandagi eng maqbul holatda kritish klapani orqali silindr ichiga yangi zaryad kiradi, chiqarish klapani orqali esa ishlatilgan gazlar chiqarib yuboriladi. Bunday gaz almashinuvi silindrni puflab tozalash deb ataladi. Haqiqatda yangi zaryad silindr ichida ishlatilgan gazlar bilan aralashadi, shuning uchun $p_p < p$ bo'lganda klapanlarning baravariga ochiq turish davrida yangi zaryadning bir qismi chiqarish klapani orqali silindrdan chiqib ketishi mumkin. Gazlarning teskari oqishi ko'proq odatiy holi drossellash to'smaqopqoq ko'p darajada yopiq bo'lganda, uchqun bilan o't oldiriladigan dvigatellarni salt yurish rejimida sodir bo'ladi. Ushbu rejimlarda $p_p / p_k > 2$, shuning uchun klapanlarning baravariga ochiq turishi vaqtida chiqarish tizimidan ishlatilgan gazlar chiqarish klapani orqali silindr ichiga qayta kiradi, kiritish klapani orqali esa silindrdan kiritish tizimiga gazlar oqishi yuzaga keladi.

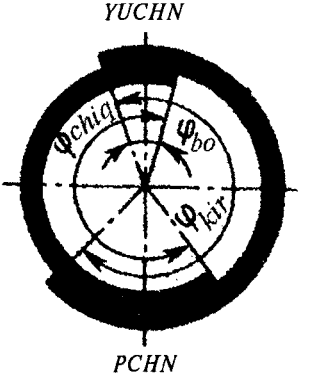


3.2-rasm. **To'rt taktli dvigatelning chiqarish jarayonida p va p_p larning o'zgarishi:** φ_{chiq} — chiqarish fazasi.

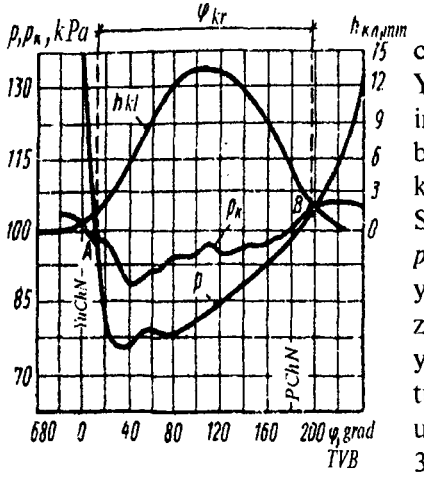
3.1.3. KIRITISH JARAYONI

Chiziqli tasvirlardan kelib chiqqan holda (3.4-rasm), kiritish klapani ochila boshlanganidan so'ng p va p_k bosimlar tezda tenglashadi (A nuqta), shu vaqtdan kiritish boshlanadi, chunki porshenning keyingi harakatida $p < p_k$ bo'ladi, biroq yangi zayardning klapan tirqishi orqali oqish tezligini belgilaydigan bosimlar farqi $(p_k - p)$ o'zgardi.

Kiritish jarayoni davomida silindrga kiradigan yangi zaryadning miqdori kiritish tizimining umumiy gidravlik qarshiligiga bog'liq bo'ladi, ya'ni porshenni YUCHN dan PCHN tomon siljishida atrof-muhit bosimi p_0 va silindrdagi bosim p orasidagi farq o'zgaradi. Porshenni PCHN ga kelishida kiritish tizimida bosimning yo'qolish $\Delta p_a = p_0 - p_a$ i qancha kam bo'lsa, shu vaqtgacha silindrni to'ldiradigan yangi zaryadni miqdori shuncha ko'p bo'lishi tabiiy (3.1-rasmda a nuqta).



3.3-rasm. **To'rt taktli dvigatelning gaz taqsimlash fazasining diagrammasi.**



3.4-rasm. **To'rt taktli dvigatelning kiritish jarayonida p va p_k larning o'zgarishi: φ_{kir} — kiritish fazasi.**

Tirsakli valning aylanishlar chastotasining ortishida havo (yoki YOHA) oqimi tezligini orta borishi va inersiya kuchi ta'sirida harakatlanadi, shu bilan birga to'lqinlar hodisasi natijasida kiritish tizimidagi bosim p_k ham ortadi. Shuning uchun agar siqish boshlanishida $p_k > p$ bo'lsa, u holda kiritish davom yetadi; ushbu jarayon me'yoriga yetkazib zaryadlash deb ataladi. 3.4-rasmda me'yoriga yetkazib zaryadlash B nuqtada tugaydi. Me'yoriga yetkazib zaryadlash uchun kiritish klapani PCHN dan 35...85° o'tgandan so'ng bekitiladi.

Yangi zaryadning inersiyasi kichik bo'lganda tirsakli valning kam aylanishlar chastotasida kiritish klapanining bekilishini kechikish paytida porshen yangi zaryadning bir qismini silindrdan qaytadan kiritish tizimiga siqib chiqaradi, ya'ni qayta chiqarib tashlash sodir bo'ladi. Shunday qilib, kiritish tugagandan so'ng, umumiy holda silindrni to'ldiradigan yangi zard miqdori gaz almashinuvi davomida silindrga kirgan zaryadning umumiy miqdoridan kam bo'ladi. Kiritish quvuri, kallakdagi kanal sathlari va silindr ichki sathining harorati yangi zaryad haroratiga qaraganda ancha yuqori bo'lganligi uchun kiritish jarayonidagi issiqlik almashinuvi oqibatida yangi zaryad isiydi. Yangi zaryadning isishi uni qizigan qoldiq gazlar bilan aralashishi natijasida ham ro'y beradi.

Gaz taqsimlash fazalari. Klapanlarning ochiq turish davomiyligini tirsakli valning burilish burchagi bo'yicha ifodalanish davri, gaz taqsimlash fazasi deb ataladi. 3.3-rasmda gaz taqsimlash fazasining aylanma diagrammasi keltirilgan. Gaz taqsimlash fazasini to'g'ri tanlashda faqat silindrlarni yonish mahsulotlaridan tozalash va uni yangi zaryad bilan to'ldirish yaxshilanib qolmasdan, kiritish va chiqarish jarayonlari davomida silindrdagi bosimlar farqiga proporsional bo'lgan gaz almashinuviga sarflanadigan energiyani ham birmunchaga kamaytirish mumkin bo'ladi. Gaz taqsimlash fazasini va kiritish traktining asosiy geometrik o'lchamlarini tanlash, dvigatelning yangi nusxasini tajriba orqali me'yoriga yetkazishda muvofiqlashtiriladi.

Har bir aylanishlar chastotasi uchun gaz taqsimlash fazasi o'zining eng optimal qiymatiga ega bo'ladi, gaz taqsimlash fazasini haqiqiysi dvigatelning ishini eng muhim tezlik rejimlarida η_v ni eng optimalini ta'minlaydigan darajada qilib tanlanadi.

Katta tezlikda aylanadigan dvigatellar ko'p hollarda kichik tezlikda aylanadigan dvigatellarga qaraganda kengroq gaz taqsimlash fazasiga ega bo'ladi. Agar qandaydir ma'lum aylanishlar chastotasi oralig'ida silindrlarni yangi zaryad bilan to'lishini oshirish kerak bo'lsa, u holda me'yoriga yetkazib zaryadlashni ko'payishini ta'minlaydigan gaz taqsimlash fazasi va kiritish traktini geometrik o'lchamlari (asosan uni uzunligi)ni birgalikda tanlash kerak. Bunday hodisa dinamikaviy bosim ostida kiritish deb ataladi.

Gaz almashinuvi jarayoni samarali bo'lishi uchun klapanlardagi o'tish kesimini kattaroq qilib ta'minlash muhim hisoblanadi. Bu kesim gaz almashish davomida o'zgarib turadi, shuning uchun klapanlarning o'tkazish qobiliyati vaqt kesim deb ataladigan ko'rsatkich bilan tavsiflanadi.

$$\int_0^{\tau} f d\tau = \frac{1}{6n} \int_{\varphi_1}^{180^0+\varphi_2} f d\varphi,$$

bunda: f — klapan tirqishidagi o'zgaruvchan o'tish kesimi, m^2; τ — vaqt, c; φ_1 va φ_2 — mos holda klapan ochilishini ilgarilashishi va kechikishi, grad TVB.

3.1.4. IKKI TAKTLI IYODLARDA GAZ ALMASHINUVI

Tirsakli valning burilish burchagida ifodalangan gaz almashinuvi jarayonlarini umumiy davomiyligi ikki taktli dvigatellarda to'rt taktli dvigatellarga qaraganda *3...3,5* marta kam. Gaz almashinuvni ko'p qismi bir vaqtning o'zida kiritish (puflash) va chiqarish (darcha yoki klapanlari) qismlarini ochiq turish vaqtida o'tadi. Silindrga yangi zaryad $p_k > p$ bo'lganda kiradi.

Chiqarish qismlarining ochilishini boshlanishi va yangi zaryadni silindrga kirishini boshlanishi oralig'idagi davr ***erkin chiqarish*** deb ataladi. Ushbu davrni boshlanishida IG silindrdan chiqarish qismlari orqali kritik tezlik bilan chiqib ketadi, so'ngra esa oqim kritik soha ostida sodir bo'ladi.

Kiritish qismlarining ochilishini boshlanishida silindrdagi bosim kiritish idishidagi (yoki krivoship kamerasidagi)ga qaraganda katta, ya'ni $p > p_k$, shuning uchun ishlatilgan gazlar kiritish qismlari orqali ozgina miqdorda kiritish idishiga chiqarib tashlanadi. Kiritish idishida p_k bosim maxsus haydovchi (puflovchi) bilan, krivoship kamerasida esa porshen bilan hosil qilinadi.

Bosimlar nisbati $p_p \leq p_k$ bo'lganda puflash-to'ldirish davri boshlanadi, ya'ni oldingi sikldan qolgan IG bilan aralashadigan yangi zaryad silindrga kiradi. Bir vaqtning o'zida chiqarish qismlari orqali ishlatilgan gazlar so'ngra yangi zaryad bilan ularning aralashmasi ham oqib chiqa boshlaydi. Kiritish qismlari yopiq va chiqarish qismlari ochiq bo'lganda sirtmoqli gaz almashinuv sxemasida gaz almashinuvining oxirida gaz qo'shimcha chiqarish sodir bo'ladi. Chiqarish qismlari gaz almashinuv sxemasi to'g'ri oqimli bo'lgan dvigatellarda yopiladi yoki kritish qismlari bilan bir vaqtda yoki birmuncha kechikib

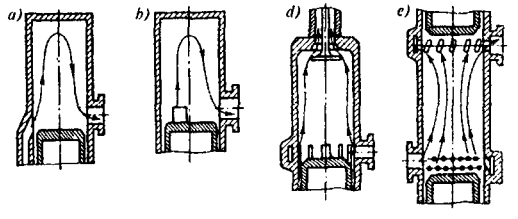
yopiladi, shuning uchun ularda qo'shimcha chiqarish mavjud bo'lmaydi yoki juda oz. Agar kiritish qismlari chiqarish qismlaridan keyin yopilsa, u holda $p < p_k$ bo'lganda me'yoriga yetkazib zaryadlash ro'y beradi.

Ikki taktli dvigatellarda gaz almashinuvini takomillashganligi gaz almashinuv tizimi sxemasiga jiddiy bog'liq. Gaz almashinuv sxemalarini turli ko'rinishdagi konstruksiyalari mavjud, biroq ularning barchasini ikki asosiy sirtmoqli (konturli) va to'g'ri oqimli turiga keltirish mumkin.

Sirtmoqli gaz almashinuvi sxemasida (3.5-a, b rasm) gazlar harakatini birinchi yaqinlik bilan shakllantirilgan puflovchi darchadan mos holda silindr devori bo'ylab yonish kamerasi tomon, u yerdan esa silindrni qarama-qarshi tomoni bo'ylab pastga chiqarish darchasiga yo'nalgan deb qarash mumkin. Sirtmoqli sxemada chiqarish va puflash darchalari porshen bilan boshqariladi. Bunday sxemalar gaz almashinuvini sifati bo'yicha to'g'ri oqimliligiga yon bosadi, biroq o'zini soddaligi bilan farqlanadi, shuning uchun ham u quvvati katta bo'lmagan, xususan, mototsikl va ishga tushiruvchi dvigatellarda ishlatiladi.

Gaz almashinuvning to'g'ri oqimli sxemalari (3.5- d, e rasm) konstruksiyasi bo'yicha murakkab, lekin ular puflab tozalash va to'ldirishni takomillashganligini ta'minlaydi. Puflovchi darchalarini mos yo'nalishi silindr o'qiga nisbatan zaryadni aylanma harakatini ta'minlab, puflab tozalashni yaxshilab qolmasdan aralashma hosil qilish jarayonini takomillashganligini orttiradi. Puflab tozalashni yaxshiligi va yo'qotilgan hajm ulushining kamligi tufayli to'g'ri oqimli sxemalar sirtmoqli gaz almashinuviga qaraganda tejamkorlik va quvvat ko'rsatkichlarini yaxshilanishini ta'minlaydi. To'g'ri oqimli gaz almashinuvi sxemasi tirqishli va klapan-tirqishli bo'lishi mumkin. Keltirilgan oxirgi sxema vatanimizda ishlab chiqarilgan YAMZ-204 va YAMZ-206 dvigatellarida qo'llanilgan.

Puflab tozalash va qo'shimcha chiqarish vaqtida yangi zaryadning bir qismi chiqarish qismlari orqali sarflaydi, bunday holni ayniqsa karbyuratorli dvigatellarda bo'lishi maqsadga muvofiq emas, chunki yonilg'ining bir qismi foydalanilmasdan chiqarish tizimiga chiqarib yuboriladi. Silindrga kiritilgan havo (yoki aralashma)ning miqdori M_k ni gaz almashinuvidan keyin silindrda qolgan yangi zaryad miqdori M ga bo'lgan nisbati $\varphi_{puf} = M_k / M$ puflab chiqarish koeffitsiyenti deb ataladi. φ_{puf} qiymat qancha katta bo'lsa, puflab chiqarishda yangi zaryadni yo'qolishi



3.5-rasm.
Ikki taktli dvigatellarning puflash sxemalari:
a — darchalari parallel joylashtirilgan sirtmoqli;
b — darchalari ekssentrik joylashtirilgan sirtmoqli;
d — klapan-tirqishli to'g'ri oqimli;
e — to'g'ri oqimli tirqishli.

shuncha ko'p bo'ladi, biroq bir qator javobgar detallar (porshen, chiqarish klapanlari, silindrlar kallagi)ning issiqlikdan zo'riqishi silindr ichi bo'shlig'ini puflovchi sovuq havo (yoki yonilg'i havo aralashmasi) bilan yaxshi sovitilishi tufayli kamayadi. Ikki taktli dvigatellarning silindrlarini to'lish va tozalanish sifati to'rt taktli dvigatellarga qaraganda kam. Puflovchi haydovchilarning yuritish uchun quvvatni sarf bo'lishini talab qiladi.

3.1.5. GAZ ALMASHINUV JARAYONLARINING PARAMETRLARI VA KO'RSATKICHLARI

Gaz almashinuvi nihoyasiga yetib, kiritish va chiqarish qismlari yopilganidan so'ng silindrda qolgan IG va yangi zaryaddan tashkil topgan ishchi jism uni to'ldiradi.

Gaz almashinuv jarayonlari parametrlari. Silindrning yonish mahsulotlaridan sifatli tozalanishi qoldiq gazlar mollari miqdori M_r ni kiritish jarayoni tugagandan so'ng silindrni to'ldirgan yangi zaryad mollari miqdori M_{1s} ga bo'lgan nisbati bilan tavsiflanadi; ushbu nisbat qoldiq gazlar koeffitsiyenti deb ataladi:

$$\gamma = M_r / M_{ls}. \qquad (3.1)$$

Agar to'rt taktli IYOD uchun chiqarish jarayoni YUCHN da tugaydi deb qaralsa, u holda

$$M_r = p_r V_{yo} / (8314 T_r),$$

bunda: p_r va T_r — mos holda qoldiq gazlarning mutlaq bosimi, *Pa* va mutlaq harorati, *K*; V_{yo} — yonish kamerasi hajmi; 8314 — universal gaz doimiysi, $J/(kmol \cdot K)$.

Demak, p_p bosimni (chiqarish klapani va chiqarish tizimi qarshiligi) ortishiga yoki T_r haroratni (aralashma tarkibi, kengayish darajasi, yonishda va kengayishda issiqlik olinishi) pasayishiga olib keluvchi barcha omillar γ ni o'sishiga olib keladi.

$V_{yo} = V_h / (\varepsilon - 1)$ bo'lishi hisobga olinsa, u holda ε qancha katta qiymatga ega bo'lsa, γ ni qiymati shuncha kichik bo'ladi. Bu dizellarda γ ning uchqundan o't oldiriladigan dvigatellariga qaraganda ancha kichik bo'lishini asosiy sababi hisoblanadi. Ikki taktli dvigatellarda puflab tozalash-to'ldirish jarayonining takomillashmaganligi tufayli γ ga nisbatan yuqori qiymatga ega bo'ladi (3.1-jadvalga qarang).

Gaz almashinuv jarayoni sifatini asosiy tavsifi — to'ldirish koeffitsiyenti η_v, gaz almashinuvi nihoyasiga yetgandan so'ng silindrni to'ldirgan yangi zaryad miqdori M_{1s} ni silindr ishchi hajmi V_h ni p_k va T_k qiymatlarida nazariy jihatdan to'ldirishi mumkin bo'lgan yangi zaryad M_T ni miqdoriga bo'lgan nisbati ko'rinishiga ega.

Benzinda ishlaydigan dvigatellar uchun to'ldirish koeffitsiyentini hisoblashda aralashmadagi yonilg'i miqdori hisobga olinmay, faqat havo miqdori hisobga olinadi, chunki η_v ning olinadigan qiymatiga yonilg'i kam ta'sir qiladi:

$$\eta_v = M_{1s} / M_T = G_{1s} / G_T = G_{1s} / (\rho_k V_h) = V_1 / V_h, \qquad (3.2)$$

bunda: M_{1s} va G_{1s} — mos holda yangi zaryadning mollar soni va massasi, kg;

V_1 — kiritish sharoitiga keltirilgan yangi zaryad hajmi (p_k va T_k), m³;

M_T va G_T — silindr ishchi hajmini nazariy jihatdan to'ldirishga qobil bo'lgan yangi zaryad mollar soni va massasi, kg; $\rho_k - p_k$ va t_k bo'lgan sharoitdagi yangi zaryad zichligi, kg/m³.

Gaz almashinuvi jarayonlari parametrlarining hisobi. Gaz almashinuvidagi gaz dinamik va issiqlik jarayonlarining murakkabligi uni aniq hisobini haddan tashqari qiyinlashtiradi.

Haqiqiy siklni termodinamik hisoblash oralig'i (chegarasi)da gaz almashinuv jarayonlari elementar hisoblash bilan cheklanadi.

IG parametrlari hisoblanmaydi, dvigatelning konstruksiyasi va uning chiqarish tizimining o'ziga xosligini hisobga olgan holda hisoblanadi (3.1-jadvalga qarang). Yangi zaryadni kiritish traktida ya silindrda issiq sathlar bilan issiqlik almashinuvida uni isish miqdori ΔT ham hisoblanmasdan qabul qilinadi. ΔT ning miqdori valni aylanishlar soni ortganda va isitish sathlarini harorati pasayganda bir qanchaga pasayadi, uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun esa aralashma hosil qilish jarayonida yonilg'ini bug'lanishiga ham bog'liq bo'ladi. ΔT ning qiymati qancha katta bo'lsa, yangi zaryad zichligi shuncha kichik bo'ladi, demak boshqa bir xil sharoitda to'ldirish koeffitsiyenti kamayadi.

Agar kiritish jarayoni PCHN da nihoyasiga yetadi deb qaralsa, u holda kiritish oxiridagi harorat T_a entalpiya balansi bo'yicha aniqlanishi mumkin:

$$c_p M_{1a} (T_k + \Delta T) + c_r M_r T_r = c_p' (M_{1a} + M_r) T_a, \qquad (3.3)$$

bunda: $M_{1a} - V_a$ hajmdagi yangi zaryadning mollar soni.

Zaryadda IG miqdori ko'p bo'lmaganligi tufayli, yangi zaryadning issiqlik sig'imini va qoldiq gazlar bilan aralashmasidagi uning issiqlik sig'imini teng deb qabul qilish mumkin, ya'ni $c_p = c_p'$. Qoldiq gazlar issiqlik sig'imini $c_r = \varphi c_p$ orqali va kiritish klapani yopilishini kechikish fazasi davomida yangi zaryad miqdorining o'zgarishini esa, me'yoriga yetkazib zaryadlash koeffitsiyenti $\varphi_1 \left(\varphi_1 = \frac{M_{1s}}{M_{1a}} \right)$ bilan ifodalaniladi:

$$M_{1a} + M_r = M_{1a} (1 + \varphi_1 \gamma),$$

bo'lganligi tufayli, nihoyat quyidagi ifoda hosil bo'ladi

$$T_a = \left(T_k + \Delta T + \varphi\varphi_1\gamma T_r\right) / \left(1 + \varphi_1\gamma\right). \tag{3.4}$$

Bosimsiz kiritiladigan to'rt taktli dvigatellar uchun (3.3) ifoda bo'yicha hisoblashda, odatda $T_k = T_0$ deb olinadi.

η_v ning hisoblash formulasini olish uchun a nuqtadagi zaryadning holat tenglamasi yoziladi (3.1-rasmga qarang):

$$M_{1a} + M_r = p_a V_a / \left(8314 T_a\right). \tag{3.5}$$

Porshen YUCHN holatda bo'lganda:

$$\begin{aligned} p_a V_a &= 8314\left(M_{1a} + M_r\right) T_a = \\ &= 8314\left(\frac{M_{1s}}{\varphi_1} + M_2\right) T_a = 8314 M_{1c} \frac{1+\varphi_1\gamma}{\varphi_1} T_a, \end{aligned} \tag{3.6}$$

bundan

$$M_{1s} = \left[\varphi_1 p_a V_a / \left(8314 T_a\right)\right]\left[1 / \left(1 + \varphi_1\gamma\right)\right].$$

Yangi zaryadning mollarining nazariy miqdori

$$M_n = p_k V_h / \left(8314 T_k\right). \tag{3.7}$$

(3.2), (3.6) va (3.7) ifodalarga asosan, quyidagi formulalarni yozish mumkin:

$$\eta_v = \frac{M_{1s}}{M_n} = \varphi_1 \frac{p_a}{p_k} \frac{V_a}{V_h} \frac{T_k}{T_a} \frac{1}{1+\varphi_1\gamma}$$

$$V_a / V_h = \varepsilon / \left(\varepsilon - 1\right) \text{ va } \frac{1}{\left[T_a\left(1+\varphi_1\gamma\right)\right]} = \frac{1}{\left(T_k + \Delta T + \varphi_1\gamma T_r\right)},$$

bo'lganligi tufayli, nihoyat quyidagi ifodalar hosil bo'ladi:

$$\eta_v = \varphi_1 \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{p_k} \cdot \frac{T_\kappa}{T_\kappa + \Delta T + \varphi\varphi_1\gamma T_r}. \tag{3.8}$$

Ushbu tenglama ikki va to'rt taktli dvigatellar uchun to'g'ri deb hisoblanadi. Ikki taktli dvigatellar uchun (3.8) tenglamaga siqish darajasini haqiqiy qiymatini qo'yish kerak.

Agar chiqarish YUCHN dan so'ng tugasa, YUCHN da esa qoldiq gazlar miqdori M_r ga teng deb qaralsa, u holda faqat to'rt taktli dvigatelga taalluqli bo'lgan η_v ni hisoblash uchun boshqa tenglamani olish mumkin. U holda chiqarish jarayoni nihoyasiga yetgandan so'ng IG miqdori $M_r = \varphi_{Toz} M_r'$

bo'ladi, bunda φ_{Toz} — chiqarish klapanining yopilishini kechikish fazasi davomida IG miqdori o'zgarishini hisobga oladigan tozalash koeffitsiyenti, shu tufayli

$$\gamma = \frac{M_r}{M_{1s}} = \frac{\varphi_{Toz} M_r'}{\eta_v M_n} = \varphi_{Toz} \frac{p_r V_{yo}}{8314 T_r} \cdot \frac{1}{\eta_v} \cdot \frac{8314 T_k}{p_k V_h} = \\ = \varphi_{Toz} \frac{1}{\eta_v} \cdot \frac{p_r}{p_k} \cdot \frac{T_k}{T_r} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1}. \quad (3.9)$$

(3.9) tenglamani (3.8) tenglamaga qo'yilsa, quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$\eta_v = \varphi_1 \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \frac{T_\kappa}{T_\kappa + \Delta T} \frac{p_a}{p_\kappa} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon} \frac{p_r}{p_a} \varphi \varphi_{To\text{з}}\right). \quad (3.10)$$

(3.8) va (3.10) tenglamalar bo'yicha hisoblashlarda p_a ning miqdori tajribalar ma'lumotlariga asosan qabul qilinadi (3.1-jadval) va bosimsiz kiritiladigan to'rt taktli dvigatellar uchun $p_k = p_0$ va $T_k = T_0$ deb qabul qilinadi.

p_a miqdorini quyidagi ifoda bo'yicha baholash mumkin:

$$p_a = p_0 - \Delta p_a. \quad (3.11)$$

Kiritishda yo'qotilgan bosim Δp_a ni quyidagi nisbatdan aniqlash mumkin.

$$\Delta p_a = \left(\beta^2 + \xi_{kp}\right)\left(\rho_{kp} \omega_{o'r}^2 / 2\right),$$

bunda: ξ_{kr} — kiritish traktini ahamiyatli kesimiga taalluqli bo'lgan kiritish tizimining qarshilik koeffitsiyenti, masalan, kiritish klapanining eng ko'p o'tish kesimiga; $\beta = \omega_s / \omega_{o'r}$ — silindrda zaryadni harakat tezligi ω_s ning so'nish koeffitsiyenti; $\omega_{o'r}$ va ρ_{kr} — kiritish traktining ahamiyatli kesimidagi zaryadni o'rtacha tezligi va zichligi.

Avtomobil dvigatellari uchun nominal rejimda (tajriba ma'lumotlari bo'yicha): $\omega_{o'r} = 50...120 м/с$ va $\left(\beta^2 + \xi_{kp}\right) = 2{,}5...4$ bo'ladi.

3.1-jadvalda dvigatellar nominal rejimda ishlaganida tajriba orqali aniqlangan gaz almashinuv jarayonlarini asosiy parametrlarining taxminiy qiymatlari keltirilgan.

Gaz almashinuv jarayonlarini parametrlari birinchi navbatda dvigatelning vazifasini hisobga olgan holda qabul qilinadi — yuk yoki yengil avtomobillar uchun. Engil avtomobil dvigatellari, odatda, katta siqish darajasi va tirsakli valning yuqori aylanishlar chastotasiga ega bo'ladi, shuning uchun γ ning miqdori quyi oraliqqa p_a va η_v esa yuqori oraliqqa yaqin.

3.1-*jadval*

Parametr	To'rt taktli IYOD		Gaz almashinuvi sirtmoqli ikki taktli IYOD
	Uchqundan o't oldiriladigan	Dizellar	
Qoldiq gazlar koeffitsiyenti, γ	0,06...0,08	0,03...0,06	0,04...0,10
Chiqarish oxiridagi bosim p_r, MPa	0,110...0,120	0,110...0,120	0,105...0,120
Chiqarish oxiridagi harorat T_r, K	900...1000	600...900	600...900
To'ldirish koeffitsiyenti h_v	0,75...0,80	0,8...0,9	0,75...0,85*
Kiritish bosimi p_a, MPa	0,08...0,09	0,08...0,09	$(0,85...1,05)r_k$
Zaryadni isishi ΔT, K	0...25	20...40	5...10
Kiritish harorati T_a, K	320...380	310...350	320...400

3.1.6. BOSIM OSTIDA KIRITISH USULI QO'LLANILGANDA GAZ ALMASHINUVINI O'ZIGA XOSLIGI

Bosim ostida havo kiritiladigan to'rt taktli dvigateldagi gaz almashinuvini bosim ostida kiritilmaydigan dvigatelni gaz almashinuvidan asosiy farqi, kiritish taktida silindrda sodir bo'ladigan siyraklanish ta'siri ostida silindrga havo (YOHA) kirmasdan, u kompressor orqali silindrga haydaladi. Umumiy holda kiritish tizimiga bosim ostida kiritiladigan havoni sovitadigan issiqlik almashgich ham o'rnatiladi. Kiritish tizimida sovitgich qo'shimcha qarshilik hosil qiladi.

Gaz turbina orqali bosim ostida kiritishda chiqarish tizimida qo'shimcha qarshilik ham paydo bo'ladi.

Kompressorga kirayotgan bosimni quyidagicha ifodalash mumkin: $p_0' = p_0 - a\bar{V}^2_{h(ap)}$, bunda, $\bar{V}^2_{h(ap)}$ — havo (aralashma)ni nisbiy hajmiy sarfi, nominal rejimda birga teng bo'ladi: $\left(\bar{V}_{h(ap)} = V_{h(ap)} / V_{h(ap)nom}\right)$. Bunday yozilishda a — nominal rejimda atrof-muhitdan kompressorga kirishgacha bo'lgan kiritish hududida bosimni pasayishi. Ushbu hududda havo tozalagich eng ko'p qarshilikka ega bo'ladi. Kompressordan chiqishdagi bosim p_k' ni quyidagicha ifodalash mumkin: $p_k' = p_0'\pi_k$, bunda π_k — kompressorda bosimni ortish darajasi.

---

* Miqdor silindrning to'liq hajmiga taalluqli.

IG chiqarish tizimida neytrallagichi mavjud bo'lganda p_r ni yuqori oralig'iga yaqinini tanlash kerak.

Benzin purkaladigan va kiritish o'tkazuvchi quvuri suyuqlik bilan isitiladigan dvigatellar uchun zaryadning isishi ΔT kichik qiymatga ega bo'ladi; havo bilan sovitiladigan dvigatellarda tabiiyki ΔT yuqori bo'ladi.

Havo (aralashma)ning kompressordan chiqishidagi harorati

$$T_k^{'} = T_0 \pi_k^{(n_k-1)/n_k},$$

bunda: $n_к$ — kompressorning adiabat FIK (kompressorda siqishni adiabat ishini haqiqiysiga bo'lgan nisbati) η_{kad} ga bog'liq bo'lgan kompressordagi siqish politrop ko'rsatkichi. Kompressor qanchalik takomillashgan bo'lsa (η_{kad} yuqori) $n_к$ adiabat ko'rsatkichi k dan shunchalik kam farq qiladi. $\left[(n_k-1)/n_k\right] < 1$ bo'lganligi tufayli kompressorda havo (aralashma)ning harorati bosimga qaraganda kam darajada ortadi.

Kiritish kollektoridagi bosimning vaqt bo'yicha o'rtachasi $p_к = p_к^{'} - a_1 \bar{V}_{h(ap)}^2$, bunda: a_1 — nominal rejimda kompressordan chiqishdan kiritish kollektorigacha bo'lgan kiritish tizimi hududida bosimning pasayishi. Ushbu hududda bosim ostida kiritiladigan havoning sovitgichi eng ko'p qarshilikka ega bo'ladi.

Kiritish qismlari oldidagi havo (aralashma)ning harorati quyidagicha ifodalanishi mumkin: $T_k = T_k^{'} - \Delta T_{sov}$, bunda: ΔT_{sov} sovitgichda havo (aralashma) haroratini pasayishi.

Kiritish qismlari oldidagi havo (aralashma)ning zichligi

$$\rho_k = \frac{p_k}{RT_k}.$$

Chiqarish tizimida turbokompressorning (TK) turbinasi bo'lganligi tufayli qo'shimcha qarshilik dvigatel, kompressor va turbinani birgalikda ishlashini uchta shart-sharoiti bilan aniqlanadi:

1. $N_k = N_T$ bo'lishi, bunda: N_k va N_T — kompressor va turbina quvvati; $N_k = \frac{l_{kad} G_k}{\eta_{kad}}$, l_{kad} — kompressorda 1kg havo (aralashma)ning siqishdagi adiabata ishi;

$l_{kad} = \frac{k}{k-1} \cdot RT_0 \left(\pi_k^{(k-1)/k} - 1\right)$, bunda: k — havo (aralashma) uchun adiabata ko'rsatkichi; R — havo (aralashma) uchun gaz doimiysi; G_k — havo (aralashma)ning sekundlik sarfi. Tenglamadagi l_{kad}, T_0 va $\pi_к$ lar tormozlangan oqim parametrlari bo'yicha aniqlanadi: $N_т = l_{тad} G_т \eta_{тe} \eta_{mтk}$, $l_{тad}$ — 1kg gazning turbinada adiabatali kengayishida ega bo'lgan ishi; $l_{тad} = \frac{k_1}{k_1 - 1} R_1 T_т \left(1 - \frac{1}{\pi_T^{(k_1-1)/k_1}}\right)$,

bunda: k_1 — chiqarib tashlanadigan gazlarning adiabata ko'rsatkichi;

R_1 — ularning gaz doimiysi; T_T — turbina oldidagi gaz harorati; $\pi_T = p_T / p_2$ ga teng bo'lgan turbinada bosimning kamayish darajasi; p_T — chiqarish kollektoridagi (turbina oldidagi) o'rtacha bosim; p_2 — turbinadan keyingi bosim, $p_2 = p_0 + a_2 \bar{V}_g^2$, $\bar{V}_g$ — chiqarib tashlanadigan gazlarning nisbiy hajmiy sarfi; a_2 — nominal rejimda turbinadan atrof-muhitgacha bo'lgan chiqarish tizimi hududida bosimning pasayishi (farqi); G_T — gazlarning sekundlik sarfi; η_{te} — haqiqiy ega bo'lgan ishni adiabat kengayishning ega bo'lgan ishi nisbatiga teng bo'lgan turbinaning ichki FIK; η_{mtk} — turbokompressorning mexanik FIK (TK dagi mexanik yo'qotishni turbinaga taalluqli deb qabul qilingan). Tenglamadagi l_T, T_T va π_T tormozlangan oqim parametrlari bo'yicha aniqlanadi.

Yuqorida yozilgan ifoda bosim va haroratlar tebranishi (o'zgarishi) hisobga olinmaydigan holat uchun to'g'ri deb hisoblanadi.

2. $n_k = n_T$ bo'lishi. Kompressor va turbinaning g'ildiraklari bir valga o'rnatilganligi sababli ushbu shart bajariladi.

3. $G_T = G_k + G_{yon} - G_{siz}$, bunda: G_{yon} — yonilg'ining sekundlik sarfi; G_{siz} — sizishdagi sarf. Kompressorda havo siqiladigan dvigatellar uchun bunday nisbat to'g'ri deb hisoblanadi. Agar kompressorda yonilg'i havo aralashmasi siqilsa, u holda $G_T = G_k - G_{siz}$ bo'ladi. Ikki holatda ham taxminan $G_T = G_k$ bo'ladi.

Birinchi shart-sharoitdan chiqarishdagi qarshi (aks) bosim p_T bilan kirishdagi bosim p_k orasidagi o'zaro bog'liqlikni olish mumkin:

$$p_T = p_2 \frac{\left(\frac{k_1}{k_1-1} R_1 T_T\right)^{\frac{k_1}{k_1-1}}}{\left\{\frac{k_1}{k_1-1} R_1 T_T - \frac{k_1}{k-1}\frac{RT_0}{\eta_{тк}}\left[\left(\frac{p_k}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]\frac{G_k}{G_T}\right\}^{\frac{k_1}{k_1-1}}}.$$

Keltirilgan ifodadan chiqarishdagi qarshi p_T bosim qancha katta bo'lsa, bosim ostida kiritish bosimi p_k ni shuncha katta bo'lishi kelib chiqadi. Boshqacha aytganda, agar bosim ostida kiritishda bosimni yuqoriroqligi talab qilinsa, u holda TK ning mos keluvchisini tanlab, turbinada bosimni pasayish darajasining yuqoriligini ta'minlash kerak. p_k/p_T nisbatga quyidagilar ta'sir qiladi: turbina oldidagi gazlarning harorati, TK ning FIK va yangi zaryad va ishlatilgan gazlar uchun adiabat ko'rsatkichlari. η_{tk} ni ortishi p_k/p_T ni kattalashishiga olib keladi. Tanlangan gazturbinali bosim ostida kiritish tizimi uchun p_k/p_T nisbat kompressorni, turbinani tavsifiga va dvigatelning ish rejimiga bog'liq bo'ladi.

Bosimsiz kiritiladigan dvigatelda qoidaga ko'ra vaqt bo'yicha chiqarishdagi o'rtacha bosim kiritishdagi o'rtacha bosimga qaraganda yuqori bo'ladi. Kiritish jarayonini ma'lum oralig'i uchun kiritish va chiqarish tizimlarini maxsus sozlash bilan $p_k/p_T > 1$bo'lishini ta'minlash mumkin. Yuritma kompressor

orqali bosim ostida kiritiladigan dvigatelda $p_k/p_T > 1$ bo'ladi, ushbu hol gaz almashinuviga qulaylik tug'diradi. Gazturbina orqali bosim ostida kiritiladigan dvigatelda kiritishdagi bosim chiqarishdagi bosimdan yuqori, unga teng yoki undan kam bo'lishi mumkin.

Nominal rejimda chiqarish oxirida silindrdagi bosim $p_r = (1,05...1,2)\,p_T$ ga teng bo'ladi.

p_k/p_T bo'lgan holatda kiritish klapanlarining ochilishini boshlanishi davrida yonish mahsulotlarini kiritish quvuriga chiqarib tashlash sodir bo'lishi mumkin. Ushbu chiqarib tashlash natijasida qoldiq gazlar koeffitsiyenti ortadi va to'ldirish koeffitsiyenti kamayadi. Kulachoklarning shaklini eng maqbullashtirish va gaz taqsimlash fazalarini mos holda tanlash bilan chiqarib tashlashni kamaytirish mumkin.

Yuritma kompressor orqali bosim ostida kiritiladigan dizelda gaz almashinuvni amalga oshirish sharoiti qulayroq hisoblanadi. Ushbu holatda «keng» gaz taqsimlash fazalarini qo'llash, klapanlarning baravariga ochiq turishi ko'p bo'lishini (120....130 grad TVB gacha) tanlash va yonish kamerasini ishlatilgan gazlardan (IG) samarali puflash va tozalashni ta'minlash mumkin. $\varphi_{Toz} = 0$ bo'lganda (3.10) ifodaning qavsidagi ikkinchi qo'shiluvchisi nolga teng bo'ladi, bunday holat to'ldirish koeffitsiyentini mos holda ortishiga yordam qiladi. Yuritmali haydovchi holatida gaz almashinuv ishi musbat bo'ladi (3.1-b rasmga qarang), biroq gaz almashinuvi ishiga qaraganda kompressorning yuritishga sarflanadigan ish ko'p bo'ladi. Bosim ostida kiritishda p_a/p_k nisbat qiymati ortadi. (3.10) ifoda taxminan jarayonning joriy payti uchun to'g'ri hisoblanishi (ekanligi)ni, p_a/p_k nisbat esa kiritish takti oxiridagi holatni tavsiflashini hisobga olish ham kerak. Agar kiritish klapanlarining vaqt kesimi yetarlicha bo'lsa, u holda p_a amaliy jihatdan p_k ga teng bo'lishi mumkin. Bu ham to'ldirish koeffitsiyentini ortishiga yordam beradi.

Bosim ostida kiritishda detallarning sathi bo'yicha o'rtacha harorati T_w ning ortishi zaryad harorati $T_{kr.um}$ ni ortishidan past darajada bo'lganligi tufayli issiqlik berish koeffitsiyenti ortadi $\left(\alpha_T \sim \rho_\kappa^{0,8}\right)$, haroratlar farqi $(T_w - T_{kr\,um})$ esa kamayadi. Bosim ostida kiritiladigan havoning sovitgichsiz yetarlicha yuqori bosimda kiritilishini xususiy holi $T_w - N_{kr\,um} < 0$ bo'lganda zaryadni isishi sodir bo'lmasdan sovishi mumkin. Ushbu omillarning birgalikdagi ta'siri natijasida ΔT kamayishi mumkin.

Yuqorida ko'rib chiqilgan sabablarga ko'ra bosim ostida kiritishda to'ldirish koeffitsiyenti ortadi. Shart-sharoitlarning qulay kelishida η_V ning qiymati birga yaqinlashadi. Havoning bosim ostida kiritishda to'ldirish koeffitsiyentini kiritish qismlari oldidagi havoning zichligini ortishi oqibatida silindrning massali to'lishi ko'payadi $(G_{hs} = V_h \eta_v \rho_k)$.

Atmosfera bosimining kamayishida (masalan, dengiz sathidan balandlikni

ortishi oqibatida) va atrof-muhit haroratini ko'tarilishida havoning ortiqlik koeffitsiyenti kamayadi, bu turbina oldidagi gazlar haroratini ortishiga olib keladi. Turbina g'ildiragiga tushadigan gazlar tezligi, rotorning aylanishlar chastotasi ortadi va buning oqibatida kompressordagi bosim ham ortadi. Bunday teskari bog'liqlik dizel ko'rsatkichlariga atrof-muhit parametrlarining salbiy ta'sirining ma'lum darajada o'rnini to'ldiradi.

3.1.5-bandda keltirilgan ifodalar bo'yicha gaz almashinuvi ko'rsatkichlariga turli omillarning ta'sirini sifatli tahlil qilish mumkin. Mufassalroq tahlil qilish uchun EHM hisoblaridan foydalaniladi. Eng sodda usullardan biri quyidagi yo'l qo'yishlarga asoslangan:

yangi zaryad parametrlari kiritish qismlari oldida vaqt bo'yicha o'zgarmas va ma'lum;

vaqtni har bir paytida gazlarni kiritish va chiqarish qismlari orqali oqishi turg'un hisoblanadi.

Tenglamalar tizimi energiyani saqlanish, holat va material balansi tenglamasini o'z ichiga oladi.

Enegiya balansi tenglamasini differensial ko'rinishda quyidagicha yozish mumkin:

$$dQ_w + dI_k^* - dI_p^* = dU + dL,$$

bunda: dI_k^* — ochiq tizimga havo yoki aralashmani kirishi (to'ldirish)da yoki yonish mahsulotlarini chiqarish (chiqarib tashlash) da unda entalpiyani o'zgarishi (gaz almashinuvi davrida silindrdagi zaryad qanday bo'lsa); I_k^* — tormozlangan oqim parametrlari bo'yicha aniqlanadi; dU — zaryad harorati va miqdorini o'zgarishi natijasida uning ichki energiyasini o'zgarishi: $dU = c_v TdG + c_v GdT = c_v d(GT)$. Holat tenglamasidan foydalanib quyidagini olish mumkin:

$$dU = \frac{c_v}{R}(pdV + Vdp);$$

dL — zaryadning sodir qilgan ishi; $dL = pdV$; dQ_w — zaryad va uni atrofidagi detallar orasidagi issiqlik almashinuvi; $dQ_w = \alpha_T F(T_w - T)d\tau$, bunda: α_1 — quyidagi ifoda bilan aniqlanadigan issiqlik berish koeffitsiyenti:

$$\alpha_T = c_3 D^{-0,2} p^{0,8} T^{-0,53} c_p^{0,8};$$

T_w — dvigatel detallari ashyosi, rejimi va ishlash shart-sharoitini e'tiborga olib empirik ifoda bo'yicha aniqlanadigan zaryad atrofidagi detallarning vaqt va sathi bo'yicha o'rtacha harorati: $T_w = f(D, p_k, T_k, c_p, \alpha)$; di_p^* — chiqarish qismlari orqali ishlatilgan gazlarning oqishi natijasida ochiq tizimning

entalpiyasini o'zgarishi; I_p^* — tormozlangan oqim parametrlari bo'yicha aniqlanadi.

Material balansi tenglamasi

$$dG = dG_k - dG_p,$$

bunda: G_k va G_p — yangi zaryad va silindrdan chiqariladigan yonish mahsulotlarining sekundlik sarfi; dG_k va dG_p lar quyidagi ko'rinishdagi tenglama bo'yicha aniqlanadi:

$$dG_x = (\mu f)_x \sqrt{\frac{2k_x}{k_x - 1} \rho_x p_x \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{2/k_x} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{k_x + 1/k_x} \right]} d\tau.$$

Klapanni ko'tarilish funksiyasidagi samarali o'tish kesimining miqdori tajriba yo'li bilan, ya'ni maxsus qurilmalarda puflash bilan yoki geometrik o'tish kesimi va adabiyotlarda keltiriladigan klapanlarning nisbiy ko'tarilishi $h_{kl} / h_{kl\ max}$ ga bog'liqlik sarflash koeffitsiyentlari bo'yicha aniqlanadi.

Chiqarish kritik holatidan yuqori bo'lganda p_2 / p_1 nisbat o'rniga quyidagi ifoda qo'yiladi:

$$\beta_{kp} = \left(\frac{2}{k_x + 1} \right)^{k_x/(k_x - 1)}.$$

Tizimning holat tenglamasini, masalan, $p / \rho = RT$ ko'rinishida tutashtiradi.

Inersiya va to'lqin hodisalarini, ko'p silindrli dvigatellarni muayyan silindrlarida gaz almashinuvini o'ziga xosligini inobatga olishga imkon beradigan murakkabroq va mukammallashtirilgan hisoblash uslublari ishlab chiqilgan.

3.1.7. GAZ ALMASHINUV JARAYONLARIGA TURLI OMILLARNING TA'SIRI

η_v qiymatni aniqlaydigan omillarning o'zaro bog'liqligini murakkabligi, ularning to'ldirish koeffitsiyentiga ta'sirini baholashda formal yondashish noaniq xulosa chiqarishga olib kelishi mumkin. Masalan, (3.8) va (3.10) tenglamalardan ε ni ortishi bilan to'ldirish koeffitsiyentining $\varepsilon/(\varepsilon - 1)$ qiymatiga proporsional ravishda kamayishi kelib chiqadi. Haqiqatda ushbu bog'liqlik murakkab, chunki siqish darajasini ortishida γ va T_r lar kamayadi, shu bilan birga η_v ga ta'sir qiluvchi ayrim boshqa miqdorlar ham o'zgaradi. Shuning uchun tajribalarning ko'rsatishicha, bir qator qiymatlar o'zgarishini majmuasi natijasida η_v koeffitsiyent amaliy jihatdan ε ga bog'liq bo'lmaydi. Bundan shu narsa kelib chiqadi, ya'ni gaz almashinuvi jarayonining sifat ko'rsatkichiga u yoki bu omilning ta'sirini ko'rib chiqayotganda, analitik

ifodadagi ko'rilayotgan ko'rsatkichlar miqdorlarini ushbu omilga bog'liq bo'lgan ta'sirini e'tiborga olish kerak.

Kiritishdagi qarshilik. Yo'qotish Δp_a qancha ko'p bo'lsa, p_a bosim shuncha kam bo'ladi, demak silindrdagi yangi zaryad zichligi va to'ldirish koeffitsiyenti ham kam bo'ladi.

Δp_a ga kiritish tizimining qarshiligi va zaryadning tezligi ta'sir qiladi. Kiritish tizimining qarshiligi birinchi navbatda kiritish klapanini qarshiligiga, shu bilan birga silindrlar kallagidagi va o'tkazuvchi kirish quvurlaridagi burilishlarni, joyidagi torayishlarni mavjudligiga va kanallar sathini g'adir-budurligiga, karbyurator va havo tozalagichni qarshiligiga bog'liq. Dizellar va benzin purkaladigan dvigatellarning kiritish tizimlarining qarshiligi karbyuratorli dvigatellarnikiga qaraganda kam.

(3.10) ifodadan p_a bosim p_r bosimga qaraganda η_v ga kuchli ta'sir qilishi ko'rinib turibdi, shuning uchun bosimsiz kiritiladigan dvigatellarda, odatda, iloji boricha kiritish klapani diametrini kattalashtirishga intilinadi va uning chiqarish klapaniga nisbatan birmuncha katta qilib tayyorlanadi. Kamerasi porshenda bo'lgan dizellarda forsunkalari markaziy joylashtirilishida va yengil avtomobillarni uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarida to'rtta klapandan — ikkita chiqarish va ikkita kiritish klapanlaridan foydalanish η_v ni orttirish bo'yicha sezilarli darajada samara beradi. Har bir silindrda ikkita kiritish va bitta chiqarish klapanidan kam foydalaniladi.

Ayrim hollarda silindrda zaryadning uyurma harakati jadalligini sodir qilish uchun kallakdagi kiritish kanali maxsus ko'rinishda shakllantiriladi (vintsimon va tangensial kanallar) yoki qo'shimcha to'sma-qopqoq va og'adigan plastina o'rnatiladi; bunday kanallarning qarshiligi bir qanchaga ortadi.

Kiritish tizimining gidravlik qarshiligini η_v ga ta'siri yuklamani miqdoriy rostlashda uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda foydalaniladi. Drossel to'sma-qopqoq to'liq ochilishidan eng kam ochilish darajasigacha burilganida η_v ning miqdori 0,75...0,9 dan 0,15...0,25 gacha kamayadi.

Dvigatellardan foydalanish paytida havo tozalagichning ko'p ifloslanishiga, kiritish klapanlari yuritmasidagi tirqishlarni va taqsimlash vali kulachoklari yeyilishini haddan tashqari ko'p bo'lishiga yo'l qo'ymaslik kerak, chunki bunda kiritishdagi qarshilikni ortishiga olib keladigan kiritish klapanlarining vaqt-kesimi kamayadi, demak dvigatelning quvvat ko'rsatkichlarini ham kamayishiga olib keladi.

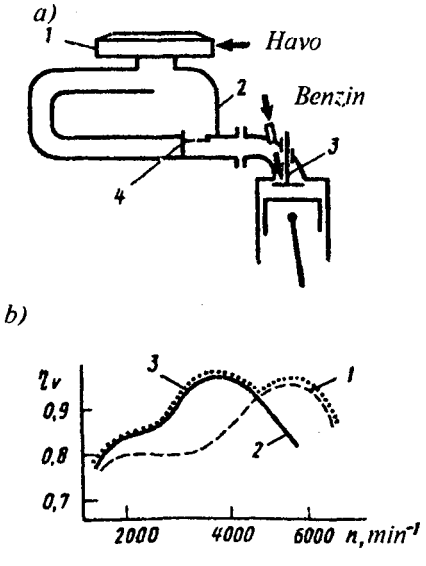
Qoldiq gazlarning parametrlari. p_r bosim chiqarishdagi qarshilikka va dvigatelni ishlashiga bog'liq; p_r ni ortishi (masalan, tezlik rejimi ortganda) va T_r ni o'zgarmas holatida IG ning zichligi va massasi ortadi. Foydalanish paytida chiqarish klapanlari yuritmasidagi tirqishni o'z vaqtida

tekshirish va rostlash kerak, chunki tirqish tavsiya etilgan qiymatidan katta bo'lsa, dvigatelning to'lishi va quvvati pasayishi mumkin. Shovqin so'ndirgich va IG neytralizatorini ifloslanishi tufayli qarshilikni ortishi ham shunday oqibatlarga olib keladi.

T_r harorat to'ldirish koeffitsiyentiga kam ta'sir qiladi. Masalan, T_r harorati yuqori bo'lgan qoldiq gazlar yangi zaryad bilan issiqlik almashish paytida sovib, uni hajmi anchaga kamayadi va yangi zaryadga joy bo'shatishi bilan T_a haroratni mos holda o'sish o'rnini to'ldiradi.

Kiritish tizimini boshqarish. Dinamikaviy bosim ostida kiritish bilan ishlaydigan dvigatelni tezlik rejimi oralig'ini kengaytirish uchun sozlanishi boshqariladigan kiritish tizimidan va gaz taqsimlash fazalari o'zgaruvchan bo'lgan tizimlardan foydalaniladi.

3.6-a rasmda to'smaqopqoq *4* ni boshqarish orqali kiritish takti uzunligining o'zgarishini ta'minlaydigan kiritish sxemasi keltirilgan. Katta tezlikda aylanadigan dvigatel tirsakli valni kichik va o'rtacha aylanishlar chastotasida ishlaganda to'smaqopqoq gorizontal holatda bo'ladi va havo tozalagich *1* dan o'tib, idish *2* ga tushadi, so'ngra uzun kanal bo'ylab siljib, ushbu rejimlarda silindrlarni me'yoriga yetkazib zaryadlashni samarali ta'minlaydi. Yuqori aylanishlar chastotasida to'smaqopqoq avtomat ravishda vertikal holatga siljib, havoning qisqa kanal bo'ylab harakatlanishini ta'minlaydi va ushbu rejimlarda me'yoriga yetkazib zaryadlashni yaxshilaydi. Boshqarish bilan sozlanadigan tizimlar, asosan, benzinni purkash va har bir silindrga ikkitadan kiritish klapanlari o'rnatish bilan birgalikda qo'llaniladi, chunki ushbu holatda kiritish tizimini umumiy qarshiligi kamayadi (klapanlarda bosim yo'qolishini kamayishi va karbyuratorda bosim yo'qolishini mavjud bo'lmasligi tufayli), dinamikaviy sozlash samarasi



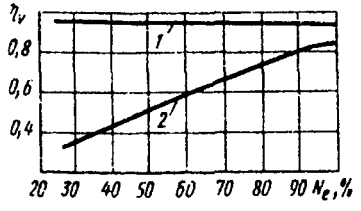
3.6-rasm.
Dinamik bosim ostida kiritish bilan boshqarish:
a — tizim sxemasi (1 — havo tozalagich; 2 — idish; 3 — kiritish klapani; 4 — to'smaqopqoq); *b* — to'smaqopqoqni turli holatida η_v ni o'zgarishi (1 — vertikal; 2 — gorizontal; 3 — to'smaqopqoqni boshqarishda).

esa oshadi. 3.6-b rasmda boshqarish bilan sozlanadigan tizimdan foydalanishda to'ldirish koeffitsiyentini o'zgarishi ko'rsatilgan.

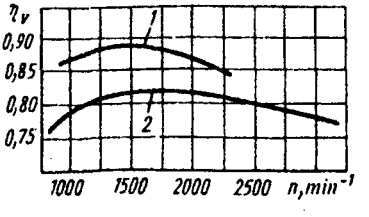
Ishlash rejimlari. 3.7-rasmda dizel *1* ni va uchqundan o't oldiriladigan dvigatel *2* ni o'zgarmas aylanishlar chastotasida ishlashida quvvatga bog'liq holda η_v ni o'zgarishi ko'rsatilgan. Ushbu dvigatellar uchun $\eta_V = f(N_e)$ bog'liqlik quvvatni turli usullar bilan rostlanishi oqibatida bir xil xususiyatga ega bo'lmaydi. Dizel quvvatini oshirish uchun silindrga ko'proq miqdorda yonilg'i purkaladi, shuning uchun detallarning harorat rejimi ortadi va u kiritish tizimida va silindrda yangi zaryadni haroratini oshiradi. Ushbu sabab tufayli kiritish tizimida qarshilik o'zgarmas bo'lishiga qaramasdan yuklamani ortishi bilan koeffitsiyent bir qanchaga kamayadi.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelda yuklamani kamaytirish uchun qo'llaniladigan drossellashda kiritish tizimida va silindrda bosimni kamayishi hamda yangi zaryad isishi ΔT ni ortishi kuzatiladi. Drossellashda qoldiq gazlarning mollar soni M_r kam o'zgaradi, ushbu vaqtda yangi aralashmaning mollar soni M_{1s} kamayadi, shuning uchun qoldiq gazlar koeffitsiyentini sezilarli o'sishiga o'rin bo'ladi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda ko'rsatilgan sababga ko'ra yuklamaning pasayishi η_v miqdorni kamayishi bilan bog'liq.

To'liq yuklamada ikkala turdagi dvigatellar uchun $\eta_V = f(n)$ bog'liqlikni umumiy xususiyati prinsipial bir xil va quyidagi omillarning ta'siri bilan aniqlanadi (3.8-rasm). Birinchidan aylanishlar chastotasining ortishi bilan kiritish tizimidagi zaryad tezligi ortadi, demak Δp_a bosimni yo'qolishi ham ortadi. Shu sababli aylanishlar chastotasi η_v ning eng yuqori qiymatga erishadigan aylanishlar chastotasidan ortishida, me'yoriga yetkazib zaryadlashni ko'payishi va kiritish traktida havo (aralashma) isishini kamayishiga qaramasdan to'ldirish koeffitsiyenti kamayadi. Ikkinchidan kichik aylanishlar chastotasi sohasida kiritish klapanining yopilishini kechikishi davrida silindrdan



3.7-rasm.
η_v ning yuklamaga bog'liqligi:
1— dizel; 2— karbyuratorli dvigatel.



3.8-rasm.
Aylanishlar chastotasini η_v ning o'zgarishiga ta'siri (yuklama to'liq):
1— dizel; 2— karbyuratorli dvigatel.

zaryadni qaytadan kiritish tizimiga chiqarib tashlashga o'rin bo'ladi. Valning aylanishlar chastotasi qanchalik kam bo'lsa, chiqarib tashlash shunchalik ko'p bo'ladi, bunda ΔT ni ortishi bu doirada η_v ni kamayishiga olib keladi.

Atmosfera shart-sharoitlari. Havoning harorati qanchalik past va atmosfera bosimi yuqori bo'lsa, yangi zaryad M_{1s} silindrlarni shunchalik ko'p to'ldiradi. Bunda zaryadning nazariy miqdori M_n ham ortadi. Tajribalar p_0 ning ortishi η_v ni miqdoriga amaliy jihatdan kam ta'sir qilishini ko'rsatadi. Boshqa tomondan, tajribalarning natijasi bo'yicha to'ldirish koeffitsiyenti $\sqrt[m]{T_0}$ miqdorga proporsianal bo'ladi, bunda $m = 2...4$.

Shunday qilib, harorat T_0 ning ortishi η_v ning o'sishiga olib keladi, lekin bunda havoning zichligi anchaga kamayadi, demak yangi zaryadning siklli uzatilishi $G_{h.s} = \eta_V V_h \rho_0$ ham kamayadi. Bundan η_v ning ortishida hamma vaqt silindrga yangi zaryadni ko'p massasi kiradi degan ma'no kelib chiqmaydi. Shu vaqtda dvigatel erishadigan quvvat aynan havo zaryadining massasiga bog'liq bo'ladi (yonilg'ini mos holda uzatilishida). Shunday qilib, to'lishning nisbiy tavsifini 1 soat davomida dvigatelga kirgan yangi zaryadning mutlaq (absolut) miqdori G_h ni tavsiflaydigan massali to'lishidan farqlash kerak, $G_h = (120/\tau) i V_h n \rho_0 \eta_v$, kg/s.

Atmosfera sharoitiga bog'liq holda G_h havo zichligini o'zgarishiga proporsional ravishda o'zgaradi. ρ_0 va G_h larning anchaga kamayishi avtomobilning balandlikka ko'p ko'tariladigan yo'l bo'ylab harakatida sodir bo'ladi.

3.2. SIQISH JARAYONI

Haqiqiy sikl amalga oshirilayotganda yangi zaryadni siqish tufayli harorat farqini ortishiga erishiladi va bunda yonilg'ini alangalanishi va yonishi yaxshilanadi. Bu yonish mahsulotlarini kengayishida ko'p ishni olishga va dvigatel tejamkorligini orttirishga imkon beradi.

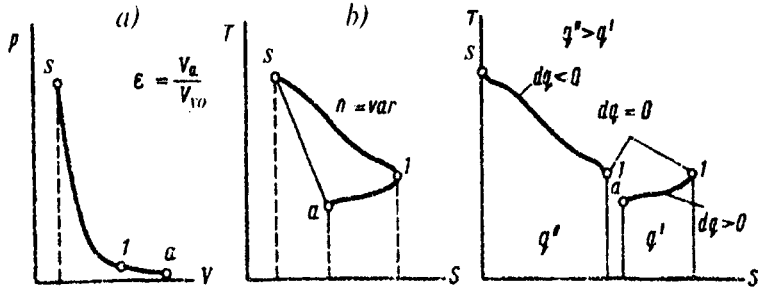
Ishchi jismni yoqishdan oldin siqish g'oyasi va keyinchalik ishchi yo'li porshenli ichki yonuv dvigatellarining raqobatlik qobiliyatini ta'minladi.

Dvigatelda siqish porshenning PCHN dan YUCHN tomon harakatida kiritish klapani (puflavchi darchalar) yopilganidan so'ng sodir bo'ladi va issiqlik almashinuvi bilan kuzatiladi.

Siqish jarayonida issiqlikning harakat yo'nalishi o'zgaradi. Boshlanishda silindr va yonish kamerasining issiqroq devorlaridan q^1 issiqlik zaryadga uzatiladi (3.9-b rasmda $a1$ qism), so'ngra porshenning YUCHN tomon harakati davomida va haroratni ko'tarilishida issiqlik $(q^{"})$ zaryaddan devorga uzatila boshlanadi (1s qism). Shu sabab tufayli siqish jarayoni o'zgaruvchan ko'rsatkich bilan politrop bo'yicha kechadi.

Politropik ko'rsatkichining joriy qiymati quyidagicha o'zgaradi: siqishning boshlanishida $n_1 > k$, biror paytda $n_1 = k$, so'ngra $n_1 < k$.

Siqish jarayonida issiqlik olinishini ustiuvorligi $(q^{'} < |q^{"}|)$ siqishning o'rtacha



3.9-rasm. **Siqish jarayoni:**
a — *p* — *V* koordinatalarda hisoblash sxemasi;
b — *T* — *S* koordinatalarda haroratning o'zgarishi.

politropik ko'rsatkichini $1,2 < n_1 < 1,4$ oralig'ida yotishi bilan shartlanadi.

Tirsakli valning aylanishlar chastotasini ortishi bilan n_1 ko'rsatkich o'sadi, siqish jarayoni esa adiabat jarayoniga yaqinlashadi. Bunday samara silindr o'lchamlarini ortishida ham kuzatiladi. Bu silindrning sovitish sathining nisbiy miqdorini kamayishi tufayli sodir bo'ladi. Silindri kichik geometrik o'lchamga ega bo'lgan dvigatellarni qiyin ishga tushirilishi ushbu sabab bilan tushuntiriladi.

Yuklamani ortishi bilan va bosim ostida kiritish usuli qo'llanilganda n_1 bir qanchaga ortadi.

Konstruktiv tadbirlar masalan, porshenni sovitish yoki silindrning sovitish jadalligini ortishi n_1 ni o'rtacha ko'rsatkichini kamayishiga olib keladi.

Siqish jarayonini o'zgarmas o'rtacha politrop ko'rsatkichli politropik sifatida tasavvur qilish siqish oxiridagi bosim va haroratni miqdoriy baholashda, shu bilan birga siqish ishini aniqlashda ham (jarayonni hisoblash sxemasi 3.9-a rasmda ko'rsatilgan) termodinamik bog'liqlikni qo'llashga imkon beradi:

$$p_s = p_a \left(\frac{V_a}{V_{yo}} \right)^n = p_a \varepsilon^{n_1}; \quad T_s = T_a \varepsilon^{n_1 - 1}.$$

Shunday qilib, p_a va T_a ni ortishida va shuningdek, siqish darajasi ε va ko'rsatkichni ortishi bilan ham T_s va p_s kattalashadi.

Siqish jarayonida tirqishlar orqali gazlar silqishi kuzatilishi mumkin. Ushbu hol p_s va T_s larni kamayishiga olib keladi va buni n_1 ni mos holda kamayishi bilan rasman tarzda hisobga olish kerak.

Dizelda zaryadni siqish oxirida barcha hollarda ham, sovuq dvigatelning ishga tushirishda ham purkalgan yonilg'i yaxshi alangalanadigan haroratgacha erishishi kerak. Bu bilan siqish darajasini eng kichik miqdori aniqlanadi. Termodinamik siklning tahlilini ko'rsatishicha siqish darajasini ortishi bilan issiqlikdan foydalanish yaxshilanadi. Shu bilan birga ε ning kattalashishida gazlar kuchidan KSHM ga tushadigan yuklama va silindrlar kallagi, porshen va boshqa detallardagi issiqlik yuklamasi ortadi. Shuning uchun dizelda siqish darajasini qiymatining uni konstruksiyasini o'ziga xosligi va foydalanish shart-sharoiti bilan aniqlanadi. Ajratilgan kamerali, silindr o'lchamlari kichik

3.2-*jadval*

Parametr	Bosimsiz kiritiladigan dizel	Bosim ostida kiritiladigan dizel*	Benzinda ishlaydigan dvigatel**
Siqish darajasi ε	15...23	12...15	6,5...10
Politrop siqishning o'ratacha korsatkichi n_1	1,35...1,38	1,33...1,37	1,35...1,380
Siqish oxiridagi bosim p_s, MPa	2,9...6,0	Do 8,0	1,2...2,2
Siqish oxiridagi harorat T_s, K	700...900	1000	600...900

* Bosim ostida kiritish bosimi $p_k<0,2MPa$ bo'lganda va kompressordan keyin havo oraliq sovitilmaganda.

** Drossel to'liq ochilganda.

bo'lgan bosimsiz kiritiladigan dizellar, past haroratlarda foydalaniladigan dizellar ham qoida bo'yicha yuqoriroq siqish darajasiga ega bo'ladi (3.2-jadval).

Karbyuratorli dvigatellarda ε ning ruxsat etilgan qiymati benzinning oktan soniga bog'liq; oktan soni yetarli darajada yuqori bo'lmasa detonatsiya boshlanib, yonish buzilishi mumkin (3.4.4-bandga qarang). Siqish jarayoni aralashma hosil qilishni va yonishni yaxshilash uchun havo zaryadi harakatini jadallashtirish uchun ham ishlatiladi. Bunga kiritish kanali va yonish kamerasining birgalikdagi mos shakli bilan, ajratilgan yonish kamerasini ishlatish bilan ham erishiladi. Zaryad harakatini jadallashtirish qo'shimcha gidravlik va issiqlik yo'qotishlar bilan bog'liq.

3.3. YONISHNING ASOSIY QONUNIYATI

3.3.1. YONISH JARAYONI. HAJMDA YONISH TO'LQININING TARQALISHI

Yonilg'ining kimyoviy energiyasini IYOD da issiqlik energiyasiga aylantirish uchun yonish jarayonidan foydalaniladi.

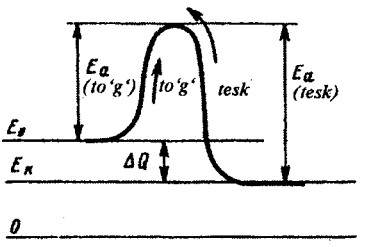
Uning kimyoviy va fizikaviy qonuniyati shu jarayonni boshqalar jarayon orasida ajratib turuvchi amaliy jihatdan ikki asosiy o'ziga xoslik oqibati hisoblanadi. Bu kimyoviy reaksiyani yuqori natijaviy ekzotermik samarasi va ko'rsatilgan reaksiyalar tezligining haroratga kuchli bog'liqligidir.

Amaliy jihatdan yonish jarayonining kimyoviy tomonini aniqlovchi barcha asosiy reaksiyalar Arrenius ifodasi bilan yoritilishi mumkin. Shuning uchun yonish jarayonidagi* kimyoviy reaksiyaning umumiy tezligi W_x ni, konstantlarning samarali qiymatlaridan foydalanib, Arrenius ifodasi yordamida ko'rsatish mumkin:

*Yonishning ommaviy tezligi (kimyoviy reaksiyaning umuman tezligi) reaksiya massali sarfi bilan aniqlanadi.

$$W_x = K_0 c_{yo}^n c_0^m e^{n\text{-}E_a/(RT)}.$$

bunda: K_0 — old eksponensial ko'paytma; c_{yo}, c_0 — yonilg'i va oksidlovchini konsentratsiyasi; n, m — mos tashkil etuvchi bo'yicha reaksiya tartibining samarali ko'rsatkichi; E_a — tezlashtirgichni samarali energiyasi; T — harorat; R — gaz doimiysi.



3.10-rasm. **To'g'ri va teskari reaksiyalarning aktivatsiya energiyasi E_a va issiqlik samarasi ΔQ.**

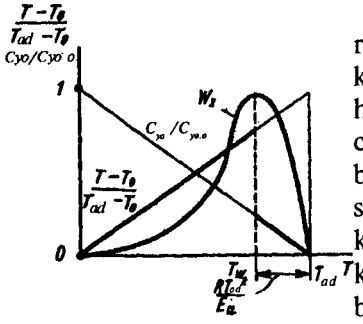
T haroratda E_a ga qaraganda ko'p energiyaga ega bo'lgan molekulalar qismini tavsiflaydigan $e^{-E_a/(RT)}$ ko'paytma old eksponensial ko'paytma K_0 ga ko'paytirilgani kimyoviy reaksiyaning tezlik konstantasi degan nomni olgan. E_a qancha ko'p bo'lsa, $e^{-E_a/(RT)}$ ning haroratga bog'liqligi shuncha kuchli bo'ladi, u holda yonishni ekzotermik samara va tezlashtirgichning samarali energiyasini yuqori qiymati bilan kimyoviy samarasi sifatida aniqlash mumkin.

Agar molekulaning boshlang'ich energiyasi E_0 va oxirgi energiyasi E_k orqali belgilansa, u holda kimyoviy reaksiyaning E_0 dan E_k ga ketishi, molekulaning energiyasi E_a dan ko'p bo'lgan energiyaga ega bo'lganda sodir bo'lishi mumkin (3.10-rasm). Agar $E_0 > E_k$ bo'lsa, u holda reaksiya natijasida ΔQ issiqlik ajralib chiqadi.

Tamoyilga ko'ra istalgan reaksiya ikki yo'nalish bo'yicha ketishi mumkin. Sxemadagi teskari reaksiya uchun $E_{a(tesk)}$ — aktivatsiya energiyasi, ΔQ esa — endotermik samara.

Kimyoviy reaksiyaning amalga oshishida boshlang'ich tashkil etuvchilarning konsentratsiyasi, odatda, kamayadi, yonish mahsulotlariniki esa ortadi. Shuning uchun to'g'ri va teskari reaksiyalarning tezligini tenglashish payti keladi. Bunday holat kimyoviy muvozanat deb nomlanadi, mos kelgan konsentratsiya esa — muvozanatlangan. $E_{a(to'g')}$ qonunga binoan $E_{a(tesk)}$ dan farq qiladi, u holda haroratning o'zgarishi bilan to'g'ri va teskari reaksiyalar tezligi turli darajada o'zgaradi, demak muvozanatlangan konsentratsiya ham o'zgaradi. Biroq yangi muvozanatga erishish vaqti ko'proq haroratning umumiy darajasiga bog'liq. Yuqori harorat sohasida Tning o'zgarishida yangi muvozanatga tezda erishiladi, pastroq Tda esa muvozanatga umuman erishilmaslik ham mumkin. Faqat Tning o'zgarish tezligini hisobga olib qolmasdan, kimyoviy reaksiya tezligini ham hisobga olish kerak. Odatda, turli jinsli jarayonlarning tezligini taqqoslash uchun jarayon tezligiga teskari proporsional bo'lgan, jarayonning ahamiyatli (xarakterli) vaqti tushunchasidan foydalaniladi.

Agar haroratning pasayishini ahamiyatli vaqti kimyoviy reaksiyani (tez sovish) ahamiyatli vaqtidan ancha kam bo'lsa, u holda reaksiya mahsulotlaridan olingan konsentratsiya muvozanatlangandan ko'p bo'ladi. Bunday hodisa *toblash* deb nomlanadi.



3.11-rasm. **Cheklangan miqdordagi aralashmaning yonib tugashida yonilg'ining nisbiy konsentratsiyasi, kimyoviy reaksiyaning nisbiy harorati va tezligini o'zgarishi.**

Kimyoviy reaksiya ko'pincha cheklangan reaksiya hajmi (masalan, IYOD ning yonish kamerasi)da sodir bo'ladi, bunda yonish holatida bo'lsa, boshlang'ich tashkil etuvchilarning sarfi va haroratning ko'tarilishi orasida bog'liqlik (o'xshashlik) mavjud bo'ladi. U eng sodda holda tashkil etuvchilardan birining konsentratsiyasining (boshqasi- ning konsentratsiyasi bilan stexiometrik bog'langan) bog'liqligi ko'rinishida ifodalanadi, masalan, kimyoviy reaksiyaning ketishini tavsiflaydigan istalgan parametrlarining biridan yonilg'ini konsentratsiyasi c_{yo} va harorati, masalan, ushbu haroratdan (3.11-rasm). Rasmda $(T-T_0)/(T_{ad}-T_0)$, c_{yo}/c_{yoTO} — harorat va konsentratsiyani nisbiy o'zgarishi; T_0 va s_{yoO} — boshlang'ich harorat va konsentratsiya; T_{ad} — yonishning eng yuqori harorati.

$c_{yo}(c_0)$ va T larni ko'rsatilgan o'zgarishining xususiyatida kimyoviy reaksiyaning tezligi eng yuqori qiymatga eng yuqori haroratda emas, balki $T_w = T_{ad} - RT_{ad}^2 / E_a$ haroratda erishadi. Bunda kimyoviy reaksiya tezligining o'zgarishi T_0 dan T_w gacha doirada haroratni ortishi bilan (bu doirani kinetikaviy deb ataymiz), T_w dan T_{ad} gacha doirada esa — konsentratsiyani kamayishi bilan (diffuzion doira) aniqlanadi. Reaksiya kechayotgan hajmga T_0 ga yaqin bo'lgan haroratli boshlang'ich tashkil etuvchilar qo'shilsa, kinetikaviy doirada kimyoviy reaksiya tezligini kamayishiga, diffuzion doirada esa uni o'sishiga olib keladi.

Agar yonish sodir bo'ladigan muhitda Lyuisa mezoni $L_c = D/a \approx 1$ bilan tavsiflanadigan massa va issiqlik ko'chish koeffitsiyentlari bir-biriga yaqin bo'lsa, u holda konsentratsiya va harorat orasidagi o'xshashlik fazoviy yonishda ham bo'lishi mumkin (D — diffuziya koeffitsiyenti, a — issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti). Shunday qilib, eng yuqori haroratga erishadigan yonish kamerasi doirasida boshlang'ich tashkil etuvchilarning konsentratsiyasi eng kam va aksi (teskarisi) bo'ladi. Yonish hodisasi o'ziga xos xususiyatga ega — u o'z-o'zini ushlab turuvchi hisoblanadi. Yonish doirasini bo'shliqda (fazoda) siljishi bir necha kimyo-fizikaviy mexanizm bo'yicha sodir bo'lishi mumkin:

— yonish doirasidan yangi aralashma doirasiga issiqlikni uzatish (issiqlik mexanizmi);

— yonish doirasidan yangi aralashma doirasiga faol mahsulotlar diffuziyasi (masalan, radikallar).

Ikkala mexanizm yonish doirasini bir jinsli (gomogen) aralashma bo'ylab tarqalishida namoyon bo'ladi, ya'ni tashqarida aralashma hosil bo'ladigan

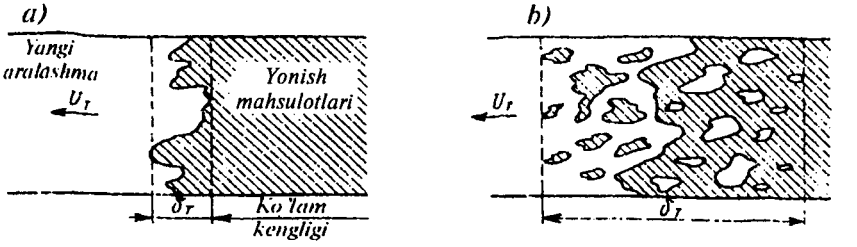
dvigatel sharoitida. Ushbu ikki holatda yonish doirasini siljish tezligi (odatda, alanga tarqalish tezligi deb ataladigan) ko'chish koeffitsiyenti (a yoki D) ga va kimyoviy reaksiya tezligi W_x ga bog'liq. Agar ko'chishni ahamiyatli vaqti l oraliqda $\tau_a = l_1^2 / D$ (Enshteyn ifodasi) ga, kimyoviy jarayonni ahamiyatli vaqti esa $\tau_x \approx \frac{1}{W_x}$ ga teng bo'lsa, u vaqtda alanganing statsionar (muqim) tarqalish holatida $\tau_a = \tau_x = \tau$ bo'ladi. Ushbu ifodalarni bir-biriga ko'paytirib va alanga tezligini $U_a = l / \tau$ bilan belgilab, $L_e = 1$ bo'lganda $U_a = \sqrt{DW_x}$ yoki $U_a = \sqrt{aW_x}$ ni olamiz. Shunday qilib, ko'chish koeffitsiyenti va kimyoviy reaksiya tezligini alanganing tarqalish tezligiga taqqoslash mumkin bo'ladigan darajada ta'sir qiladi.

Kritik miqdoridan yuqori amplitudali zarba to'lqinda energiyani ko'chishi, jarayonni o'z-o'zini ushlab turishini ta'minlaydigan miqdorgacha zarbali to'lqinda aralashmani isitish uchun yetarli. Shunga o'xshash hodisa detonatsiya deb ataladi. Detonatsiyali to'lqinning tarqalish tezligi ushbu muhitdagi to'lqin ko'lami ortidagi tovush tezligiga teng. Yonishni bunday mexanizmi uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda kuzatilishi mumkin va me'yorida yonishning buzilishi hisoblanadi.

Yonish tarqalishini induksion rejimi faqat yonish doirasini sijishi kabi kuzatiladi, haqiqatda esa uning mexanizmi indukatsion (yoki alangalanishni kechikish) davri turli qiymatga ega bo'lgan yonuvchi aralashma doirasini ketma-ket alangalanishi ko'rinishiga ega bo'ladi. Bunday mexanizm bo'yicha alanganing tarqalishini ko'rinadigan tezligi 0 dan ∞ gacha o'zgaradi. Bunday mexanizm dizelda yonilg'i oqimining alanga bilan qamrab olish jarayonida sodir bo'ladi.

Kimyoviy reaksiyani tashkil etuvchilarini hajmda fazoviy taqsimlanishi xususiyatiga bog'liq holda silindrdan tashqarida aralashma hosil qilinadigan dvigatellar uchun ahamiyatli bo'lgan, tashkil etuvchilarni boshlang'ich taqsimlanishi bir me'yorda bo'lgan ***gomogen*** (bir jinsli) ***tizimlarga*** va dizellar uchun ahamiyatli bo'lgan tashkil etuvchilarni taqsimlanishi notekis (bo'shliqda ajralish holatigacha) bo'lgan ***geterogen*** (bir jinsli bo'lmagan) ***tizimlarga*** ajratiladi. Ushbu tizimlar orasida aniq chegara mavjud emas. Bu holatda boshlang'ich tashkil etuvchilarni talab qilgan tezligida ifodalangan yonish tezligi statsionar (ko'chamas) yoki kvazistatsionar rejimda ikki ketma-ket jarayonlardan (diffuziyali aralashish va kimyoviy reaksiyaga kirishish) kelib chiqqan holda — diffuziya bilan sekinroq me'yorlanadi. Geterogen tizimlardagi yonishni bunday rejimi ***diffuziyali rejim*** deb ataladi, u dizellardagi yonish uchun ahamiyatli bo'ladi.

Yonish jarayoniga zaryadning gazodinamik holati ko'proq ta'sir qiladi. Zaryadni turbulentlanishi (girdoblanishi) gomogen va geterogen tizimlarda issiqlik massa ko'chish jadalligini va yonish tezligini oshiradi. Turbulent muhitda alanganing bo'lishi ***turbulent alanga*** deb ataladi. Gomogen aralashma bo'ylab tarqaladigan turbulent alanga ko'lamida yonish mahsulotlari doirasidan yangi aralashmaga issiqlik va mos holda yonish mahsulotlarini yuqori haroratli



3.12-rasm. **Alanga tarqalishining pulsatsiyali tezligini me'yoriy tezlikka nisbati kam (a) va ko'p (b) bo'lgandagi turbulent alanga ko'lamining sxemasi.**

doirasiga yangi zaryadni ko'chishi ortadi. Termik va kimyoviy faol mahsulotlarni ko'chishi aralashmaning ayrim hajmlarini *pulsatsiyali* deb ataladigan va turbulentlik jadalligini baholaydigan o'rtacha W' tezlik bilan harakatlanishida amalga oshiriladi.

Alanga tarqalishining me'yoriy (normal) tezligi U_a va pulsatsiyali W'* tezligi orasidagi nisbatga bog'liq holda turbulent alangani tuzilish xususiyati turlicha bo'lishi mumkin (3.12-rasm). W'/U_a ni kam nisbatida alanga ko'lamini qiyshayishi kuchsiz (3.12- a rasm), W'/U_a nisbatni ortishi bilan qiyshayish ko'payadi va yonish o'choqlar soni va uni kengligi ko'p bo'lgan, turbulent mavjud bo'lmagandagi alanga ko'lami kengligidan jiddiy ustunlik qiladigan alangani rivojlangan ko'lamiga o'tadi (3.12-b rasm). Kimyoviy reaksiya tezligi yetarlicha bo'lmaganda turbulentlikning ortiqcha jadalligi yonish doirasini sovib ketishiga va alangani o'chishiga olib kelishi mumkin.

Turbulent yonish sathli va ***hajmli mexanizmlarga*** ajratiladi. Bir vaqtning o'zida sathli va hajmli mexanizmlar mavjud bo'lishi mumkin. Masalan, yuqori harorat va jadallashgan turbulentda hajmiy yonish sodir bo'lishi mumkin. Boshqa tashkil etuvchiga nisbatan katta diffuziya koeffitsiyentiga ega bo'lgan ikki tashkil etuvchilardan (yonilg'i, oksidlovchi) biri bilan alanga ko'lamida aralashmani boyitishda samara bo'lishini ko'rsatib o'tish kerak. Ushbu samara molekular diffuziya koeffitsiyenti oksidlovchiga qaraganda ko'p bo'lgan yengil yonilg'ilarning juda suyuq aralashmasini dvigatelda yondirish mumkinligida namoyon bo'ladi.

Geterogen tizimlarning yonishida turbulizatsiya diffuzion alangani yonish doirasiga tashkil etuvchilarni qarama-qarshi tomonga ko'chishini orttiradi. Avvalgi holat kabi kimyoviy reaksiyalar tezligini ortishi bilan (masalan, haroratni ko'tarilishi tufayli) alanga ko'lamini kengligi kamayadi va kimyoviy reaksiya sezuvchan diffuzion doirada sodir bo'ladi. Bu yonish tezligini diffuziya tezligi bilan nazorat qilinadigan diffuzion rejimga o'tishiga mos keladi (adekvatno).

Bir jinsli aralashmalarning yonishi kabi bir vaqtda yonishni mikrodiffuzion va kinetik rejimlari mavjud bo'lishi mumkin.

*Aralashish va kimyoviy reaksiyani ahamiyatli vaqtlari nisbati to'g'risida ham gapirish mumkin.

Shunday qilib, yonish jarayoni, bir jinsli aralashmalardagi alanga ko'lamida va turli jinsli aralashmalardagi diffuzion alanga ko'lamida yonish kamerasi bo'ylab tarqaladigan alanga ko'lamini cheklangan hajmida mahalliylashadi. Oxirgi holatda ko'lam holati, asosan, yonilg'i bug'i bilan oksidlovchini aralashish jarayonini kechishi bilan aniqlanadi. Prinsipial bo'lmagan soddalashtirishlarda diffuzion alanga ko'lamini holati aralashishda sathning holati bo'lishi $\alpha = 1$ bilan (uni izostexiometrik sath deb atash mumkin), uni siljishi esa aralashish jarayonini ketishi bilan aniqlanadi deb hisoblash mumkin. Shuning uchun dizellarga xos xususiyatga ega bo'lgan geterogen tizimlardagi aralashtirish kimyoviy jarayonlar bilan birgalikda yonish qonuniyatini aniqlaydi.

3.3.2. ARALASHISHNING YONISH JARAYONIGA TA'SIRI

Yonish bilan birgalikda yonilg'i va oksidlovchini ularning ajratib turuvchi sath birligida ixtiyoriy qonun bo'yicha aralashishi (W_{apS} tezlik bilan) sodir bo'ladigan umumiy holatni ko'rib chiqamiz (3.13-rasm). Faraz qilaylik, kimyoviy reaksiya yonilg'ini oksidlovchi bilan tegib turadigan barcha sathlarida bir vaqtda boshlanadigan bo'lsin. Yonish jarayonining kechishini bir necha variantlarga ajratish mumkin:

— yonilg'i alangalanishigacha oksidlagich bilan to'liq aralashishga ulgurdi va olingan aralashma yonuvchanlik oralig'ida joylashgan (3.13-a rasm);

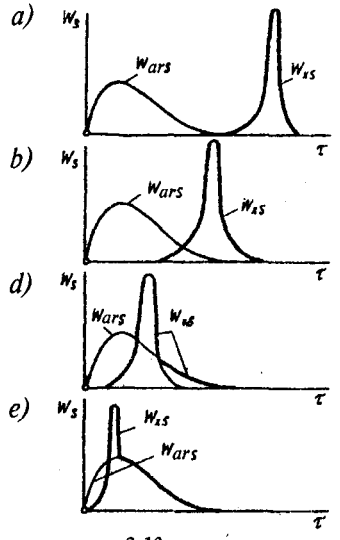
— yonish jarayoni yonilg'ini oksidlagich bilan to'liq aralashishigacha boshlanadi va faqat vaqt bo'yicha qisman aralashish bilan qoplanadi (3.13-b rasm).

Ushbu holatlar bir-biridan oz farq qiladi. Silindrdan tashqarida aralashma hosil qilinadigan dvigatelda har doim 3.13-b rasmda keltirilgan holat bo'ladi.

Shu paytgacha hosil bo'lgan aralashmani yonib tugashidan va jarayonni diffuzion rejimga o'tishidan keyin ham aralashma hosil bo'lish jarayoni davom yetadi. Bunda oksidlagich va yonilg'i yonish doirasiga aralashish tezligi W_{apS} bilan berib turilsa, diffuzion yonish rejimida yonish tezligining o'zgarishining egri chiziq qismi hosil bo'ladi. Chunki diffuzion rejimda aralashishning nisbiy tezligini o'zgarishning kimyoviy reaksiya tezligini konstanti $K = K_0 e^{-E_a/(RT)}$ dan ancha kam ($W_{xs} = W_{arS}$ tenglik yonish doirasidagi reaksiyani tashkil etuvchilarini amaldagi konsentratsiyasini kamayishi bilan ushlab turiladi), u holda yonish jarayoni bu qismda alangadagi kimyoviy reaksiyalar tezligiga nisbatan kvazistatsionar hisoblanadi (3.13-d rasm).

Alangalanishni kechikish davri qisqa bo'lgan holatda, aralashish tezligini eng yuqori qiymati yonishni diffuzion rejimini kvazistatsionar qismida erishishi va yonishni umumiy tezligi vaqt bo'yicha ikkita eng yuqori qiymatga ega bo'lishi bilan xarakterlanadi (3.13-e rasm).

3.13-d, e rasmda keltirilgan variantlar dizellar uchun xarakterli. Agar alangalanish jarayoni yopiq (lokal) hajmda ro'y bersa, xususiy holda W_{xs} va W_{apS} tezliklarning egri chiziqlari shunga o'xshash xususiyatga ega bo'ladi, so'ngra



3.13-rasm.

Kimyoviy jarayonni sezuvchanligini (reagirovaniya) aralashtirish jarayonidan turlicha kechikishida (*a*...*e*) yonish tezligini o'zgarish xususiyati.

alanga yonilg'i havo aralashmasi bo'ylab tarqaladi. U vaqtda 13-a, d rasmdagi variantlar silindrdan tashqarida aralashma hosil bo'ladigan dvigateldagi yonishga va butun hajmda alangani tarqalishiga, boshqa holatlarda — dizeldagi yonishga mos keladi. Shunday qilib aralashish jarayoni dizeldagi yonish jarayoniga katta ta'sir ko'rsatadi.

Yonilg'i va oksidlagichni kimyoviy o'zaro ta'sirlanishi uchun ular molekular darajada bir-biriga tegib turishi kerak, shunga bog'liq holda molekular (gradiyent) diffuziya aralashishni kerakli bosqichi hisoblanadi. Biroq, aralashishni ta'minlash uchun zarur bo'lgan gradiyentli diffuziya vositasida (ya'ni, ayrim hajmlarni ko'chishi bilan bog'liq bo'lmagan diffuziya) masofani ortishi bilan aralashish tezligi keskin kamayadi. Shuning uchun yonish kamerasida yonilg'ini mahalliylashtirishda, cheklangan yonilg'i va oksidlagich hajmlari (mollari)ni ko'chirish bilan bog'liq bo'lgan turbulent (molli) diffuziya aralashtirishda katta ahamiyatga ega bo'ladi. Tabiiyki, yonilg'ining majburiy harakati (to'zonni rivojlanishi) va yo'naltirilgan havo harakatini tashkil etilishi (uyurma), dizelda aralashma hosil qilish jarayonini ma'lum bosqichida, yonilg'ini yonish kamerasida bir tekis taqsimlanishiga yordam beradi.

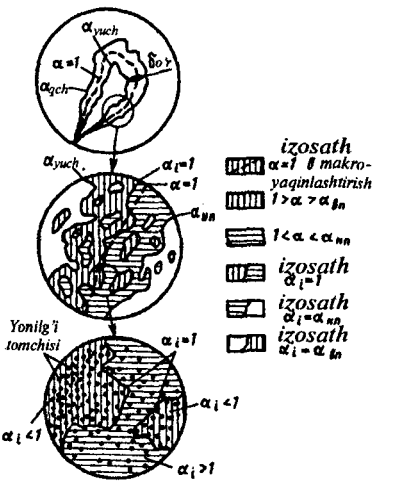
Dizeldagi yonishga ta'sir qiluvchi omillar molekular va turbulent diffuziyaga, to'zonning aerodinamikasiga ham turlicha ta'sir qilishi hisobga olinganda, dizelda yonilg'ini oksidlagich bilan aralashish jarayonini turli masshtab darajasida ko'rib chiqish qulay hisoblanadi: harakatlanuvchi muhitda yonilg'i to'zonini rivojlanishi bilan aniqlanadigan yonilg'ini makrotaqsimlanishi, turbulent ko'chish bilan bog'liq bo'lgan makroaralashish, yonilg'ini bug'lanishi va molekular diffuziya bilan aniqlanadigan mikroaralashish (3.14-rasm).

Makrotaqsimlanish yonish kamerasi va to'zonning shakli, o'lchamlari, uni yonish kamerasi hajmida rivojlanishi (yonish kamerasini to'ldirishi) va harakatlanayotgan havo zaryadida o'zaro ta'sirlanishi bilan aniqlanadi. Makrotaqsimlanish dizelda havo zaryadidan to'liq foydalanish darajasini belgilaydi.

Makroaralashish muhitni katta masshtabda turbulentlash, yonilg'i va oksidlagichni majburiy ko'chishi bilan aniqlanadi. Makrosiljish jadalligini baholashda turbulent diffuziya koeffitsiyenti qiymatidan foydalanish mumkin.

lanish sifatiga bog'liq bo'lmaydi deb hisoblash mumkin, birinchi yaqinlik bilan yonishdagi harorat g'alayonlanishiga ham bog'liq emas deb hisoblash kerak. Turbulentni jadalligi havo zaryadining harakatini tashkil etilishiga va yonilg'i oqimini turbulentlik tavsifiga bog'liq.

Mikroaralashish muhitning kichik masshtabli turbulentligi, yonilg'i bug'larining molekular diffuziyasi, dispers (sochilish) aralashmada esa yonilg'i tomchisining bug'lanishi bilan ham aniqlanadi. Oxirgi ikki jarayonning tezligi haroratga bog'liq, shuning uchun yonish o'chog'ini paydo bo'lishi yoki alanga ko'lamini o'tishi mikroaralashishni keskin jadallashtiradi.



3.14-rasm. **Yonilg'i oqimini turli darajada tahlil qilinishida uni tuzilishi** (α_{yuch} va α_{qch} yonishni yuqori va quyi konsentratsion chegarasiga mos keladigan havoning ortiqlik koeffitsiyenti).

3.3.3. YONISHDA KRITIK HODISA

Yuqori haroratda kechadigan yonish jarayoni har doim issiqlik olinishi bilan kuzatiladi, ya'ni yonishda kritik hodisani mavjud bo'lishi alangalanish va o'chish bilan namoyon bo'ladi.

Issiqlik yo'qolishi mavjud bo'lmaganda istalgan ekzotermik reaksiya jarayonning o'z-o'zidan tezlashishiga olib kelishi kerak. Yo'qotishning mavjudligi yonishni sodir bo'lishi uchun kerak bo'lgan sharoit sifatida issiqlik ajralib chiqish tezligi issiqlik olinishidan yuqori bo'lishini o'rnatadi.

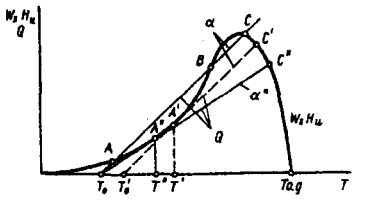
Yonish (alangalanish)ning issiqlik ajralib chiqishining ikki usuli mavjud:

— issiqlik ajralib chiqish tezligini issiqlik olinishiga qaraganda oshadigan shart-sharoit barpo qilish, bu aralashmani o'z-o'zidan isishi orqali turg'un yonishni sodir bo'lishiga olib keladi;

— yonish reaksiyasini ushlab turish uchun tashqi manbadan (masalan, uchqundan o't oldiriladigan) yetarlicha energiya berish. Bunday usul *yondirish* deb ataladi.

IYOD da alangalanishning ikkala usuli birgalikda bo'lishi mumkin.

Yonishdagi kritik holatni tahlil qilish maqsadida (teng sharoitda) yopiq hajmda reaksiyaga kiruvchi, masalan, yonish kamerasining markazida $\left(W_x \sim const \cdot e^{-E_a/(RT)}\right)$ aralashmani kimyoviy reaksiya tezligini T haroratga bog'liqligini (3.15-rasm) va issiqlik berish koeffitsiyenti α ni o'zgarmas deb hisoblab, T_0 harorat bilan muhit (yoki devor) ga berilayotgan issiqlik



3.15-rasm. **Kimyoviy reaksiyada issiqlik ajralib chiqish va turli haroratda issiqlik olish tezligini taqqoslash (alangalanishni tahliliga).**

$(Q \sim const \cdot \alpha (T - T_0))$ taqqoslani-ladi. Harorat T_0 va α ni boshlang'ich qiymatlariga bog'liq holda, issiqlik ajralib chiqish va issiqlik olish (A va C — barqaror, B — nobarqaror) tezligining bir hilligi bilan aniq-lanadigan aralashmani reaksiyaga kirishishini turli statsionar issiqlik rejimi bo'lishi mumkin (A, B va C).

Agar T_0 harorat orttirilsa (masalan, siqish jarayonida), u holda kimyoviy reaksiya tezligi issiqlik olish tezligiga tenglashganda (atrof-muhit harorati T_0' bo'lgandagi A' rejim) va undan ortganda A rejimda reaksiyaga kirish harorati ham T qiymatgacha ko'tariladi. Ushbu holatda alangalanish va C' rejimga o'tish ro'y beradi. Issiqlik olish koeffitsiyenti qiymatini α dan α'' gacha kamayishida xuddi shunday natijani olish mumkin (reaksiyaga kirish doirasidagi T' va atrof-muhitdagi T_0 haroratlarda A'' rejimda alangalanishning kritik shart-sharoiti).

Alangalanishning ikkinchi usuli (yondirish) energiyani keltirishda, masalan, uchqun razryadi ko'rinishida amalga oshirilishi mumkin. Uchqun razryadi doirasidagi yuqori harorat sharoitida kimyoviy reaksiya tezligi eng katta qiymatga ega bo'ladi. Agar keltirilgan energiya alangani tarqalishi mumkin bo'lgan ma'lum hajmni (odatda, alanga ko'lami qalinligini 3 tasiga muvofiq keladigan radius) isitishga yetsa, u holda ushbu hajmdan alanga tarqaladi. Aks holda yonish doirasi soviydi va alangalanish sodir bo'lmaydi. Dizelning yonish kamerasiga purkaladigan yonilg'i oqimini alangalanishida oqimni tashqi qobig'iga uni o'rab turgan issiq muhitdan bir vaqtni o'zida issiqlik beriladi, u yerda kimyoviy reaksiyani kechishi va ushbu doiradan yonilg'i oqimini sovuq markaziy qismiga issiqlik uzatilishi ancha jadallashadi. Yonilg'i oqimini isiyborishi bilan alangalanish paydo bo'ladigan oqimni tashqi qobig'idan issiqlikni olib ketish tezligi kritik qiymatigacha pasayadi.

Alangalanishning kechikish davri deb ataladigan, yonilg'i purkashni boshlanish paytidan alangalanishgacha bo'lgan davr oqimning isish jadalligiga, issiq zaryadning haroratiga va kimyoviy reaksiya tezligiga bog'liq. Yig'ilgan issiqlik olib ketilishi yoki issiqlik yo'qolishi ortiqcharoq bo'lsa, kritik holatni aksiga ya'ni alangani o'chishiga olib kelishi mumkin. Misol sifatida silindr devori yaqinida alangani o'chishi, aralashmani inert tashkil etuvchilar bilan suyultirilishi, yangi aralashmani isitish uchun kerak bo'lgan issiqlikka nisbatan issiqlik ajralib chiqish tezligining yetarli emasligi (masalan, aralashmani biror tashkil etuvchisini haddan tashqari ortiqligida) bo'lishi mumkin. Oxirgi ikki holatda alanga tarqalishini sekinlashishi alanga ko'lamidan issiqlik yo'qolishini ortishiga olib keladi.

Oxirgi dalil yonishning sodir bo'lishini konsentratsion chegarasini mavjudligi (alanga tarqalishini konsentratsion chegarasi deb ataladigan): yuqori chegara - aralashmani o'ta quyuqlashishi, quyi chegara — aralashmani o'ta suyuqlashishi bilan bog'liq.

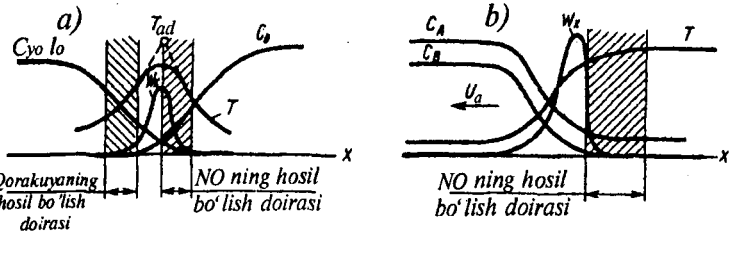
3.3.4. YONISHDA AYRIM ZAHARLI MODDALARNING HOSIL BO'LISH MEXANIZMI

Kimyoviy reaksiyaning qaytuvchanligi tufayli yonish jarayoni nazariy jihatdan oxiriga yetmaydi, biroq chala yonish ko'p darajada jarayonni kechish sharoiti bilan aniqlanadi.

Chala yonish mahsulotlarini hosil bo'lish mexanizmi va yonishda kechadigan yo'ldosh reaksiyani xususiyati alanga ko'lamini tuzilishi bilan bog'liq. 3.16-rasmda diffuzion alanga ko'lamini (3.16-a rasm) va bir jinsli aralashma bo'ylab tarqaladigan alanga ko'lamining (3.16-b rasm) tuzilishlari keltirilgan.

Dizelning yonish kamerasidagi diffuzion alangada (3.16-a rasm) yonilg'i va oksidlagich alanga ko'lamida diffundirlashadi, u yerda tor aralashtirish doirasida kimyoviy reaksiya kechadi va eng yuqori haroratga erishiladi. Ushbu doiraga yonilg'i tomonidan oksidlagichni yo'qligi tufayli parchalanishning oraliq mahsulotlari bilan birgalikda vodorod va qorakuya (qurum) hosil bo'ladigan yonilg'ini termik doirasi tutashadi. Vodorod alanga ko'lamida diffundirlanib yonadi, qurum zarrachalari esa ularning sathida uglevodorodlarni parchalanishi va ayrim qurum zarrachalarini diffuziyalanishida cho'kindi hosil bo'lishi hisobiga ortadi va alanga ko'lamida eng kam tezlikda yonib tugaydi. Qurum zarrachalarining bir qismi yonilg'i tomoniga diffuziyalanadi. Oksidlagich tomonidan alanga ko'lamiga azot oksidi hosil bo'ladigan doira tutashadi, qaysiki ikki tomonga singib aralashadi. Alanga ko'lami tomoniga diffuziyalanishida, *NO* kislorod miqdori cheklangan aralashma doirasidagi alanga haroratida katta tezlik bilan parchalanadi. Alanga ko'lami tomonidan diffuziyalanishda ham *NO* parchalanadi, lekin haroratning pasayishi bilan toblash (zakalka) ro'y beradi, ya'ni *NO* konsentratsiyasini muvozanat miqdorini kamayishida konsentratsiyani o'zgarishi to'xtaydi.

Silindrdan tashqarida aralashma hosil qilinadigan dvigateldagi bir jinsli aralashma bo'ylab tarqaladigan alangada (3.16-b rasm) to'liq yonish birinchi



3.16-rasm. **Diffuzion alanga ko'lamini (a) va bir jinsli arlashmada tarqaladigan alanga ko'lamini (b) tuzilishi.**

galda aralashma tarkibi bilan bog'liq. Agar ortiqcha tashkil etuvchi bo'lib yonilg'i hisoblansa (stexiometrikka nisbatan $\alpha<1$), u holda uni chala oksidlanishiga o'rin bo'ladi (masalan, *CO* gacha), agar oksidlagich ortiqcha hisoblansa ($\alpha>1$), u holda *NO* ni hosil bo'lish reaksiyasi jadallashadi. Biroq *NO* ni hosil bo'lishini qulay shart-sharoiti cheklangan, oksidlagichni ortiqcha bo'lishida, ya'ni aralashmada kislorod miqdorini nazariy jihatdan kerak bo'lgan (stexiometrik) miqdoridan ko'p bo'lganligi tufayli yonish mahsulotlari haroratni pasaytiradi. Odatda, *NO* ning eng ko'p miqdori aralashmada havoning ortiqlik koeffitsiyentini boshlang'ich miqdori 1,05 bo'lganda hosil bo'ladi.

Bir jinsli bo'lmagan (geterogen) aralashma doirasida yonish harorati yuqori bo'lmagan holatda issiqlik so'nggi mahsulotlargacha parchalanishni ta'minlashi uchun (uglevodorodni parchalanish doirasiga keltiriladigan) yetarli darajada bo'lmasligi mumkin. Bunda harorat pasayadi, endotermik jarayon — «o'z-o'zidan tormozlanadi». Natijada yonmagan (oxirgi holat yonib tugamagan) uglevodorodlar hosil bo'ladi. Haroratni pasayishiga boshqa omillar masalan, bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan aralashmalarni yonishida devor yaqinidagi doirada aralashmaning sovishi ta'sir qilishi mumkin. Aralashmaning tarkibiga bog'liq holda (kislorodning mavjudligi) ushbu jarayon natijasi sifatida yonmagan uglevodorodlar yoki is gazi *CO* bo'lishi mumkin.

Uglevodorodli yonilg'ilarni oksidlanishida hosil bo'ladigan ko'p birikmalar orasidan uglevodorodlarning tuzilishi yoki tirik jonzotlarga ta'sirini o'ziga xosligi bo'yicha bir qator uglevodorodlarni ajratish mumkin.

Ular orasida kislorod miqdori bo'lgan uglevodorod birikmalar aldegidlar asosiysi hisoblanadi, ular tirik jonzotlarga yuqori darajada salbiy ta'sir qilishi bilan ajralib turadi.

Politsiklik aromatik uglevodorodlar ham kanserogenli hisoblanadi. Ulardan eng ahamiyatlisi — 3,4-benz-α-piren, uning miqdorini aniqlash usuli ko'proq ishlab chiqilgan.

Yonilg'ida turli birikmalarning mavjudligi boshqa zaharli mahsulotlarni hosil bo'lishiga olib kelishi ham mumkin.

Masalan, benzinga detonatsiyani kamaytiruvchi (masalan, tetraetil qo'rg'oshin) ni qo'shish zaharli qo'rg'oshin birikmasini chiqarib tashlashga olib keladi, ayrim dizel yonilg'ilarida oltingugurt miqdorini ko'p bo'lishi oltingugurt oksidlarini hosil bo'lishiga sabab bo'ladi.

3.3.5. IYOD SILINDRIDA BOSIM TO'LQINI HOSIL BO'LISHINING MUMKINLIGI TO'G'RISIDA

Ajralib chiqadigan issiqlik elastik muhit tebranishini uyg'otishi mumkinligi ma'lum. Alanga ko'lamini istalgan tezlikda tarqalishida uning oldida har doim siqish to'lqini sodir bo'ladi: alanga ko'lamining kichik tezliklarida ($u_{al} < c$) — *zarbasiz* to'lqin (akustik), katta tezliklarida ($u_{al} > c$) — *zarbali* to'lqin. O'z-o'zidan alangalanishni qisqa vaqt oralig'ida ko'p miqdorda issiqlik ajralib chiqishi zarbali to'lqinni qo'zg'atish (portlash)ga olib keladi.

Bir qator ishlarda karbyuratorli dvigatelning yonish kamerasida zarbali va detonatsiyali to'lqinlarning hosil bo'lishi va tarqalishi nazariy jihatdan tahlil qilib chiqilgan. Ushbu ishlarda to'lqinni silindr devori bilan o'zaro ta'sirlanishi natijasida titrash (tebranish) va demak, shovqin ro'y berishi mumkinligi ko'rsatilgan.

Dizelning silindrida statsionar detonatsiya sodir bo'lishi uchun kerakli shart-sharoit yo'q. Shakllangan alanga ko'lamini tovush tezligi bilan tarqalishi mumkinligining ehtimoli ham kam hisoblanadi. Biroq yonilg'i havo aralashmasini alangalanish bosqichida tayyorlangan aralashmani alanga bilan qamrab olinishi tovush tezligiga yaqin tezlikda ro'y berishi mumkin. Shunday qilib, dizelda alangalanishni boshlanish paytida zarbali to'lqinni hosil bo'lishi uchun qulay sharoit hosil bo'ladi. Tovush tezligida alangalanadigan qobiliyatga ega bo'lgan aralashma miqdori, asosan, aralashma hosil qilish turiga, yonilg'i uzatish apparatining tavsifiga va birinchi navbatda yonilg'i uzatish qonuniga bog'liq.

Dizeldagi o'z-o'zidan alangalanish tabiatini o'rganishga bag'ishlangan ishlarda, *hajmiy* (*ko'p o'choqli*) *alangalanishda* zarbali to'lqinni sodir bo'lishi uchun eng qulay sharoit vujudga kelishi ko'rsatib o'tilgan. Bunda yonish jarayonining boshlanishida yonish reaksiyasi katta tezlikda kechadi, keyingi bosqichida asta-sekin sekinlasha boradi. *Nuqtali o'z-o'zidan alangalanishni* boshlanish bosqichida yonish tezligi bir nechaga kam, keyinchalik yonish jarayoni tezlashadi. Ushbu holatlarning istalganida boshlangan yonish jarayoni issiqlik ajralib chiqishning ma'lum muddatini shartlab qo'yadi, ya'ni hajmiy o'z-o'zidan alangalanadigan dvigatellarda boshlang'ich bosqichida u ancha yuqoriroq bo'lishi kerak. O'z-o'zidan alangalanishda sodir bo'ladigan zarbali to'lqinni jadalligiga, moddaning massa birligiga oid bo'lgan issiqlik ajralib chiqishni mahalliy tezligi hal qiluvchi bo'lib ta'sir qiladi. Issiqlik ajralib chiqishning mahalliy tezligini tajriba yo'li bilan aniqlash qiyinroq. Yonish qismida indikator diagrammaning ma'lum xususiyatini integral samarasi hisoblangan issiqlik ajralib chiqish tezligini issiqlik ajralib chiqishning mahalliy tezligi bilan proporsional bog'liqligi chamasi ko'proq yaqin turadi.

Issiqlik ajralib chiqish tavsifiga, asosan, tajriba ma'lumotlarini tahlili aytilganlarning haqqoniyligini tasdiqlaydi.

Alanganing paydo bo'lishi va tarqalishi, shuningdek, dizel silindridagi zarbali to'lqinni ko'rinishi ham aniq ta'riflashga imkon bermaydigan murakkab xususiyatga ega. Zarbali to'lqinning xatti-harakatini sifatli ta'riflashni muhit harakati (u_0) va zarbali to'lqin (d) tezliklariga bog'liq bo'lgan to'lqindagi bosimlar farqini o'rnatadigan gazodinamika tenglamasi yordamida bajarish mumkin.

Zarbali to'lqin uchun: $\frac{p_1}{p_c} = \frac{2k}{k+1}\left(\frac{d-u_0}{c}\right)^2 - \frac{k-1}{k+1}$,

bunda: k — adiabata ko'rsatkichi; c — g'alayonlanmaydigan to'lqinli muhitdagi tovush tezligi.

Agar zarbali to'lqin ortida alanga ko'lami mavjud bo'lsa va aralashmaning yonishi natijasida issiqlik berish sodir bo'lsa, u holda to'lqindagi bosimlar farqi quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$\frac{1}{k}\cdot\frac{k+1}{k-1}\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2-\frac{2}{k-1}\left[\left(\frac{d-u_0}{c}\right)^2+\frac{1}{k}\right]\frac{p_2}{p_1}+\left[\left(\frac{d-u_0}{c}\right)^2\left(\frac{2}{k-1}+q\right)-\frac{1}{k}\right]=0.$$

O'z navbatida,

$$\left(\frac{d-u_0}{c}\right)^2=\frac{1}{k}\left[\left(k^2-1\right)\left(\frac{1}{k-1}+\frac{q}{2}\right)^2-1\right]+\frac{1}{k}\sqrt{\left[\left(k^2-1\right)\left(\frac{1}{k-1}+\frac{q}{2}\right)-1\right]^2-k^2},$$

bunda: q — to'lqindagi issiqlik berish jadalligini sifatlaydigan ko'rsatkich; p_2 — zarbali to'lqin ko'lamining orqasidagi bosim; p_1 — alanga ko'lami ortidagi bosim.

Ushbu tenglamalardan q ning miqdori qancha ko'p bo'lsa, to'lqin tezligi shuncha ko'p bo'ladi. Ushbu holatda p_2/p_1 nisbat ortadi, ya'ni to'lqinni zarbali ta'siri devorga ko'proq bo'ladi. q ko'rsatkichni q_{cr} kattalik bilan teng hisoblashda issiqlikni katta tezlikda ajralib chiqishida ham va zarbali to'lqinni rivojlanishi natijasida ham shovqin jadallashishining ortishi to'g'risida xulosa chiqarish mumkin.

Keltirilgan tenglama *ikki yoqlama uzilish* deb ko'rilgan (zarbali to'lqin va alanga ko'lami-uzilishlar chegarasi) V.K. Troshin ishi asosida yozilgan, u dvigatelda zarbali to'lqinni yoritish uchun boshqa kitoblarda bayon qilingan *bir tomonlama uzilishga* qaraganda yaxshi yondashadi.

Agar gaz bo'ylab harakatlanayotgan zarbali to'lqin to'siqqa (devorga) duch kelsa, u holda qaytgan to'lqin amplitudasi ikki martadan ko'proqqa ortishi ma'lum: faqat akustik zarbsiz to'lqinda ushbu o'sish ikki martaga teng. To'lqinni qaytishida sodir bo'lgan bosimning ortishini devorga ta'siri qaytish paytidan alanga ko'lamini devorga yetib kelgunicha davom yetadi, ya'ni devor ushbu vaqt oralig'ida qandaydir zarbali turtki $p\Delta t$ ni sezadi. p_2/p_1 nisbat miqdori qancha ko'p bo'lsa, ushbu turtki shunchalik ko'p bo'ladi, masalan, $d\to\infty$ va $u_0\to 0$ bo'lganda, ya'ni agar alangalanish tinchroq muhitda ro'y bersa, u holda devorga ta'sir qiluvchi zarbali turtki ko'p bo'ladi.

Shunday qilib, dvigateldagi zarbali to'lqin jadalligini ikki omil belgilaydi: ko'rinishli yonish jarayonini boshlanish davrida alangalanadigan yonilg'i miqdori (u, asosan, aralashma hosil qilish usuliga va yonilg'i uzatish apparatining tavsifiga bog'liq) va aralashma hosil qilish usuliga va yonish kamerasining konstruksiyasiga, kiritish traktiga, dvigatelning ishlashini tezlik rejimiga bog'liq bo'lgan ushbu alangalanish sodir bo'ladigan muhitning gazodinamik holatiga. Birinchi omil bilan zarbali to'lqin tezligi d, ikkinchi omil bilan muhitning tezligi u_0 aniqlanadi. Ikkala tezlik birgalikda zarbali to'lqinni boshlanishida bosimlar farqini aniqlaydi.

Aylanishlar chastotasini ortishi bilan vaqt bo'yicha issiqlik ajralib chiqish jarayoni va havoning harakat tezligi jadallashadi. Ushbu ikki omil bir-biriga qarama-qarshi ta'sir qiladi: biri — to'lqindagi bosimlar farqini jadallashtiradi, ikkinchisi — pasaytiradi. q_{cz} o'sishi birinchi darajali aylanishlar chastotasiga, havo zaryadining tezligi esa — ikkinchi darajasiga proporsional holda ro'y berishi tajribalarda ko'rsatilgan. Bundan, aylanishlar chastotasini ortishi bilan ikkinchi omilning ta'siri kuchliroq bo'lishi ko'rinib turibdi.

Nihoyat dvigatellar aylanishlar chastotasi bo'yicha kuchaytirilganda yonishdan shovqinni anchaga zo'rayishiga xavotir bo'lmaslik kerak degan xulosani chiqarish mumkin. Shunday qilib, zarbali to'lqinning jadalligi, asosan, dvigateldagi issiqlik ajralib chiqish tezligiga bog'liq.

Zarbali to'lqinning tarqalish tezligi, yuqorida ko'rsatib o'tilgandek tovushni mahalliy tezligidan yuqori. Zarbali turtkini devorga ta'sir qilish chastotasi f quyidagi ifoda orqali aniqlanishi mumkinligini tajriba ko'rsatgan

$$f = b \cdot \frac{c}{2D},$$

bunda: $b = 1{,}05...1{,}15$; D — silindr diametri; c — tovush tezligi.

3.4. UCHQUNDAN O'T OLDIRILADIGAN DVIGATELLARDA ARALASHMA HOSIL QILISH VA YONISH JARAYONLARI

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda aralashma hosil qilish va yonish jarayonlarini kechishi rejim omillaridan tashqari yonilg'ining fizik-kimyoviy xususiyatiga va uning uzatish usuliga bog'liq (karbyuratsiyalash, benzinni purkash, gazda ishlaydigan dvigatel qorishtirgichi).

Aralashma hosil qilish navbatdagi yonish jarayoniga ta'sir qiladi, chunki yonishning tezligi va to'laligi, yonilg'ini bug'lanishi va uning havo bilan aralashishi ta'sir qiladigan aralashmaning tarkibi va sifatiga bog'liq.

3.4.1. BENZINDA ISHLAYDIGAN DVIGATELLARDA ARALASHMA HOSIL QILISH

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelda aralashma hosil qilish deganda yonilg'i va havoni me'yorlash, yonilg'ini purkash, bug'latish va havo bilan aralashtirish jarayonlarini o'zaro bog'liqlik majmuasi tushiniladi.

Aralashma tarkibi bog'liq bo'lgan yonilg'ini me'yorlash (dozalash) 5.1-§ da ko'rib chiqilgan.

Uchqundan o't oldiriladigan to'rt taktli dvigatellar uchun silindrdan tashqarida aralashma hosil qilinadigan usul qo'llaniladi, ikki taktli dvigatellar uchun esa silindrni puflab tozalashda yonilg'i isrofiga yo'l qo'ymaydigan silindr ichida aralashma hosil qilinadigani afzal hisoblanadi.

To'rt taktli dvigatellarda aralashma hosil qilish karbyuratorda, forsunkada yoki qorishtirgichda boshlanib, kiritish traktida davom etadi va silindrda tugaydi.

Karbyuratsiyalash va markaziy purkashdagi aralashma hosil qilish mexanizmi ko'p umumiylikka ega, chunki ikki holatda ham yonilg'i havo oqimiga kiritish traktini bir xil joyidan — kiritish quvuridan oldin kiritiladi (3.17-a, b rasm).

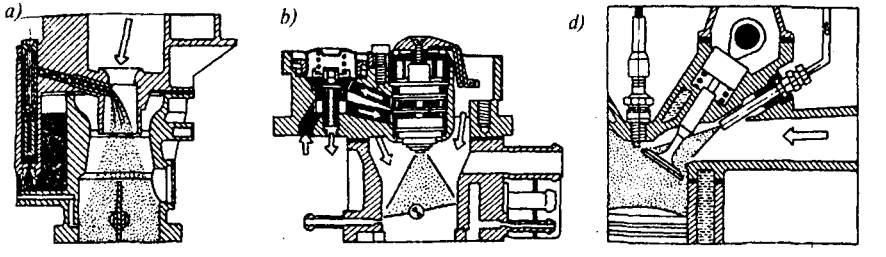
Yonilg'ini to'zitish. Yonilg'i (yoki YOHA) karbyuratorning to'zitkichidan chiqqanidan so'ng aerodinamik qarshilik kuchi ta'siri va YOHA da havoni mavjudligi natijasida uni parchalanishi boshlanadi, bunda havoning tezligi yonilg'i tezligidan ancha yuqori bo'ladi. To'zitishning bunday usuli *havoli* yoki *pnevmatik* deb ataladi, chunki yonilg'ini parchalash uchun havoning kinetik energiyasidan foydalaniladi. To'zitkich teshigidan bir necha millimetr oraliqda oqim parda va turli diametrli tomchilar ko'rinishida parchalanadi va keyinchalik tomchilar yanada kichikroq tomchilarga parchalanishi mumkin. To'zitish jarayonini yaxshilash tomchilarning umumiy sathini oshiradi va ularning tezroq bug'lanishiga imkon tug'diradi. Karbyuratordan chiqayotgan tomchilarning o'rtacha diametrini taxminan 100 mkm deb hisoblash mumkin. Diffuzorda havo tezligining ortishi karbyuratorda yonilg'i to'zitishni jadallashtiradi va aksincha yonilg'ini qovushqoqligi va sirt taranglik koeffitsiyenti miqdori yuqori bo'lganda to'zitishni maydaligi va bir jinsliligi yomonlashadi. Karbyuratorli dvigatelni ishga tushirishda yonilg'i amalda deyarli to'zitilmaydi.

Purkash tizimi yonilg'ini bosim ostida odatda, kiritish o'tkazuvchi quvuriga (*markaziy purkash*) yoki silindrlar kallagidagi kiritish kanaliga (*taqsimlangan purkash*) (3.17-b, d rasm) uzatishni amalga oshiradi.

Ikki tizim uchun to'zitilishni maydaligi purkash bosimiga, forsunkaning to'zitish teshigi shakliga va ularda benzinni oqish tezligiga, yonilg'i qovushqoqligiga va sirt tarangligiga bog'liq.

Benzinni purkash tizimlarida elektromagnit forsunkalar ko'proq ishlatiladi (5.12-bandga qarang), oqimli, shtiftli va markazdan qochma forsunkalar uchun Zauter (3.5.1-bandga qarang) bo'yicha mos holda o'rtacha diametri 220...400, 200...270 va 50...100 mkm li tomchilar olishga imkon beradigan 0,15...0,4MPa bosim ostida yonilg'i beriladi.

Yonilg'ini to'zitish jarayoni kiritish klapani va uni o'rindig'i orasidagi kesimdan suyuq fazani (parda, tomchi) o'tishida ham, qismiy yuklamalarda drossel to'smaqopqoqni yopiq holida hosil bo'lgan tirqishdan o'tishida ham sodir bo'ladi.



3.17-rasm. **Karbyuratsiyalashda (a), markaziy (b) va taqsimlanish bilan (d) purkashda yonilg'i uzatish.**

Yonilg'i pardasining hosil bo'lishi va harakati. Karbyuratorning to'zitkichidan yonilg'ini chiqishidagi harakat yo'nalishi, havo oqimi bilan tomchilarning o'zaro ta'sirlanishida paydo bo'ladigan kuchlar, gravitatsion kuchlar ham zarrachalarni karbyuratorning bosh havo kanali va kiritish o'tkazuvchi quvur devorlarida o'tirib qolishiga olib keladi. Tomchilar devorlarda oqib yonilg'i pardasini hosil qiladi. Pardani yetarlicha ko'p miqdorda bo'lishida undan havo oqimi yonilg'i tomchisini sidirib olishi mumkin, ya'ni tomchi hosil bo'lishini ikkinchi jarayoni kuzatiladi. Yonilg'i pardasiga devor bilan ilashish kuchi, havo oqimi tomonidan urinma kuch, kesimni perimetri bo'yicha statik bosim farqi, shuningdek, og'irlik va sirt taranglik kuchlari ta'sir qiladi. Ushbu kuchlarning ta'siri natijasida parda harakatining trayektoriyasi murakkab xususiyatga ega bo'ladi. Pardaning harakat tezligi aralashma oqimi tezligidan bir necha o'n marta kam.

Karbyuratorli dvigatellarni to'liq yuklamalarida va past aylanishlar chastotasida havo oqimi tezligi va yonilg'i to'zitilishini maydaligi nisbatan ko'p bo'lmaganda parda eng ko'p hosil bo'ladi. Ushbu rejimlarda o'tkazuvchi kiritish quvuridan chiqishida parda miqdori yonilg'ining umumiy sarfini 25% igacha yetishi mumkin. Dvigatelning drossellashda drossel to'smaqopqoq yonida yonilg'ini ikkinchi marta to'zitilishi va o'tkazuvchi quvurni ichki sathi haroratini ortishi (suyuqlik bilan isitishda) tufayli o'tkazuvchi kiritish quvurida parda miqdori kam bo'ladi.

Benzinni purkashda hosil bo'ladigan parda miqdori forsunkani o'rnatish joyiga, purkash uzoqligiga, to'zitishning maydaliligiga, har bir silindrga taqsimlangan purkashda esa — uni boshlanish paytiga bog'liq. Tajribalarning ko'rsatishicha, purkashning tashkil etishni istalgan usulida pardaga 60...80% yonilg'i o'tirib qoladi.

Yonilg'ining bug'lanishi. Sifatli aralashma hosil bo'lishini ta'minlash uchun avval yonilg'ini bug'latish kerak, faqat bir xil agregat holatida (bir fazali aralashma) aralashtirishni diffuzion jarayoni (yonilg'i bug'i va havo) to'laroq kechadi. Yonilg'i havo aralashmasi silindrga kirguncha ikki faza holatida bo'ladi, chunki yonilg'i unda gaz va suyuq fazalarda bo'ladi.

Tomchi va parda sathida yonilg'i nisbatan yuqori bo'lmagan haroratda bug'lanadi. Dvigatelning kiritish tizimida tomchi taxminan 0,002...0,05 sek davomida bo'ladi. Ushbu vaqtda faqat juda mayda tomchilar to'liq bug'lanishga ulguradi.

Tomchilarning bug'lanish tezligini pastligi, asosan, issiqlik va massa ko'chishini molekular mexanizmi bilan aniqlanadi, chunki vaqtning ko'p qismida tomchilar havoning ko'p bo'lmagan puflashida harakatlanadi. Shuning uchun tomchini bug'lanishiga to'zitishni maydaligi va yonilg'ining boshlang'ich harorati sezilarli darajada ta'sir qiladi, havo oqimi haroratini ta'siri esa ko'p emas. Oqim bilan jadal sur'atda puflab turiladigan parda sathidagi bug'lanish jiddiy ahamiyatga ega. Pardani bug'lanishiga kritish trakti devorlari bilan issiqlik almashinuvi katta ahamiyatga ega, shuning uchun markazlashtirilgan purkashda va karbyuratsiyalashda o'tkazuvchi kiritish quvuri, odatda, dvigatelning sovitish suyuqligi yoki ishlatilgan gazlari bilan isitiladi.

Kiritish taktining konstruksiyasiga va karbyuratorli dvigatelning ish rejimiga bog'liq holda va markazlashtirilgan purkashda o'tkazuvchi kiritish quvuridan chiqishda yonuvchi aralashmadagi yonilg'i bug'i 60...95% ni tashkil etishi mumkin. Yonilg'ini bug'lanish jarayoni silindrni ichida kiritish va siqish taktlari davrida davom etadi, yonishni boshlanishida yonilg'i deyarli to'liq bug'lanadi.

Ayniqsa, kiritish klapani sathidagi parda jadal sur'atda bug'lanadi, biroq ushbu bug'lanishni davomiyligi ko'p emas, shuning uchun kiritish klapani tarelkasiga taqsimlangan usuldagi purkashda va drossel to'liq ochiq bo'lib, dvigatel ishlaganda silindrga kirgunicha yonilg'ini sikldagi me'yorini faqat 30...50% bug'lanadi.

Kiritish kanalini devoriga taqsimlangan usulda purkashda pardaning kichik tezlik bilan harakatlanishi tufayli bug'lanish vaqti ortadi va yonilg'ining bug'langan qismi 50...70% gacha ortadi. Aylanishlar chastotasi qancha katta bo'lsa, bug'lanish vaqti shuncha kam bo'ladi, demak benzinni bug'langan qismi ham kam bo'ladi.

Taqsimlangan usuldagi purkashda o'tkazuvchi kiritish quvurini isitish shart emas, chunki u aralashma hosil qilishni sezilarli darajada yaxshilamaydi, silindrni yangi zaryad bilan to'lishini kamaytirishga olib keladi.

Benzinni bug'lanishiga eng yomon sharoit sovuqlayin ishga tushirish va qizitish rejimlarida ro'y beradi, bu vaqtda kiritish trakti sathlarini, havoni va yonilg'i harorati past, karbyuratsiyalashda esa yuqorida ko'rsatilgandek ishga tushirish rejimida yonilg'ining to'zitilishi deyarli mavjud bo'lmaydi.

Qizimagan dvigatelni ishga tushirish rejimlarida yonilg'ini silindrga kirgunicha bug'langan qismi 5...10% gacha kamayishi mumkin.

Silindrlararo aralashma tarkibining notekisligi. Kiritish taktida havo va yonilg'i bug'larining harakat tezligi bir hil, tomchilarning tezligi esa havo tezligiga qaraganda 2...6 m/s ga kam. Kiritish takti tarmoqlarini qarshiligi bir xil bo'lmaganligi tufayli ayrim silindrlarni havo bilan to'lishi 2...4% ortiq bo'lmagan miqdorda farqlanishi mumkin. O'tkazuvchi kiritish quvurining tarmoqlangan kanallari bo'ylab yonilg'ini taqsimlanishi, demak karbyuratorli dvigatelni silindrlararo yoki markazlashgan usulda purkashda, asosan, yonilg'i pardasini turlicha taqsimlanishi hisobiga notekisligini ko'pligi bilan baholanishi mumkin. Bu silindrlardagi aralashma tarkibini ham bir xil emasligini ko'rsatadi.

$D_i = \frac{\alpha_i - \alpha}{\alpha} \cdot 100\%$ miqdorni *aralashma tarkibining notekislik darajasi* deb ataladi; bunda: α_i — i — silindrdagi havoning ortiqlik koeffitsiyenti; α — karbyurator orqali tayyorlanadigan aralashma havosining ortiqlik koeffitsiyenti. Agar, masalan, $D_i > 0$ bo'lsa, u holda ko'rilayotgan silindrdagi aralashmani dvigateldagi umumiy aralashmaga nisbatan suyuqligini bildiradi. α_i ning miqdorini i — silindrdan chiqayotgan ishlatilgan gazni tahlili bo'yicha aniqlash mumkin. Kiritish taktini konstruksiyasi noqulay (yaxshi bo'lmaganda) bo'lganda, aralashma tarkibining notekislik darajasi $D_i = \pm 20\%$ miqdorga

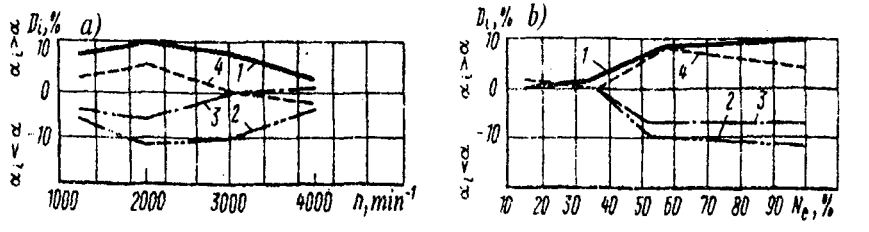
erishishi mumkin, bu tejamkorlik, quvvat va boshqa ko'rsatkichlarini sezilarli darajada yomonlashtiradi.

Aralashma tarkibining silindrlararo tekisroq taqsimlanishi uchun o'tkazuvchi kiritish quvurini tarmoqlangan doirasigacha yonilg'ini to'laroq bug'lanishini ta'minlash kerak. Shunga bog'liq holda, masalan, to'zitishni yaxshilash aralashma tarkibining notekislik darajasini kamaytiradi.

Aralashma tarkibining notekisligi dvigatelning ish rejimiga ham bog'liq. Karbyuratorli dvigatelda yoki markazlashgan usuldagi purkashda aylanishlar chastotasini ortishi bilan yonilg'ini to'zishi va bug'lanishi yaxshilanadi, shuning uchun aralashma tarkibini notekisligi kamayadi (3.18-a rasm). Yuklamaning kamayishida ham aralashmani hosil bo'lishi yaxshilanadi, bu xususan aralashma tarkibining notekislik darajasini kamayishi bilan ifodalanadi (3.18-b rasm).

Benzinning turli fraksiyalari 35...200°C harorat oralig'ida qaynaydi, shuning uchun aralashma hosil qilishda benzin fraksiyaga ajraladi, bunda birinchi galda yengil fraksiyalari bug'lanadi (ular kam oktan soniga ega), tomchilarda va pardada esa, asosan, o'rtacha va og'ir fraksiyalar bo'ladi. Yonilg'ining suyuq fazasini silindrlararo notekis taqsimlanishi natijasida aralashma faqat turlicha α li bo'lib qolmasdan, yonilg'ining fraksiya tarkibi ham (demak uni oktan soni ham) bir xil bo'lmasligi mumkin. Keltirilganlar benzin qo'shilmalarini silindrlararo taqsimlanishiga, xususan detonatsiyani yo'qotuvchilarga ham taalluqli. Aralashma hosil bo'lishini ko'rsatilgan o'ziga xosligi tufayli karbyuratorli dvigatellarning silindrlariga yoki markazlashgan usuldagi purkashda umumiy holda α, yonilg'ini tarkibi va uni oktan soni bo'yicha farqlanadigan aralashma kiradi.

Taqsimlanish bilan purkaladigan dvigatellarda silindrlararo aralashma tarkibining notekisligi forsunkalar sifatiga (o'xshashligi) va purkaladigan yonilg'i me'yoriga bog'liq. Umuman taqsimlanish bilan purkalishda aralashma tarkibining notekisligi ko'p emas, uning eng ko'p qiymati eng kam sikllik me'yor (dozada) da bo'ladi (salt yurish rejimida) va ±4% gacha erishishi mumkin, dvigatel drossel to'liq ochiq holatida ishlaganda aralashma tarkibining notekisligi ±1,5% dan ortmaydi.



3.18-rasm. **To'rt silindrli karbyuratorli dvigatelda quyidagilarga bog'liq holda aralashma tarkibining notekislik darajasining o'zgarishi:**
a — aylanishlar chastotasi (drossel to'liq),
b — yuklamalar (n = 2000 min^{-1}); 1, 2, 3 va 4-silindrlar.

3.4.2. GAZDA ISHLAYDIGAN DVIGATELLARDA ARALASHMA HOSIL QILISHNING O'ZIGA XOSLIGI

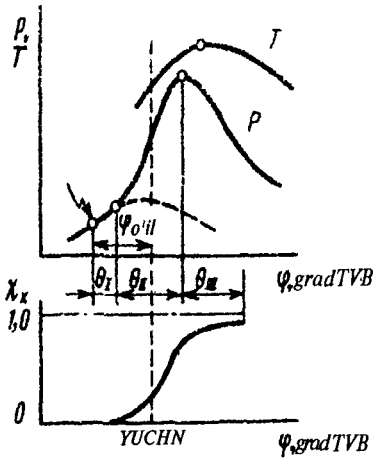
Uchqundan o't oldiriladigan gazda ishlaydigan to'rt taktli avtomobil dvigateli silindrdan tashqarida aralashma hosil qilishni tashkil etish nuqtayi nazari bo'yicha karbyuratorli dvigateldan farq qilmaydi.

Gazda ishlaydigan dvigatellar siqilgan va suyultirilgan gazlarda ishlaydi. Ikki holatda ham yonilg'i havo oqimiga gazsimon holatida kiritiladi. Silindrdan tashqarida aralashma hosil qilishda aralashmaning sifati qaynash haroratiga va gazning diffuziya koeffitsiyentiga bog'liq. Ushbu ko'rsatkich bo'yicha gazsimon yonilg'i benzinga nisbatan afzallikka ega, shuning uchun gazsimon yonilg'ida ishlashida va silindrdan tashqarida aralashma hosil qilishda deyarli bir jinsli aralashmani shakllantirishni ta'minlaydi va kiritish takti sathida suyuq parda hosil bo'lmaydi. Ushbu sababga ko'ra gazda ishlaydigan dvigatellarda o'tkazuvchi kiritish quvurini isitishga hojat bo'lmaydi.

Gaz havo aralashmasi benzin havo aralashmasiga qaraganda silindrlararo bir tekis taqsimlanadi.

Silindrning ichida aralashma hosil qilish ikki taktli, katta to'rt taktli gazda ishlaydigan ko'chmas dvigatellarda ham qo'llaniladi. Bunda aralashma hosil qilish sifati tashqarida aralashma hosil qilishga qaraganda past, biroq puflashda gazni yo'qolishiga o'rin bo'lmaydi.

3.4.3. UCHQUNDAN O'T OLDIRILADIGAN DVIGATELLARDA YONILG'INING ALANGALANISHI VA YONISHI



3.19-rasm. **Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelning indikator diagrammasi** ($\varphi_{o'.il}$ — o't oldirishni ilgarilatish burchagi, θ_I, θ_{II}, θ_{III} — yonish jarayoni fazalari). χ_x — issiqlik ajralib chiqish koeffitsiyenti.

Dvigatelning indikator FIK yonilg'i yonishini to'laligi, tezligi va o'z vaqtida yonishiga bog'liq. Aralashma qanchalik bir jinsli va turbulentlashgan bo'lsa, shunchalik tez yonadi. To'liq, tez va o'z vaqtida yonishi to'g'risida indikator diagrammani tahlil qilib fikr yuritish mumkin, buning uchun diagrammada shartli ravishda uchta faza ajratiladi (3.19-rasm).

Birinchi faza θ_I, elektr uchquni chiqqan paytdan boshlanib issiqlik ajralib chiqishi natijasida silindrdagi bosim aralashmani yondirmasdan YUCHN gacha siqishdagi bosimga qaraganda yuqori bo'lishida tugashi *yonishning boshlang'ich fazasi* yoki *alanga ko'lamining shakllanish fazasi* deb ataladi. Ushbu davr vaqtida o't oldirish shami elektrodlari orasidagi yuqori harorat doirasida shakllanadigan yonish

o'chog'i asta-sekin turbulent alangani rivojlangan ko'lamiga aylanadi. Ushbu faza davomida yonishni rivojlanishi, asosan, kichik masshtabli turbulent yonish qonuniyatini aniqlaydi. θ_1 davrda yonadigan yonilg'ining qismi 2...3% dan kam, shuning uchun siqish bosimiga nisbatan bosimning ortishini indikator qayd qilmaydi. TVB bo'yicha gradusdagi θ_1 ning davomiyligiga quyidagi omillar ta'sir qiladi;

Aralashma tarkibi. Yonish tezligi eng yuqori bo'lganda (α = 0,8...0,9) gi aralashma tarkibiga θ_1 ning eng kichik qiymati mos keladi. Aralashmaning haddan tashqari suyuqlanishida θ_1 faqat sezilarli darajada kattalashib qolmasdan, ayrim silindrlarda alangalanishni sodir bo'lmaslik darajasigacha olib kelib, alangalanishni barqarorligi keskin yomonlashadi.

Zaryadning uyurma harakati. Vintsimon yoki tangensial kiritish kanallarini qo'llash silindrda zaryadni jadal uyurma harakatini sodir etishga imkon tug'diradi va kichik masshtabli turbulentlikni oshirishga olib keladi, bu esa o'z navbatida θ_1 ning davomiyligini kamaytiradi.

Siqish darajasi. ε ortishi bilan θ_1 ni davomiyligini mos holda qisqarishiga, yonishning me'yoridagi tezligini oshirishga imkon beradigan ishchi jism harorati va bosimini kattalashtiradi. Ushbu sababga ko'ra o't oldirishni ilgarilatish burchagini kamaytirish θ_1 ni bir qanchaga kamayishiga olib keladi.

Aylanishlar chastotasi. Tajribalarning ko'rsatishicha, $\theta_1 \sim n^m$ bo'ladi, bunda m = 0,5...1,0. Aylanishlar chastotasi ortishi bilan kichik masshtabli tepib turish (pulsatsiya) qanchalik tez o'ssa (ko'paysa) m ko'rsatkichning qiymati shuncha kam bo'ladi.

Dvigatel yuklamasi. Drossel to'smaqopqoqni asta-sekin berkilishida IG ning nisbiy miqdori ortadi va ishchi aralashmaning bosimi kamayadi. Bularning barchasi θ_1 ning davomiyligini ortishiga, alangalanishning barqarorligini yomonlashishiga olib keladi.

Uchqun razryadining tavsifi. Kuchlanishning o'tish qobiliyati, razryadni davomiyligi va barqarorligi qancha yuqori bo'lsa, θ_1 shuncha kam bo'ladi, shuning uchun o't oldirishni elektron (tranzistorli) tizimi klassik tegib turadigan (kontaktli) tizimga nisbatan alangalanish va yonishni, ayniqsa tezlashish rejimida yoki aralashma anchaga suyuqlashganida birmunchaga yaxshilaydi.

Ikkinchi faza θ_{II} *yonishning asosiy fazasi* deb ataladi, uning davomiyligi bo'lib, birinchi fazaning oxiridan sikl eng yuqori bosimga erishgunicha bo'lgan davr hisoblanadi.

θ_{II} ning davomiyligi yonish katta masshtabli turbulent yonish qonuniyati bilan aniqlanadi. Yonishning ushbu fazasida alanga tarqalishini eng katta tezligi 60...80 m/s ga, yonilg'ini yongan qismi esa 80...85% ga erishishi mumkin. Tajribalarning ko'rsatishicha, θ_{II} ishchi jismning fizik-kimyoviy xususiyatiga kam bog'liq bo'ladi, faqat juda kuchli drossellanishda θ_{II} ning bir qanchaga ortishi kuzatiladi. Silindrda zaryad turbulentligining jadalligi aylanishlar chastotasiga proporsional, shuning uchun n ning ortishi bilan ikkinchi faza-

ni vaqt bo'yicha davomiyligi sikl davomiyligini o'zgarishiga proporsional ravishda kamayadi, ya'ni TVB ni gradus hisobida θ_{II} faza deyarli o'zgarmaydi. θ_{II} ni kamayishi o't oldirish shamini yonish kamerasining markaziga yaqinroq joylashtirishga zaryadning turbulizatsiyalanishini kuchaytirishga ham imkon beradi.

Ikkinchi fazani tugash vaqtida yonish tugamaydi, shuning uchun gazlarning o'rtacha haroratini ko'tarilishi davom etib, 1 nuqtada eng yuqori qiymatiga erishadi (3.19-rasm).

Uchinchi faza θ_{III} yoki yonib tugash fazasi, sikl eng yuqori bosimga erishgan paytdan boshlanadi. Ushbu fazada yonish kamerasini asosiy hajmidagi turbulent tepib turish masshtabiga qaraganda sezilarli darajada kam bo'lgan devor yaqinidagi qatlamda aralashma yonadi. Aralashmaning ayrim qismlari, ayniqsa turbulentli yonish doirasi keng bo'lganda alanga ko'lamining orqasida yonib tugaydi. Molekulalarning qayta tartiblanishi (rekombinatsiya)da ham issiqlik ajralib chiqishi yuz beradi. Ushbu fazada issiqlik ajralib chiqish tezligi kamayadi, porshenni PCHN tomon siljishi tufayli gazlar kengayishi ortadi, u bir vaqtning o'zida issiqlikning devorga uzatilishining ortishi bilan silindrdagi bosimning kamayishini aniqlaydi. θ_{III} ni davomiyligiga, kichik masshtabli turbulent yonish tezligi bog'liq bo'lgan, θ_1 ga ta'sir qiluvchi omillar ta'sir qiladi. ε ning ortishi bilan devor yaqinidagi qatlamalarda va silindrlar ust yopmasi va porshen tubi orasidagi tirqish (siqib chiqaruvchilar)da yonib tugaydigan aralashma qismi ortadi. Issiqlik ajralib chiqish oxirini belgilaydigan ushbu fazaning tugash paytini maxsus hisoblashlar va indikator diagrammaga ishlov berishni bajarmasdan aniqlash mumkin emas.

Tajribalarning ko'rsatishicha, yonishning ikkinchi fazasi YUCHN ga nisbatan taxminan simmetrik joylashganda, uchqundan o't oldiriladigan dvigatel η_e ni eng yuqori qiymati bilan ishlaydi. Yonishning asosiy fazasi, drossel to'liq ochiq bo'lib, YUCHN dan 12...15° o'tgandan so'ng tugashida $\eta_{e\,max}$ eng yuqori qiymatga erishadi, bunda θ_{II} = 25...30° bo'ladi.

Sikldagi yonish jarayoni fazalarining joylashishini o'zgartirishni asosiy vositasi bo'lib, o't oldirishning ilgarilatish burchagi $\varphi_{o'.il}$ ni boshqarish hisoblanadi.

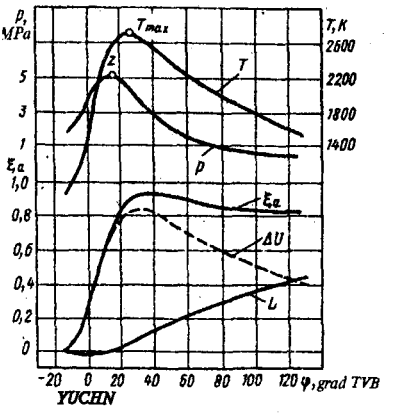
Asosiy fazada issiqlik ajralib chiqish tezligi, *dvigatelning bikrli ishlashiga* bog'liq bo'lgan bosimning ortish jadalligi $dp/d\varphi$ ni belgilaydi.

Yonilg'ini vaqt bo'yicha yonib tugashini 3.19-rasmda ko'rsatilgan $\chi_x = Q_x / Q_{syo}$ egri chiziq baholaydi. Issiqlik ajralib chiqish koeffitsiyenti χ_x joriy vaqtda ajralib chiqqan issiqlik miqdori (Q_x) ni siklda yonilg'i bilan kiritilgan issiqlik (Q_{syo}) ga bo'lgan nisbatiga teng. Q_x issiqlikning bir qismi issiqlik uzatish orqali atrof-muhitga beriladi, asosiy qismi Q_a esa (faol issiqlik ajralib chiqish) ishchi jismni ish bajarishiga $\left(L = \int_c^{\varphi} pdV\right)$ va uning ichki energiyasi $(\Delta U_{c\text{-}\varphi})$ ni orttirishga sarflanadi.

Faol issiqlik ajarlib chiqish koeffitsiyenti quyidagi ifoda orqali aniqlanadi.

$$\xi_a = \frac{Q_a}{Q_{s\,yo}} = \frac{\int_c^{\varphi} pdV + \Delta U}{Q_{syo}}.$$

Shunday qilib, $\xi_a = f(\varphi)$ funksiya yonish jarayoni va ajralib chiqqan issiqlikdan siklda foydalanish orasidagi bog'liqlikni belgilaydi. ξ_a koeffitsiyenti indikator diagramma bo'yicha murakkab bo'lmagan termodinamik hisoblashlar yo'li bilan aniqlanadi.



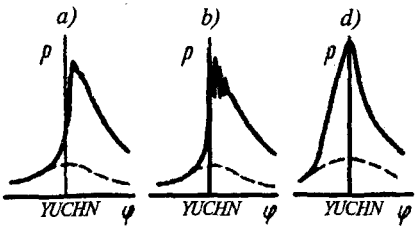
3.20-rasm. **Tirsakli valning burilish burchagiga bog'liq holda** p, T, ξ_a, va ΔU, L larni o'zgarishi ($\varepsilon = 9{,}0$; $n = 3000\ \text{min}^{-1}$; $\alpha = 1{,}0$; drossel to'liq ochiq).

Masalan, 3.20-rasmda ΔU, L va ξ_a larni hisoblash orqali aniqlangan natijalari ko'rsatilgan. Yonishning ikkinchi fazasini tugash paytida (z nuqta) faol issiqlikni 75% ($\xi_a = 0{,}75$) ajralib chiqqan. O'rtacha eng yuqori haroratga (T_{max} nuqta) z nuqtadan 12° o'tgandan so'ng erishiladi va ushbu vaqtda $\xi_a = \xi_{amax} = 0{,}915$ bo'ladi, $Q_{s\,yo}$ issiqlikni qolgan 8,5% devorlar orqali uzatishda va chala yonishda yo'qoladi. Yuklamaning asta-sekin kamayishi bilan ξ_{amax} kamaya boradi va YUCHN dan keyin erishadi.

3.4.4. UCHQUNDAN O'T OLDIRILADIGAN DVIGATELLARDA YONISH JARAYONINING BUZILISHLARI

Detonatsiyali yonish. Alanga ko'lami oxirgi navbatda yetib boradigan aralashmaning bir qismi siqish natijasida (yonishdan bosim ortishi) o'z-o'zidan alanga olish haroratidan yuqori bo'lgan haroratgacha isiydi. Shunga qaramasdan me'yordagi yonishda aralashmaning oxirgi ulushini o'z-o'zidan alangalanishi sodir bo'lmaydi, chunki uni rivoj olishi uchun vaqt yetmaydi. Agar o'z-o'zidan alangalanishning kechikish vaqti juda qisqa bo'lsa, siqish (qisilish) natijasida zaryadning so'nggi ulushida alangalanish o'chog'i sodir bo'ladi, u holda bunday o'z-o'zidan alangalanish portlash xususiyatiga ega bo'lishi mumkin. Bunda zaryad bo'ylab zarbali to'lqinni ro'y berishi va tarqalishi mumkin, u o'z tomonidan unga yaxshi tayyorlangan aralashmani o'z-o'zidan alangalanishiga imkon tug'diradi.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelda zaryadning so'nggi ulushini o'z-o'zidan hajmiy alangalanishidan keyin zarbali to'lqinning paydo bo'lishini kuzatilishi *detonatsiyali yonish* deb ataladi. Zarbali to'lqin tezligi 1500 m/s ga erishishi mumkin, bu turbulent alanga ko'lamining tarqalish tezligidan bir necha marta ortadi.



3.21-rasm. **Uchqundan o't oldiriladigan dvigatel yonish jarayonini buzilishidagi indikator diagramma:** *a* — kuchsiz detonatsiya; *b* — kuchli detonatsiya; *d* — barvaqt alangalanish.

Yonish kamerasi devorlaridan zarbali to'lqinni qaytishida metallning jarangli tovushi paydo bo'ladi, u tashqi detonatsiyani sodir bo'lishiga xizmat qiladi. Detonatsiyali yonishdagi indikator diagrammada bosimning tebranishi qayd qilinadi, uning amplitudasi va chastotasi detonatsiyani jadalligiga bog'liq bo'ladi (3.21-a, b rasm).

Kuchli detonatsiyada taqillash ovozi baland bo'ladi, yonish mahsulotlarining parchalanishi ortadi, dvigatel quvvati pasayadi, ishlatilgan gazlarda esa qora tutun paydo bo'ladi.

Dvigatelning kuchli detonatsiyada (3.21-b rasm) ishlashi ayrim detallarning issiqlik va mexanik yuklanishlarini ortishi bilan bog'liq, natijada porshenlar qirrasi va silindrlar ust yopmasining qistirmasi, shamlarining elektrodlari kuyishi mumkin. Zarbali to'lqinlar silindrning yuqori qismi sathidagi moy pardasini buzadi va detonatsiyada silindrni yeyilishi jadallashadi. Dvigatelning detonatsiya bilan uzoq muddat ishlashiga yo'l qo'ymaslik kerak. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda detonatsiya ε ni orttirishga va qo'shimcha havo kiritishga asosiy to'siq bo'lib hisoblanadi.

Detonatsiyani yo'qotishga zaryadning so'nggi ulushini o'z-o'zidan alangalanishini kechikish davrini oshiradigan quyidagi omillar yordam beradi.

Oktan soni yetarlicha yuqori bo'lgan yonilg'ilardan foydalanish. Benzinning yengil fraksiyalarini oktan soni o'rtacha va og'ir fraksiyalariga qaraganda kam. Avtomobilning jadal tezlashishida (drossel to'smaqopqoq tez ochilganda) og'ir fraksiyalar silindrga kechikib tushadi, bu tezlashishni boshlanishida silindrga tushgan yonilg'ining oktan sonini vaqtincha kamayishi tufayli detonatsiyani paydo bo'lishiga olib keladi.

O't oldirishni ilgarilatish burchagini kamaytirish. Bunda alanga ko'lami oldida joylashgan aralashmani kam qisilishiga olib keladigan siklni eng yuqori bosimi va bosimning ortish darajasi kamayadi.

Aylanishlar chastotasini oshirish. Ushbu holatda alangani asosiy ko'lamining tarqalish tezligi ortadi va mos holda zaryadni so'nggi qismlarida alanga olish jarayonlarini rivojlanishiga kam vaqt qoladi. Boshqa tomondan ishchi aralashmadagi IG miqdorining ko'pligi tufayli ushbu jarayonlarni jadalligi susayadi. Ushbu sabablarga ko'ra, n ni ortishi bilan detonatsiya sodir bo'lish ehtimolligi pasayadi.

Dvigatel yuklamasi. Drossellash zaryadni yonish jarayonida bosim va haroratni pasayishi, γ ni esa ortishi bilan bog'liq. Buning natijasida yuklamani kamayishida dvigatelni detonatsiyaga moyilligi kamayadi.

Konstruktiv tadbirlar. Detonatsiyani paydo bo'lish ehtimolligini kamaytirishga ε ni, silindr diametrini kamaytirish, zaryadni turbulizatsiyalanishini kuchaytirish, zaryadning so'nggi ulushini sovishini yaxshilanishi, alanga ko'lamini o't oldirish shamidan yonish kamerasini eng olis qismigacha o'tadigan yo'lini kamaytirish yordam beradi (masalan, ikki shamda o't oldirishda).

Barvaqt alangalanish. O't oldirish shamining markaziy elektrodini, chiqarish klapani kallagini qizigan sathlardan qizishi tufayli, shuningdek, qurumni yog'dusiz qismidan siqish jarayonida uchqun paydo bo'lmasdan oldin aralashma alangalanishi mumkin. Qizigan sathlardan $(t_w > 700...800^{\circ}C)$ alangalangan aralashma keyinchalik normal tezlikda yonadi, biroq bunday alangalanish payti boshqarib bo'lmaydigan holatda bo'ladi va jarayonni o'z-o'zidan rivojlanishi bilan bu ilgariroq boshlana boshlaydi. Barvaqt alangalanishning tashqi belgilarini bilish qiyinroq, chunki uni kuzatadigan shovqin eshitilmaydi.

Barvaqt alangalanish ro'y berganda bosim va harorat keskin ko'tariladi, ularni eng yuqori qiymatlari porshen YUCHN ga yetmasdan sodir bo'lishi mumkin (3.21-d rasm), bu dvigatelning quvvatini pasayishiga va uni qizishiga olib keladi. Barvaqt alangalanishning boshlanganligini o't oldirishni uzib qo'yish bilan tuzatish mumkin emas, shuning uchun bunday holatda drossel to'sma-qopqog'ini tezda yopish kerak, bo'lmasa porshenni kuyishi natijasida dvigatel ishdan chiqishi mumkin.

Barvaqt alanga olishning paydo bo'lishini oldini olish uchun o't oldirish shamlarining kalil soni yetarlicha yuqori bo'lmaganda dvigatelni foydalanishga yo'l qo'ymaslik kerak.

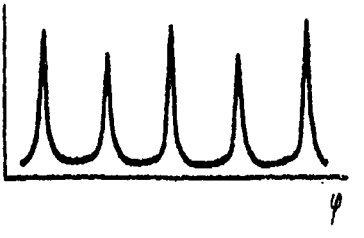
O't oldirish uzib qo'yilganda siqishdan alangalanish. Ayrim hollarda yaxshi qizigan karbyuratorli dvigatel, o't oldirilishi uzib qo'yilganda ham to'xtamasdan nobarqarorligi va titrashi yuqori bo'lgan holda salt yurishni past aylanishlar chastotasida ishlashi davom etadi. Ushbu hodisa yuqori bo'lmagan aylanishlar chastotasida $\left(n = 300...400\,\text{min}^{-1}\right)$, $\varepsilon > 8{,}5$ bo'lganda siqishning oxirida aralashma harorati o'z-o'zidan alanga olish uchun yetarli miqdorda bo'lganda sodir bo'ladi. Aralashmani siqish natijasidagi alangalanishida dvigatel ishlashini bartaraf qilish uchun o't oldirishni uzib qo'yish bilan birgalikda ayrim karbyuratorlarda salt yurish tizimi orqali yonilg'i berish avtomat ravishda to'xtatiladi.

3.4.5. UCHQUNDAN O'T OLDIRILADIGAN DVIGATELLARDA YONISHGA TA'SIR QILUVCHI OMILLAR

Dvigatellardagi yonish jarayonini tahlil qilish uchun ko'pincha indikator diagrammadan foydalaniladi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarni indisirlash ketma-ket sikllardagi yonishni kechishi barqaror bo'lmasligini ko'rsatadi, ya'ni ularni yonish doirasidagi indikator diagrammalari farqlanadi

Miqdorlarning nomlanishi	p_z miqdori		
	eng kami	o'rtachasi	eng ko'pi
p_z, MPa	3,86	5,25	6,13
T_{max}, K	2520	2720	2800
θ_I, grad	17	15	9
θ_{II}, grad	30	29	30
$\xi_{a\,max}$	0,89	0,874	0,870
η_i	0,392	0,396	0,37

(3.22-rasm). Sikldan siklga mos holda p_z, $dp/d\varphi$, T_{max} larning qiymatlari va yonish fazalarini davomiyligi turlicha bo'ladi. Ketma-ket 100 ta siklning indikator diagrammasini o'zgarish xususiyati 3.3-jadvalda keltirilgan ($\varepsilon = 9{,}0$; drossel to'liq ochiq, $\alpha = 1$, $n = 3000$ min^{-1}).



3.22-rasm. **Ketma-ket sikllarning nobarqarorligi** ($\varepsilon = 6{,}2$; $n = 1500$ min^{-1}; $\alpha = 1{,}23$; drossel to'liq ochiq).

Ketma-ket sikllarning nobarqarorligining asosiy sababi yonishni boshlang'ich o'chog'ini rivojlanish sharoitini tasodif xususiyatliligi hisoblanadi (α va γ larning qiymatlari, o't oldirish shami doirasida turbulentlikni jadalligi va masshtabi, uchqun razryadining ko'rsatkichlari).

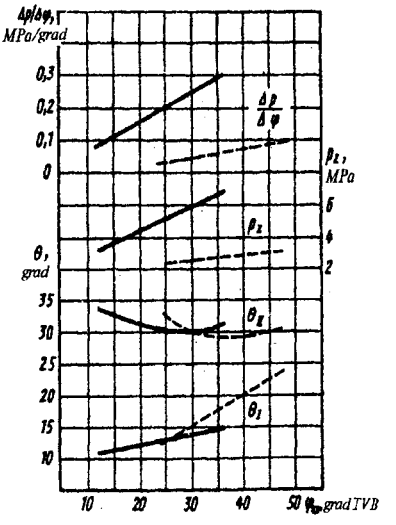
Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarning bunday o'ziga xosligi yonish jarayoni xususiyatini tahlil qilish va baholashni qiyinlashtiradi, chunki bunday tahlil qilish uchun ba'zi o'rtacha indikator diagrammani to'g'ri tanlashni talab qiladi.

O't oldirishni ilgarilatish burchagi $\varphi_{o'.il}$ yonish jarayoniga ancha ta'sir qiladi (3.23-rasm). Dvigatelning har bir rejimiga yonish jarayonini asosiy fazasi θ_{II} YUCHN ga iloji boricha yaqin joylashishiga va dvigatel eng yaxshi samara bilan ishlashiga mos keluvchi qulay o't oldirishni ilgarilatish burchagi $\varphi_{o'.il\ opt}$ bo'ladi, ya'ni ushbu rejim uchun eng yuqori quvvatga erishadi, demak eng kam yonilg'i sarfiga ega bo'ladi. $\varphi_{o'.il\ opt}$ yonish jarayonining fazalarini (birinchi galda θ_I) davomiyligiga bog'liq bo'ladi; u qancha ko'p bo'lsa, aralashmani shuncha oldin yondirish kerak. Shu bilan birga $\varphi_{o'.il}$ ni kattalashishida aralashma haroratini va bosimini pasayishi va uchqun energiyasini birmunchaga kamayishi tufayli uning alangalanish sharoitini yomonlashishi θ_I ni ham o'sib borishiga olib keladi. Shuning uchun aralashmani anchagina suyuqlashishida yoki kuchli drossellashda $\varphi_{o'.il\ opt}$ ketma-ket sikllardagi alanga-

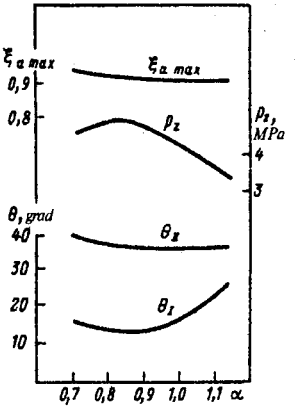
lanish va yonishni barqarorligiga bo'lgan talablarni inobatga olgan holda tanlanadi, ya'ni $\varphi_{o'.il} < \varphi_{o'.il\,opt}$ o'rnatiladi. Drossel to'liq ochiq bo'lgan holda ishlaganida $\varphi_{o'.il}$ ning kattalashishi, p_z va T_{max} larni o'sishi detonatsiyani sodir bo'lish xavfi bilan bog'liq.

O't oldirish tizimi dvigatelning ishlash rejimiga va uning harorati holatiga bog'liq holda $\varphi_{o'.il}$ ni avtomat ravishda o'zgarishini ta'minlaydi.

Aralashma tarkibi. α ning o'zgarishi yonilg'i yonayotgandagi issiqlik miqdoriga va uni ajralib chiqish tezligiga ta'sir qiladi. Aralashma tarkibi IG zaharliligiga ham kuchli ta'sir qiladi (6.1. ga qarang). $\alpha = 0{,}85...0{,}95$ bo'lganda θ_I, θ_{II} va $\xi_{a\,max}$ lar eng kichik, p_z va p_i lar esa eng yuqori qiymatlarga erishadi (3.24-rasm), chunki silindrda ko'p miqdorda issiqlik ajralib chiqadi, yonish tezligi va molekular o'zgarish koeffitsiyenti qiymati yuqori bo'ladi. Benzin — havo aralashmasini suyuqlashishida η_i ning ortishi kuzatiladi, lekin $\alpha > 1{,}1...1{,}2$ bo'lganda alangalanish va yonish jarayonlari keskin yomonlashadi va ketma-ket sikllarning notekisligi sezilarli darajada ortadi. Gazsimon yonilg'ilar, ayniqsa vodorod kengroq alangalanish oralig'iga ega, shuning uchun ularning ancha suyultirilgan aralashmalarini ham samarali yoqishga imkon beradi. Masalan, yonilg'i sifatida vodoroddan foydalanilsa dvigatel $\alpha \approx 2{,}5$ bo'lganda $\eta_{i\,max}$ bilan ishlaydi va $\alpha \approx 1{,}0$ bo'lganda $p_{i\,max}$ ga erishadi. α qiymatini p_i va η_i larni eng ko'p miqdoriga mos keladigani dvigatel ishining yuklama va tezlik rejimlariga bog'liq. Dvigatel ishlayotganda α ni o'zgarishi yonilg'i uzatish tizimi bilan avtomat ravishda ta'minlanadi (5.1. ga qarang).



3.23-rasm. **Yonish jarayoni fazalarining davomiyligiga $\varphi_{o'.il}$ ning ta'siri**
($\varepsilon = 9{,}5$; $n = 2000\,min^{-1}$; $\alpha = 1{,}0$; ——— — drossel to'liq ochiq; — ----- - $\eta_v = 0{,}47$).

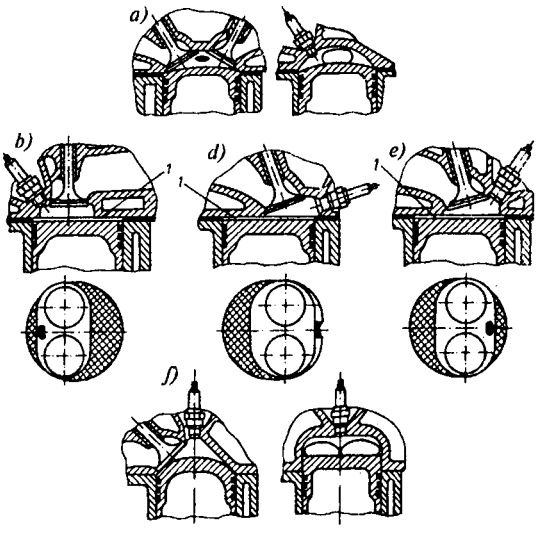


3.24-rasm. **Yonish jarayoni fazalarini davomiyligiga α ning ta'siri** ($\varepsilon = 8{,}9$; $n = 3000\ min^{-1}$; drossel to'liq ochiq).

Yuklama. Tezlik rejimini o'zgarmas holatida drossellash sikl bosimini pasaytiradi va γ ni oshiradi, bu alangalanish sharoitini yomonlashtiradi, shuning uchun θ_1 ko'payadi. Drossellash ko'proq bo'lganda sikllar ketmaketligining notekisligi ham yomonlashadi, bu aralashmaning uchqun orqali alangalanishini yaxshilashda uni quyuqlashtirish kerakligini keltirib chiqaradi. Kichik yuklamalarda yonishning yomonlashishi uchqundan o't oaldigan dvigatellarning asosiy kamchiligi hisoblanadi, chunki u yonilg'i sarfini ortishiga va ishlatilgan gazlar bilan *CO* va *CH* larni ko'p miqdorda chiqarib tashlashga olib keladi.

Aylanishlar chastotasi. n ni ortishida klapan tirqishidagi va siqib chiqaruvchidan oqib chiqishida (o'tishdagi) aralashma tezligi ortadi, shuning uchun zaryadni turbulizatsiyalanishi kuchayadi. Bu aralashma hosil qilishni yaxshilanishi bilan birga $\theta_{II} \approx$ const bo'lishiga olib keladi. θ_1 ni davomiyligiga kelsak, u ko'payadi, shuning uchun n ni ortishida $\varphi_{o'.il}$ ni ko'paytirish talab qilinadi. Boshqa tomondan n ni ortishi bilan yonib tugash fazasi θ_{III} birmunchaga cho'ziladi, biroq bu devorda issiqlikni nisbiy yo'qolishini kamayishi bilan o'rnini qoplaydi. Umuman n ni ortishi bilan yonish samarasi yaxshilanadi.

Yonish kamerasining shakli. Kiritish jarayonida paydo bo'ladigan turbulizatsiyani saqlash yoki siqish taktini oxirida zaryadni silindrdan yonish kamerasiga oqib o'tishida kuchaytirish mumkin. Bunga silindrlar kallagi va porshen tubi sathlari orasidagi tirqish ko'rinishidagi siqib chiqaruvchi yordam beradi. Dvigatelning umumiy konstruktiv sxemasiga bog'liq holda yonish kameralariga turlicha ixcham shakl beriladi (3.25-rasm), bunda



3.25-rasm. **Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar yonish kameralarining sxemasi:** *a* — yarim doira; *b* — tekis ovalli; *d* — ponasimon; *e* — yarim ponasimon; *f* — chodirsimon; 1 — siqib chiqaruvchi.

siqib chiqaruvchini, alanga ko'lami o't oldirish shamidan oxirgi galda yetadigan doiralarda zaryadni turbulizatsiyalanishini kuchaytiradigan qilib joylashtiriladi. Siqib chiqaruvchilarni bunday joylashtirilishi aralashmani yonib tugashini tezlashishiga yordam beradi. Siqib chiqaruvchilarning yuzasi, odatda, porshen yuzasini 30...40% dan ortmaydi, chunki siqib chiqaruvchilarni miqdori ko'p bo'lganda unda joylashgan tezda soviydigan va yomon yonadigan aralashmani nisbiy miqdori ko'p bo'ladi, bu issiqlik ajralib chiqishni yomonlashishiga va η_i ni pasayishiga olib keladi.

O't oldirish shami joylashadigan o'rnini tanlashda uning doirasi IG dan yaxshi tozalanishini ta'minlashga intiliniladi, buning uchun kiritish klapani orqali kiradigan aralashma oqimining bir qismi unga yo'naltiriladi. Bundan tashqari olis nuqtalarigacha bo'lgan alanga yo'lini kamaytirish uchun o't oldirish shamini iloji boricha yonish kamerasini o'rtasiga yaqin qilib joylashtirish kerak.

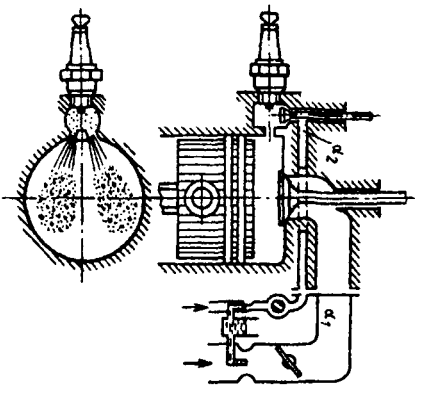
Masalan, o't oldirish shami markazda joylashgan chodirsimon kamera (3.25-rasm) alanga ko'lami sathining kattaligini va mos holda issiqlik ajralib chiqish tezligi yuqoriligini ta'minlaydi. Bunday kamerada joylashgan to'rtta klapan katta aylanishlar chastotasida η_v ning yuqori miqdorini olishga imkon beradi, shuning uchun u ko'proq yengil va sport avtomobil dvigatellarida ishlatiladi.

Siqish darajasi. ε qiymati qancha katta bo'lsa, uchqun razryadi paytida mos holda aralashmaning bosimi va harorati shuncha yuqori bo'ladi, bu uning energiyasining ortishiga yordam beradi. Omilning afzalligini ikkinchisi γ ni kamayishi hisoblanadi. Ushbu sababga ko'ra ε ortishi aralashmaning alangalanish sharoitini yaxshilaydi (θ_i qisqaradi) va aralashmaning suyultirish imkoni oralig'ini kengaytiradi. Yonish jarayonidagi bosim va haroratni katta qiymatlari asosiy fazada yonish tezligini ortishiga va uning tugashini YUCHN ga yaqinlashishiga sharoit yaratadi. Bularning barchasi ε ortishi bilan $\varphi_{o'.il.opt}$ ni kamayishiga, η_i ni esa ortishiga olib keladi. Boshqa tomondan ε ning katta qiymatlarida yonish kamerasi sathini uning hajmiga bo'lgan nisbati ortadi, bu devor yaqinidagi qatlamda va siqib chiqaruvchida aralashma miqdorining ortishini bildiradi, ya'ni uchinchi fazada yonib tugaydigan aralashmaning qismi ko'p bo'ladi. Detonatsiya ε ni oshirishga asosiy to'siq bo'lib hisoblanadi.

Aralashmaning qatlamlarga ajralishi. Ishchi zaryadning qatlamlarga ajralishi yonish jarayonini nazariy nuqtayi nazaridan yaxshilanishiga yordam berishi uchun o't oldirish shami doirasida quyuq aralashma bo'lishi, undan uzoqlashgan sari esa suyuq aralashma bo'lishi kerak. Tajribalarning ko'rsatishicha, bir bo'shliqlikli yonish kameralarida barcha rejimlarda kerakli darajada qatlamlarga ajratish juda murakkab. Forkamera-mash'alli usulda o't oldiriladigan ajratilgan kameralar birmuncha tatbiq etilgan (3.26-rasm).

Hajmi katta bo'lmagan old kamerada (forkamerada) $\left(V_{ok} / V_{yo} = 0,03...0,2\right)$ o't oldirish shami va katta bo'lmagan kiritish klapani o'rnatiladi, ushbu klapan orqali juda quyuqlashgan aralashma beriladi (α_2).

Asosiy kamera alohida kiritish klapaniga ega, undan suyultirilgan aralashma (α_1>1,5) kiradi. Faol alangali gazlar mash'ali forkamerani soplo teshiklaridan asosiy kameraga chiqarib tashlanadi va bu undagi suyuq aralashmani ishonchli yoqilishni va samarali yonishini ta'minlaydi. Yonish jarayonini bunday tashkil etish tejamkorligi va quvvati yaxshi bo'lgan ko'rsatkichlarni olishga imkon beradi. Shu bilan birga forkamera mash'alli o't oldiriladigan dvigatellar murakkabligini yuqoriligi, o't oldirish shamlarini ishlash sharoitini yomonligi, forkamera aralashmasini silindrlararo notekis taqsimlanishi bilan farqlanadi.



3.26-rasm. **Forkamera-mash'alli o't oldiriladigan karbyuratorli dvigatelning sxemasi.**

3.5. DIZELLARDA ARALASHMA HOSIL QILISH VA YONISH JARAYONLARI

3.5.1. PURKASH VA TO'ZG'ITISH

Dizelda yonilg'ining uzatish jarayoni. Purkash tavsifi. Haqiqiy siklni amalga oshirish uchun siqish jarayonining oxirida (porshen YUCHN kelmasidan) yonilg'i tizimi orqali yonish kamerasiga yonilg'i berish boshlanadi. Silindrga yonilg'ini purkash (oqishi) to'zitkich oldidagi kanal va yonish kamerasidagi bosimlar farqi — purkash bosimi ta'sirida forsunkani to'zitkichida sodir bo'ladi. To'zitkichning o'tish (drossellovchi) kesimi va purkash bosimi yonilg'i uzatish jarayonida o'zgarib turadi, shuning uchun yonilg'ining oqish tezligi va massalik (hajmiy) sekundli sarfi ham o'zgarib turadi. Vaqt (tirsakli valning burilish burchagi) bo'yicha ularning miqdori va o'zgarish xarakteri yonilg'i tizimi konstruksiyasiga, uning ishlash rejimiga va yonilg'i xususiyatiga bog'liq bo'ladi.

Ishchi siklning navbatdagi jarayonlarini samarali kechishi uchun dizelda yonilg'ini uzatish quyidagi talablarni qoniqtirishi kerak.

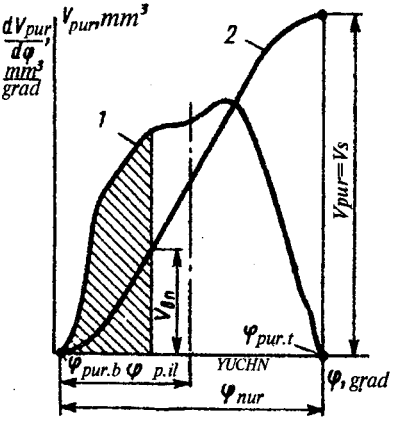
Yonilg'i purkalishi siklning belgilangan fazasi davomida amalga oshirilishi kerak. Purkashning ilgarilatish burchagi bilan xarakterlanadigan uzatishni boshlanishi va purkashning davomiyligiga bog'liq bo'lgan uzatishning oxiri yonilg'i issiqligidan to'laroq foydalanishni ta'minlashi kerak. To'liq yuklanishlarda purkashning ilgarilatish burchagi avtotraktor dvigatellari uchun 5...30°, yonilg'i uzatishni davomiyligi tirsakli val burilishini 20...45 gradus burchagini tashkil etishi kerak.

Dizelning barcha ish rejimlarida purkashning boshlanishi va tugashi paytini eng ma'qulini har doim ham ta'minlash imkoni bo'lmasligini ko'rsatib o'tish

kerak. Ushbu holatda ishlatish rejimlarida ko'proq uchraydgan eng qulay (ma'qul) purkash fazasini o'rnatishga intiliniladi. Purkashda yonilg'ini yonish kamerasida to'zishi va taqsimlanishi talab qilingan sifatda ta'minlanishi kerak.

Bu yonilg'i yonish kamerasiga tushgandan so'ng navbatdagi fizik va kimyoviy jarayonlarni tezlikda kechishi bilan shartlanadi: isishi, bug'lanishi, aralashishi, oksidlanishi va boshqalar.

Purkash jarayonida yonilg'i uzatishning hajmiy tezligini o'zgarishi, quyida purkash tavsiflari turlarini ko'rib chiqishda bayon qilingan ma'lum shart-sharoitga javob berishi maqsadga muvofiq hisoblanadi.



3.27-rasm. **Purkashning differensial (1) va integral (2) tavsiflari.**

Yonilg'ini sikllik uzatilishi dvigatelning yuklama va tezlik rejimlariga mos kelishi, barcha sikllarda va silindrlarda yonilg'i uzatishning kechish jarayonini bir hilligi ta'minlanishi kerak.

Purkash jarayonining ko'rsatkichlarini baholash va to'zitkichdan tushgan yonilg'i miqdorini aniqlash uchun purkashning integral va differensial tavsiflaridan foydalaniladi. Purkashning differensial tavsifi forsunka to'zitkichidan yonilg'ini hajmiy (yoki massali) uzatish tezligini vaqtga yoki yuqori bosimli yonilg'i nasosini kulachokli valining burilish burchagiga bog'liqligini ko'rsatadi. Dvigatelning ishchi siklini tahlil qilishda purkashning differensial tavsifi dvigatel tirsakli valini burilish burchagiga bog'liqlik ko'rinishida quriladi (3.27-rasm, 1-egri chiziq).

Obssissa o'qi bo'ylab tirsakli valning burilish burchagi ordinata o'qi bo'ylab tirsakli valning burilish burchagini har bir gradusida uzatilgan yonilg'ining hajmiy miqdori joylashtirilgan $(dV_{pur}/d\varphi)$; $\varphi_{p.b}$, $\varphi_{p.t}$, φ_{pd}, $\varphi_{p.il.}$ — yonilg'i purkashning boshlanish va tugash payti, davomiyligi va ilgarilatish burchagi.

Purkashning integral tavsifi forsunkaning to'zitkichidan uzatishni boshlanishidan istalgan paytgacha kirgan yonilg'i miqdorini ko'rsatadi. Agar purkashning differensial tavsifini bog'liqligi burilish burchagi bilan $f(\varphi)$ belgilansa, u holda purkalgan yonilg'ining hajmi quyidagi ifodaga teng bo'ladi:

$$V_{pur} = \int_{\varphi_{p.b}}^{\varphi} f(\varphi)\, d\varphi. \qquad (3.12)$$

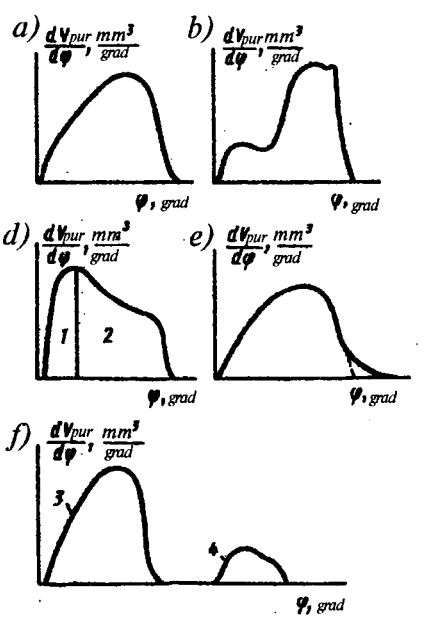
V_{pur} miqdorning chiziqli tasviri 3.27-rasmda shtrixlangan yuzani bildiradi,

purkashning integral tavsifi esa 2-egri chiziq bilan ko'rsatilgan. Bunda ordinata o'qi bo'ylab to'zitkichdan kirgan yonilg'ining hajmi V_{pur} qo'yiladi. $\varphi = \varphi_{n.m}$ bo'lgan holatda purkashning integral tavsifida, *sikllik uzatish* deb ataladigan, bir siklda dizel silindriga berilgan yonilg'ining umumiy miqdori olinadi $\left(V_{pur} = V_s\right)$. V_s. (mm^3 yoki sm^3) hajm dizelning ishlashini tezlik va yuklama rejimlari bo'yicha aniqlanadi. Yonilg'ining zichligi ρ_{yo} ma'lum bo'lganda sikllik uzatishni (m_g va g) quyidagi ifoda bilan aniqlash mumkin:

$$G_{syo} = \rho_{yo} V_s. \qquad (3.13)$$

Purkash tavsifi faqat to'zitkichdan kirgan yonilg'i miqdorini aniqlashga yordam berib qolmasdan haqiqiy fazalarni va purkash davomiyligini ham aniqlash mumkinligi 3.27-rasmdan ko'rinib turibti. Bundan tashqari, agar to'zitish teshiklarining ko'rsatkichlari ma'lum bo'lsa, berilgan purkash tavsifi va gidravlika ifodalari bilan (orqali) ushbu tezlikni belgilaydigan oqim tezligini va bosimlar farqini, oqib o'tadigan oqimning kinetik energiyasini hisoblash mumkin. Ko'rsatilgan hisoblarni bajarishda purkash jarayoni qator qismlarga ajratiladi va ular uchun oqimni sun'iy barqaror deb qabul qilinadi va barcha ko'rsatkichlarning o'rtachasi olinadi.

Purkash tavsiflarining o'ziga xos turlarini ko'rib chiqamiz (3.28-rasm).



3.28-rasm. **Purkashning differensial tavsiflarining turli (*a*...*d*) ko'rinishi.**

3.28-a rasmda keltirilgan purkash tavsiflarida yonilg'i uzatish tezligi bir tekis (monotonno) ko'tariladi va purkash birdan tugaydi. 3.28-b rasmdagi tavsif holatida uzatishning boshlanish qismida uzatiladigan yonilg'i miqdori 3.28-a rasmdagi tavsifga qaraganda kam. Yonilg'ini yonish kamerasi hajmiga tezligi kam darajada ortishi bilan uzatiladigan tavsifi dizellar uchun qo'llanishi ma'qul hisoblanadi.

3.28-d rasmdagi purkash tavsifida uzatish tezligi uzatishni boshlanishida katta, yonilg'ining ko'p qismi esa kamaya borish tezligi bilan purkaladi. O'sib boruvchi tezlik bilan uzatiladigan yonilg'i hajmiga 1, yuza, kamayib boruvchi tezlikga esa 2 yuza mos keladi.

3.28-e rasmdagi purkash tavsifida uzatishning oxiri cho'zilib ketgan, 3.28-f rasmdagi purkash tavsifi yonilg'ining asosiy (3-egri chiziq) va qo'shimcha (4-egri chiziq) purkashlariga ega. Qo'shimcha purkashni mavjud

bo'lishi maqsadga muvofiq emas, chunki YUCHN dan keyin uzatilgan yonilg'ini issiqligi kengayish chizig'ida ajralib chiqadi, shuning uchun undan samarali foydalanilmaydi. IG tutab chiqishi ham ortadi.

Yonilg'ining to'zitilishi. Oqimning mayda tomchilar sifatida to'zitilishi suyuqlik sathini keskin orttiradi. Hosil bo'lgan ko'p tomchilar sathini o'sha massaga ega bo'lgan yakka tomchi sathiga nisbati, tomchilar sonini taxminan kub ildiziga teng. To'zitish natijasida tomchilar soni $(0,5...20) \cdot 10^6$ miqdorga yetadi, bu sathlarni taxminan 80...270 martaga oshiradi. Sathlarning ortish harorati yuqori bo'lgan yonish kamerasida tomchi va havoni o'zaro issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarini tezlik bilan kechishini ta'minlaydi.

Yonilg'i oqimining parchalanishi va to'zitishni maydaliligi va bir jinsliligi tavsifi uchun qabul qilingan ko'rsatkichlar. Gaz bilan to'ldirilgan bo'shliqqa kichik o'lchamga ega bo'lgan teshikdan suyuqlik oqib chiqishida keyinchalik turli diametrli tomchilar hosil bo'lishi bilan oqim parchalanadi. Doira shaklidagi teshikdan turli tezlikda oqib o'tadigan oqimning parchalanishini ko'rib chiqamiz. To'zitiladigan teshikdan oqimni oqib o'tishida suyuqlik sathida boshlang'ich g'alayonlar sodir bo'ladi. Kichik tezlik bilan oqishida ushbu g'alayonlar o'q bo'yicha simmetrik tebranishlarni paydo bo'lishiga olib keladi, ularning amplitudasini o'sishi alohida-alohida tomchilarni hosil bo'lishi bilan oqimni uzadi. Tebranishlar amplitudasini o'sishi oqimni tashqi sathida hosil bo'lgan botiq va bo'rtiqda gaz bosimini turlicha kuchlari bilan shartlangan. Oqib chiqish tezligini ortishi bilan oqim barqarorligini yo'qotadi, to'lqinli parchalanishga olib keladigan uning o'qida to'lqinli deformatsiya ro'y beradi. Oqimning yanada tezroq oqib chiqishida to'zitish teshigi yaqinida ko'p miqorda tomchilarni hosil bo'lishi bilan parchalanish boshlanadi. Oqimning bunday parchalanishi *to'zitish* deb ataladi. Parchalanishni bir shakldan ikkinchi shaklga o'tish chegarasi oqib o'tish tezligiga, shuningdek, oqimni to'zitkichdagi harakatida unda sodir bo'ladigan suyuqlikni fizikaviy xususiyatiga va boshlang'ich g'alayonlanishga bog'liq.

3.28-rasmdan kuzatilishicha, purkash jarayonida yonilg'ini to'zitkichdan oqib chiqishda uning tezligi keng miqyosda o'zgaradi, shuning uchun oqim parchalanishining barcha uch turi ham bo'lishi mumkin. Uzatiladigan yonilg'ini ko'p qismini maydalanishi natijasida sodir bo'ladigan parchalanishni asosiy turi to'zitish hisoblanadi.

Ajratilgan yonish kamerali avtotraktor dizellarining ayrimlarini yonilg'i uzatish tizimlarida shtiftli to'zitkichlar qo'llaniladi. Ushbu holatda yonilg'i yonish kamerasiga shtift va to'zitkich korpusi sathlari hosil qilgan halqasimon tirqish orqali oqib kiradi. Ushbu yonilg'ining tirqishni boshlanish qismidagi harakati konus sathi bo'ylab ketadi. Yonilg'i sathida tebranishni paydo bo'lishi natijasida va konusni yon sathini kengayishi tufayli parda qalinligini kamayishida turli o'lchamdagi tomchilarni sodir bo'lishi bilan u parchalanadi.

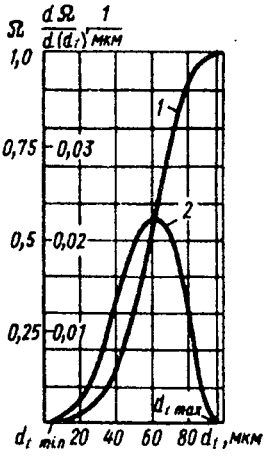
Suyuq oqimni to'zitish jarayonida aniqlovchi bo'lib, to'zitkichda yonilg'ini harakatida ro'y beradigan uni oqishidagi boshlang'ich g'alayonlanishlar hisoblanadi. Boshlang'ich g'alayonlanishlarning kattaligi to'zitkich konstruksiyasiga, uning kanallaridan va drossellovchi kesimlaridan yonilg'ini oqib chiqish tezligiga, to'zitkich teshiklarining geometrik shakliga, ularni chiqish qirralarining o'tkirligiga va suyuqlikning fizik xususiyatiga bog'liq.

Boshlang'ich g'alayonlanishlarni va aerodinamik qarshilik kuchini ta'siridan oqim ayrim zarrachalarga, iplarga, katta va kichik tomchilarga uziladi. Zarrachalar keyinchalik gazsimon muhitda harakatlanib aerodinamik va sirt taranglik kuchlari ta'siridan deformatsiyalanadi. Oxirgisi yonilg'i ipini va pardasini uzishga va tomchi hosil bo'lishiga yordam qiladi. O'lchamlari katta bo'lgan tomchilar zich gazsimon muhitda katta tezlikda harakatlanib, deformatsiyalana boshlaydi va aerodinamik qarshilik kuchi ta'siridan maydaroq tomchilarga bo'linib ketishi mumkin. Tomchilarni deformatsiyalanishiga va parchalanishiga sirt taranglik kuchi va qovushqoqlik qarshilik ko'rsatadi, shuning uchun maydalanish jarayoni barqarorlashadigan tomchi kuchi parchalanishini keltirib chiqaradigan kuchdan ko'p bo'lgunicha davom etadi.

Yonilg'i zarrachalarining harakat tezligi oqim kesimi bo'yicha va to'zitishni ayrim paytlaridaturlichav bo'ladi, oqim zarrachalarini, pardalarni, iplarni va tomchilarni yonish kamerasi hajmidagi harakatlanish sharoiti ham farqlanadi. Natijada tomchilar diametrini keng spektri hosil bo'ladi. To'zitishning sochilishini, olinadigan umumiy yuzani va tomchilar sonini baholash uchun o'rtacha diametrdan foydalaniladi. O'rtacha hajmiy d_{haj} va tomchini Zauter bo'yicha o'rtacha diametri d_z ko'proq qo'llaniladi. Tomchining o'rtacha hajmiy diametri to'zitishning maydaligini va hosil bo'ladigan tomchilarning haqiqiy sonini baholash uchun ishlatiladi. Tomchilar soni va haqiqiy hamda o'rtacha o'lchamli tomchilar hajmlarining yig'indisini tenglik sharoitidan kelib chiqqan holda u aniqlanadi. Zauter bo'yicha tomchilarning o'rtacha diametri ularning haqiqiy va o'rtacha o'lchamlari sathlari yig'indisi va hajmlari yig'indisini tenglik sharoitidan kelib chiqqan holda aniqlanadi. Demak, tomchining Zauter bo'yicha o'rtacha diametri to'zitilgan oqimdagi tomchilarni isishi va bug'lanishini hisoblash uchun qo'llanilishi mumkin, chunki haqiqiy va o'rtacha tomchilarning isitiladigan hajmi va issiqlik qabul qiluvchi sathi bir xil bo'ladi. Tomchilarning o'rtacha diametrini kichiklashishi yonilg'ini maydaroq tomchilarga to'zitilganligini ko'rsatadi.

O'rtacha diametr to'zitishning bir jinsliligini yetarlicha to'liq baholamaydi. O'rtacha diametrni bir xil qiymatini haqiqiy o'lchamlari keng oraliqda bo'lgan tomchilar va diametri o'rtacha diametrga teng bo'lgan tomchilar uchun olish mumkin. Bir vaqtning o'zida to'zitilish maydaligini va bir jinsliligini baholash uchun tomchilar diametri va ularning nisbiy miqdori orasidagi chiziqli tasvir bog'liqligidan foydalaniladi. Bunday bog'liqlik *to'zitish tavsifi* deb ataladi. To'zitishni yig'indi tavsiflarini qurishda abssissa o'qi bo'ylab tomchilar diametri, ordinata o'qi bo'ylab esa, eng kichik diametrdan berilgan diametrgacha ega bo'lgan tomchilar hajmini barcha tomchilar hajmiga bo'lgan nisbati

qo'yiladi. Ushbu nisbatni Ω bilan belgilaymiz, demak diametri eng katta bo'lgan tomchilar uchun ularning yig'indi nisbiy hajmi birga teng bo'ladi. 3.29-rasmdagi $\Omega = f(d_t)$ bog'liqlikka 1-egri chiziq mos keladi. To'zitishning yig'indi tavsifi qancha tik va ordinata o'qiga yaqin joylashsa, yonilg'i to'zoni shuncha mayda va bir jinsli bo'ladi.



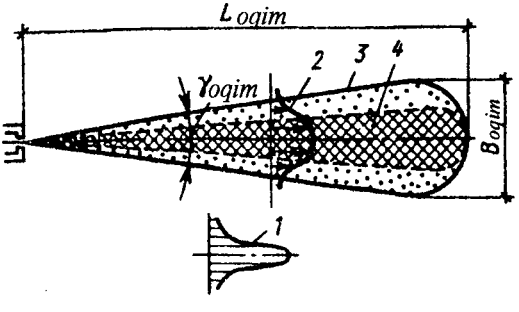
3.29-rasm. **To'zitishning yig'indi egri chizig'i va chastotlar egri chizig'i.**

Ordinata o'qi bo'ylab hajmlar o'rniga tomchilarning nisbiy massasini qo'yish mumkin. Purkash tavsifi tomchilarning nisbiy hajmlari chastotasini ularning diametriga bog'liqligi (3.29-rasmdagi 2-egri chiziq) egri chizig'i ko'rinishida ham quriladi. Ular to'zitishning yig'indi tavsifini differensiyalash bilan olinadi. Chastotalar egri chizig'ining eng katta qiymatini ordinata o'qi tomon siljishi to'zitishni maydaligini va bir jinsliligini yaxshilanishiga va maydaroq tomchilarning nisbiy hajmlarini kattalashishiga mos keladi.

To'zitilgan yonilg'i oqimining rivojlanishi va tarkibi. Purkashda harakatlanuvchi tomchilar majmuasi paydo bo'ladi. To'zitilgan oqim quyidagi geometrik o'lchamlari bilan baholanadi (3.30-rasm): yonilg'i oqimini uzunligi L_{oqim}, kengligi B_{oqim} va sochilish burchagi γ_{oqim}. Oqimning rivojlanishi uning oldingi ko'lami tezligi bilan ham baholanadi.

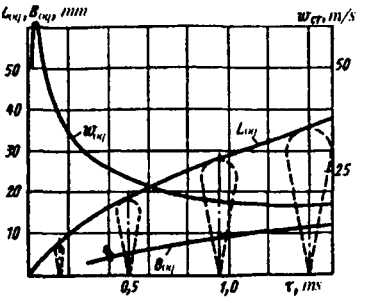
Oqimning tarkibi, ya'ni uning ko'ndalang kesimi va uzunligi bo'yicha yonilg'i taqsimlanishi muhim hisoblanadi. Tajribalarning ko'rsatishicha, tomchining oqimdagi taqsimlanishi, demak yonilg'ining miqdori (konsentratsiyasi) bir tekis emas. Purkashni boshlanishida hosil bo'lgan tomchilar harakatsiz zich gazsimon muhit bilan uchrashib, tezda tezligini yo'qotadi va keyinchalik gazning harakati natijasida siljiydi.

Gaz energiyani tomchidan olib oqimning o'q chizig'i bo'ylab siljiy boshlaydi. Keyingi tomchilar kam qarshilikka uchraydi va to'zitkich teshigidan chiqishida katta boshlang'ich tezlikka ega bo'ladi. Ular tomchilarga yetib olib, to'xtab qolganlarini oqimning tashqi qatlamiga siqib chiqaradi. Oqimning rivojlanish jarayonini oldingi ko'lamida tomchilarni tormozlanishi va ularni tashqi qatlamga siqib chiqarish uzluksiz sodir bo'ladi. Buning natijasida oqimni ko'ndalang kesimida



3.30-rasm. **To'zitilgan yonilg'i oqimining sxemasi.**

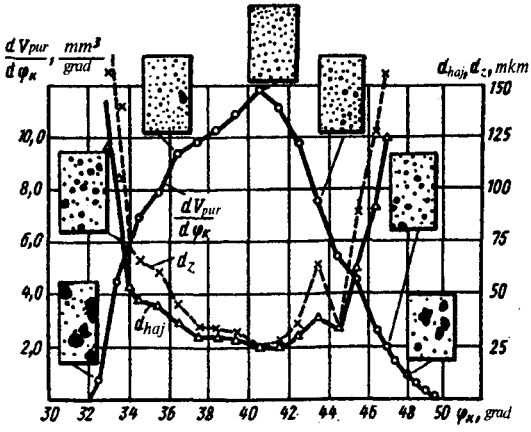
tomchilarning harakatlanish tezligi va ularning soni oqimning o'q chizig'iga yaqinlashgan sari ortaboradi. 3.30-rasmda oqimning ko'ndalang kesimidagi yonilg'ining taqsimlanishi (1-egri chiziq) va zarrachalarning harakatlanish tezligi (2-egri chiziq) ko'rsatilgan, shu yerning o'zida to'zitilgan oqimning tashqi 3 va ichki 4 qatlamlari shartli ravishda belgilangan.



3.31-rasm. **Vaqtga bog'liq holda oqimning geometrik ko'rsatkichlarini va uning oldingi ko'lamidagi tezligini o'zgarishi.**

Oqimning rivojlanishini baholaydigan hamma miqdorlar yonilg'ini uzatilishida vaqt bo'yicha o'zgaradi (3.31-rasm). Oqimning rivojlana borishi bilan uzunligi L_{oqim} va kengligi B_{oqim} kattalashadi. Oldingi ko'lamning tezligi boshlanish qismi (hududi)da keskin ortadi, so'ngra pasayadi. Agar uzatishning o'rta qismida yonilg'ini to'zitkichdan chiqish tezligi ortsa uzatishning shu qismida tezlikni ortishi kuzatilishi mumkin.

Turli omillarni to'zitishni maydaligiga, oqimni rivojlanishiga va tarkibiga ta'siri. Bunday omillarga purkash parametrlari (purkash tavsifi va to'zitish bosimi), to'zitkich konstruksiyasini o'ziga xosligi, yonilg'ini va gazsimon muhitning fizik xususiyati va yonilg'i tizimini ishlash rejimi kiradi. 3.32-rasmda purkash tavsifi, yonilg'i uzatishni turli vaqtiga mos keluvchi tomchilar izini mikrofotosurati va tajribalar orqali olingan o'rtacha diametrlari d_{haj} va d_z ni o'zgarishi keltirilgan. Purkash tavsiflari nasosning kulachokli valini burilish burchagiga bog'liq holda qurilgan. Tomchilarning o'rtacha diametri yonilg'ini oqib chiqish tezligiga nisbatan teskari bog'liqlikda bo'lishi rasmdan ko'rinib turibti. Demak, to'zitilishning maydaligiga va bir jinsliligiga, yonilg'i tizimining qator konstruktiv parametrlariga (plunjer diametriga, kulachokni profiliga, to'zitish teshiklarining umumiy yuzasiga va boshqalar), uning rostlanishi va ishlash rejimiga bog'liq bo'lgan purkash bosimi jiddiy ta'sir qiladi. Shuning uchun, masalan, to'zitilish yonilg'i purkashni boshlanish bosimi p_{fo} ni



3.32-rasm. **Purkash jarayonida yonilg'ining hajmiy uzatilishini va tomchilarning o'rtacha diametrining o'zgarishi.**

belgilaydigan forsunka prujinasini dastlabki tortilishiga ham bog'liq. p_{fo} ni ortishi bilan yonilg'ini to'zitilishi yaxshilanadi. Foydalanish paytida bosim p_{fo} pasayishi mumkin va bu esa tomchilar diametrini kattalashishiga olib keladi.

Purkagichning o'tish kesimlarida yonilg'i oqimining girdobi paydo bo'ladi. Uyurmalar va turbulent pulsatsiya energiyalarini ortishi oqimni maydalanishiga yordam beradi va to'zitilish maydaligini hamda bir jinsliligini yaxshilaydi, yonilg'i oqimini sochilish burchagini ham ko'paytiradi. Shuning uchun to'zitish teshigidagi chiqish qirrasi uchliroq bo'lganda to'zitish yaxshilanadi. Ishlatish jarayonida chiqish qirrasini tekislanishi sodir bo'ladi. Buning natijasida to'zitilish maydaligi birmunchaga yomonlashadi. To'zitilishga to'zitish teshigi uzunligi l_s ni uning diametri d_s ga bo'lgan nisbati ham ta'sir qiladi. $l_s / d_s = 3...4$ oralig'ida bo'lganda maydaroq to'zitilish olinadi. Uzunligi ko'p bo'lgan teshikda chiqish qirrasi bilan oqimda hosil qilinadigan g'alayonlanishlar so'nishga ulguradi. Teshiklar kichik bo'lgan holatda oqimni teshikdagi harakatida uni girdobi (turbulizatsiyalanishi) kamayadi.

Oqimning uzunligini belgilaydigan asosiy omillardan biri bu to'zitkichdan chiqadigan yonilg'ini kinetik energiyasi hisoblanadi. U purkash tavsifini (yoki to'zitish bosimi) va to'zitish teshigini o'tish kesimini shakli bilan aniqlanadigan yonilg'i massasiga va oqib o'tish tezligiga bog'liq, shuning uchun purkash tavsifi yonilg'i oqimini rivojlanishiga va uzunligiga jiddiy ta'sir qiladi. Purkashni boshlanishida uzatish tezligi qancha keskin ortsa, ushbu hududda oqim shuncha ko'p yo'l o'tadi.

To'zitkichning konstruksiyasi yonilg'ini to'zitilgan oqimiga jiddiy ta'sir qiladi. Ko'p oqimli to'zitkichni silindrsimon teshigidan oqib o'tishida yonilg'ining eng ko'p miqdori oqimni o'q chizig'ida bo'ladi. Shtiftli to'zitkich ichi bo'sh yon sathida yonilg'i miqdori ko'p bo'lgan oqimni beradi. Ko'p oqimli to'zitkich bo'lganda oqimning sochilish burchagi teshik uzunligi l_s ni uning diametri d_s ga bo'lgan nisbatiga bog'liq holda ozgina o'zgarishi mumkin. Shtiftli to'zitkichda ushbu burchakni, shtiftning so'nggi qismidagi konus burchagini kamaytirish yoki ko'paytirish bilan keng miqyosda o'zgartirish mumkin. Oqimning sochilish burchagini ortishi uning uzunligini kamaytiradi.

Teshikning sarflash koeffitsiyenti u_s ni ularning umumiy yuzasi f_s ($u_s f_s$ = const) ko'paytmasiga teng bo'lgan umumiy samarali o'tish kesimi o'zgarmas bo'lganda, to'zitish teshiklarining diametrini oshirish ko'p oqimli to'zitkichlarda oqim uzunligini ortishiga olib keladi. Bu massani ortishi, demak, oqib o'tayotgan yonilg'i kinetik energiyasini ortishi bilan tushuntiriladi. Bunda to'zitadigan teshiklar soni va mos holda yonilg'i oqimi qisqaradi. To'zitadigan teshikning ifloslanishida yoki qurum bosishida undan oqib tushadigan yonilg'i miqdori kamayadi va to'zitilgan oqimning uzunligi qisqaradi.

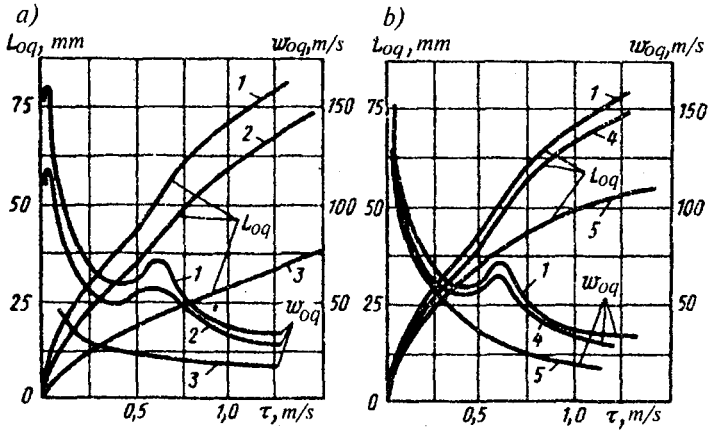
Yonilg'ining fizik xususiyati hisoblangan qovushqoqlik to'zitishni maydaligiga va bir jinsligiga ko'proq ta'sir qiladi. Qovushqoqlik oqimni to'zitkichdagi harakatida uning g'alayonlanishini kamaytiradi, qovushqoq-

likning ortishi bilan to'zitishni maydaligi va bir jinsliligi yomonlashadi. Sirt taranglik kuchlari oqim va tomchilarni parchalanishiga qarshilik qiladi, lekin pardani va iplarini maydalanishiga yordam beradi, shuning uchun ushbu kuchlarning ta'siri kamroq. Qovushqoqlik va sirt taranglik kuchlarini ortishi bilan oqimning sochilish burchagi va kengligi kamayadi hamda uning uzunligi ko'payadi. Yonilg'ining zichligi to'zitish ko'rsatkichlariga kam ta'sir qiladi. Bir xil sharoitda yonilg'i zichligini ortishi bilan oqim uzunligi ortadi. Oqimning to'zish va rivojlanish ko'rsatkichlariga yonilg'ining turi, dizelni ishga tushirishda esa atrof-muhitning harorati ta'sir qiladi. Atrof-muhit haroratini pasayishida yonilg'i tizimida bo'lgan yonilg'ining qovushqoqligi ortadi, bu dvigatelni qizigunicha to'zitilish maydaligini va bir jinsliligini yomonlashtiradi.

Yonilg'ini purkash paytida yonish kamerasidagi zaryadning fizik holati quyidagi miqdorlar bilan xarakterlanadi: purkashning boshlanishidagi bosim (2,5...5,0 MPa), harorat (750...1000 K), atrof-muhit zichligidan 12...30 marta ortadigan yonish kamerasidagi gazlar zichligi. Ko'rinarli yonishni boshlanishidan so'ng kamerada harorat va bosim keskin ortadi.

Yonilg'i purkaladigan gazsimon muhit zichligini ortishi tomchilarning harakatini aerodinamik qarshiligini orttiradi, bu katta o'lchamdagi tomchilarni maydalanishiga va oqimni parchalanishiga yordam beradi. Biroq gazsimon muhit zichligini ortishida tomchilar tez tormozlanadi va nobarqaror shaklga erishishga ulgurmasligi mumkin. Bunday tomchilar maydalanmaydi, chunki ularning tezligi kamayganida aerodinamik qarshilik kuchi tomchilarni ezilishiga qarshilik qiluvchi sirt taranglikni barpo qiladigan kuchdan kichik bo'lib qoladi. Tajribalarning ko'rsatishicha, gazsimon muhit zichligini ortishi bilan to'zishni maydaligi ozgina o'zgaradi. Gazsimon muhitning zichligi oqim uzunligiga, sochilish burchagiga va kengligiga jiddiy ta'sir qiladi. Muhitning zichligini ortishi bilan oqim uzunligi keskin qisqaradi (aerodinamik qarshilik kuchini ortishi tufayli). Ko'p oqimli to'zitkich holatida bir vaqtning o'zida oqimning uzunligini qisqarishida sochilish burchagi kattalashadi va yonilg'ini ko'ndalang kesimidagi uni taqsimlanishi tenglashadi.

Shtiftli to'zitkich qo'llanilganda gazsimon muhit zichligini ortishi yonilg'i oqimining sochilish burchagini va kengligini kamayishiga olib keladi. Bu shtiftli to'zitkich bo'lgan holatida oqim ichi gaz bilan to'lganligi va oqim qobig'iga so'rib olinishi bilan tushuntiriladi. Buning natijasida ichki sathidagi bosim tashqi sathidagidan kam bo'ladi va oqim siqiladi. Gazsimon muhit bosimini ortishi bilan siqish samarasi ko'payadi. Ko'p oqimli to'zitkichlar uchun gazsimon muhit zichligi doimiy qilib ushlab turilganida uning haroratini ortishi yonilg'ini to'zitilgan oqimi uzunligini birmunchaga qisqartirishini tajribalar ko'rsatgan. Dizelning yonish kamerasida zaryadni harakatlanishi yonilg'ining to'zitilgan oqimini rivojlanishiga va tarkibiga ko'p darajada ta'sir qilishi mumkin.



3.33-rasm. **YAMZ-236 dizelining yonilg'i tizimini turli rejimlarda ishlashida oqimni oldingi ko'lamini tezligi w_{oq} ni va uzunligi L_{oq} ni o'zgarishi** $\left(p_{pr} = 1,5MPa\right)$: *a* — V_s = 115 mm³ doimiy siklli uzatishda; *b* — tirsakli valni o'zgarmas aylanishlar chastotasida; 1 — n_k = 1050 min⁻¹, 2 — n_k = 850 min⁻¹, 3 — n_k = 550 min⁻¹, 4 — V_s = 80 mm⁻³, 5 — V_s = 30 mm³.

Nasosning kulachokli vali aylanishlar chastotasini ortishi purkash bosimini va to'zitkichdan yonilg'ini oqib chiqish tezligini orttirishga olib keladi. Buning natijasida to'zitish maydaroq va bir jinsli bo'lib qoladi. To'zitkichdan oqib chiqishida oqimning kinetik energiyasini ortishi tezlik rejimini o'sishi bilan oqim uzunligini ko'payishiga olib keladi. Turli aylanishlar chastotasida oqim uzunligini va oldingi ko'lamini siljish tezligini taqqoslanishi 3.33-a rasmda keltirilgan. Nasosning kulachokli valining aylanishlar chastotasini t = 1 ms paytga 2 martaga ortishi (550 min⁻¹ dan 3-egri chiziq, 1050 min⁻¹ gacha 1-egri chiziq) oldingi ko'lamini siljishini 2,5 martaga orttirishi rasmdan ko'rinib turibdi.

3.33-b rasmda oqim uzunligiga va uning oldingi ko'lamining siljish tezligiga sikllik uzatishning o'zgarishini ta'siri ko'rsatilgan. Ushbu ma'lumot sikllik uzatish V_s ko'payganda purkashni boshlanishi deyarli doimiy qoladigan, purkashni oxiriga kech erishiladigan, purkash davomiyligi ortadigan yonilg'i tizimiga taalluqli. $\tau \le 0,4ms$ bo'lgan boshlang'ich hududda sikllik uzatishni ortishi oqimning oldingi ko'lamini siljishiga kam ta'sir qiladi. Keyinchalik V_s ni ortishi bilan purkash jarayonini rivojlana borishida oqimlar uzunligini va ularning oldingi ko'lamini siljish tezligini egri chiziqlari orasidagi farqlanishi ko'payadi. Buni V_s ni ortishi bilan, boshlang'ich hududda yonilg'ini purkash bosimini ozgina ortishi bilan tushuntirish mumkin. Ushbu hududda mos holda yonilg'ini oqib chiqish tezligi va kinetik energiyasi ozgina ortadi. Biroq, sikllik uzatishni ortishi bilan oqimning kinetik energiyasini umumiy zaxirasi ko'payadi, bu keyinchalik L_{oq} va W_{oq} larning egri chiziqlarini farqlanishiga olib keladi.

Sikllik uzatishni ko'payishi bilan purkash bosimi ortadi, yonilg'ini to'zitilishi maydaroq va bir jinsliroq bo'lib qoladi. 3.33-rasmdagi ma'lumotlarni taqqoslash, oqimning rivojlanish dinamikasiga tezlik rejimni o'zgarishi sikllik uzatishni o'zgarishiga qaraganda ko'proq ta'sir qiladi.

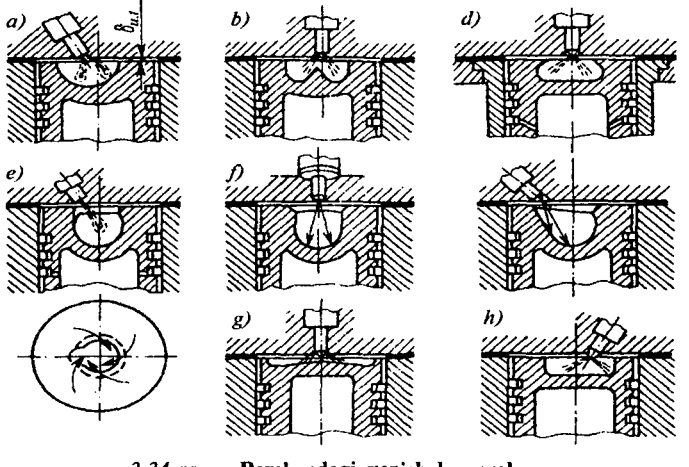
3.5.2. ARALASHMA HOSIL QILISH

Dizellarda aralashma hosil qilish silindr ichida ro'y beradi. Aralash usulda aralashma hosil qiladigan dvigatellar ham mavjud, masalan, gaz-dizellar, ularda yonilg'ining asosiy qismi, odatda, gaz kiritish tizimi orqali beriladi, dizel yonilg'isining ko'p bo'lmagan dozasi silindrga purkaladi va alangalanish ta'minlanadi.

Dizellarda aralashma hosil qilish jarayoni yonilg'i to'zitilishini va yonilg'i to'zonining rivojlanishini, isishini, bug'lanishini, yonilg'i bug'larini isishini va ularni havo bilan aralashishini o'z ichiga oladi.

Aralashma hosil qilish yonilg'i purkashni bosh hamdalanishi paytidan boshlanadi va uning yonishining oxiri bilan bir vaqtda tugaydi. Aralashma hosil qilishni rivojlanishi va takomillashishi purkash to'zitish tavsiflari, yonish kamerasida zaryadning harakatlanish tezligi, yonilg'i va zaryadning xususiyati, yonish kamerasi sathlarining shakli, o'lchamlari va harorati, yonilg'i oqimlari va zaryad harakatini o'zaro yo'nalishi bilan aniqlanadi. Ayrim omillarning ta'sir qilish darajasi yonish kamerasining turiga bog'liq.

Hajmiy aralashma hosil qilish. Agar yonilg'i yonish kamerasini hajmiga purkalsa va faqat uning ozgina qismi devor yoni qatlamiga tushsa, u holda aralashma hosil qilish *hajmiy* deb ataladi. Aralashma hosil qilishning



3.34-rasm. **Porshendagi yonish kameralar:**
a — VTZ dizeli turidagi yarim doirasimon; b — to'rt taktli YAMZ va AMZ dizellari turidagi; d — SNIDI turidagi; e — «MAN» dizeli turidagi; f — «Doyts» turidagi; g — «Gesselman» turidagi; h — «Daymler-Bens» dizellari turidagi; $\delta_{u.t}$ — porshen ustidagi tirqish.

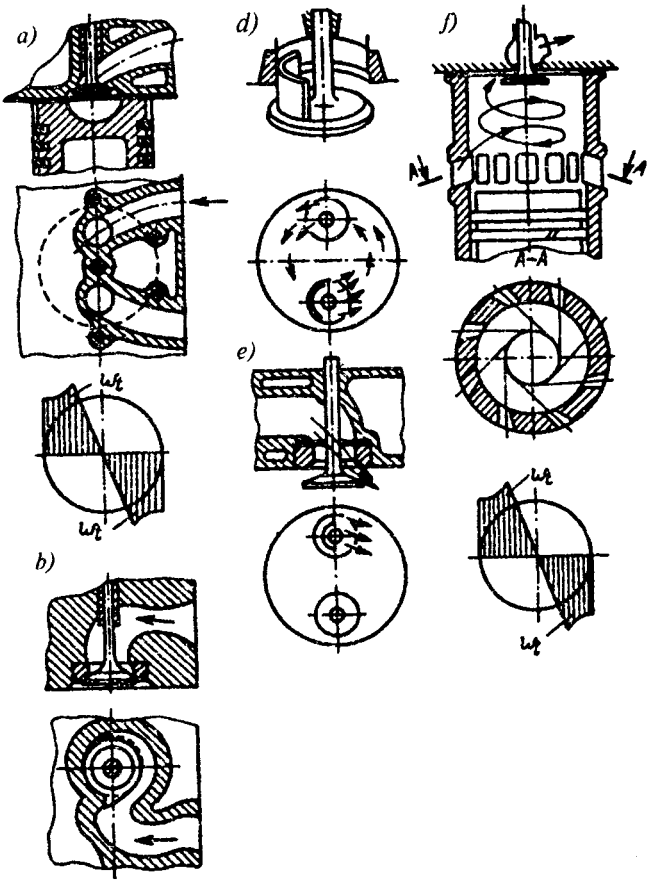
bunday usuli chuqurligi kam bo'lgan va o'lchamsiz miqdor yonish kamerasi diametrini silindr diametriga bo'lgan nisbati bilan baholanadigan bir bo'shliqli (ajratilmagan) yonish kameralarida amalga oshiriladi $\left(d_{yo.k} / D = 0,75...0,85\right)$. Bunday yonish kamerasi, odatda, porshenda joylashadi, forsunkani, yonish kamerasini va silindrni o'q chiziqlari mos keladi (3.34-*g* rasm). Hajmiy aralashma hosil qilishda yonilg'ini isishi va bug'lanishi asosan yonilg'i oqimi bilan qamrab olingan zaryad qismini entalpiyasi hisobiga ro'y beradi. Bug'lanish tezligi yonilg'i bug'larini eziluvchanligiga bog'liq, yonilg'ining eziluvchanligi esa yonilg'ining xususiyatidan tashqari bug'lanishni harorat rejimi bilan aniqlanadi, shuning uchun yonilg'ini siqilgan zaryad hajmida taqsimlanishi katta ahamiyatga ega bo'ladi.

Yonilg'i oqimlarini sathi katta ahamiyatga ega, ular orqali yonilg'i bug'larini atrof-muhit havosiga diffuziyasi sodir bo'ladi. Yonilg'i oqimlarini sochilish burchagi, odatda, 20° dan ortmaydi. Yonish kamerasining to'liq hajmini oqim bilan qamrab olinishini va havodan to'liq foydalanishni ta'minlash uchun forsunkalarning to'zitish teshiklarining soni nazariy jihatdan $i_s = 360 / 20 = 18\ ta$ bo'lishi lozim.

To'zitish teshiklarini o'tish kesimi f_s ni miqdori dizelning turi va o'lchami, kiritish qismlari oldidagi shart-sharoit bilan aniqlanadi. U purkashni davomiyligiga va bosimiga jiddiy ta'sir qiladi hamda yaxshi aralashma hosil qilish va issiqlik ajralib chiqish sharoiti bilan cheklangan. Shuning uchun to'zitish teshiklarining soni ko'p bo'lganda, ularning diametri katta bo'lmasligi kerak. Kichik diametrli teshiklarni aniq qilib tayyorlash qiyin.

Soplo teshiklari kichik diametrga ega bo'lgan to'zitkichli dizellarni ishlatish ham murakkab. Bundan tashqari to'zitish teshiklarini o'tish kesimi sathlarida koksni cho'kindisi hosil bo'lishi tufayli ularning o'tish kesimini jadal sur'atda kamayishi sodir bo'ladi, shuning uchun teshiklar sonini 18 tadan kam bo'lganini ishlatish maqsadga muvofiq deb hisoblanadi. Bunda yonilg'ini to'liq yonishi uchun havoni aylanma harakati to'zitish teshiklari qancha kam bo'lsa shuncha jadallashtiriladi, chunki ushbu holatda zaryad, yonilg'ini purkash davomiyligiga teng deb qabul qilinadigan ahamiyatli vaqt oralig'ida katta burchakka burilishi lozim. Bunga vintsimon va tangensial kiritish kanallarini qo'llash va kritish klapanini yoki uning o'rindig'ini ekranlash bilan ham erishiladi (3.35-*a...e* rasm). Agarda silindrga kirayotgan havo oqimini o'q chizig'i silindrning o'q chizig'i bilan kesishmasa, u holda butun zaryadni aylanma harakati barpo qilinadi. Shunday samaraga ikki taktli dvigatellarda puflovchi darchalar o'q chiziqlarini tangensial yo'nalishi bilan erishiladi (3.35-*f* rasm).

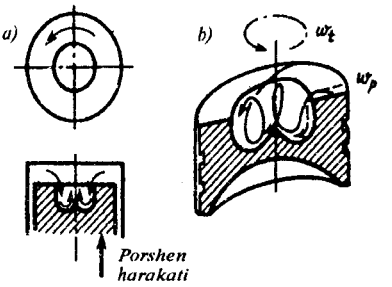
To'rt taktli dizellar uchun vintsimon kanallardan foydalanish samaraliroq hisoblanadi. Bunda ma'lum qiyinchiliklar vintsimon kanallarni ishlab chiqarish jarayonida shakli va joylashishini bir xilligini ta'minlash bilan bog'liq bo'ladi. Foydalanishda kanallar devorida sezilarli darajada cho'kindilarni to'planishining oldini olish chorasini ko'rish kerak.



3.35-rasm. **Kiritish jarayonida silindrda zaryadni aylanma harakatini hosil qilish usulini tushuntiruvchi tasvir sxemasi:**
a — tangensial kiritish kanali va silindr diametri bo'ylab zaryad harakatini tangensial tezligini o'zgarish epyurasi; *b* — vintsimon kanal; *d* — ekranli klapan; *e* — klapan o'rindig'idagi ekran; *f* — tangensial puflash darchasi va ikki taktli dizelning diametri bo'ylab zaryadning harakatida tezlikni tangensial tashkil etuvchisini o'zgarish epyurasi.

3.36-a rasmda ko'rsatilgan porshen YUCHN tomon yaqinlashishida siqib chiqaruvchi ustidagi bo'shliqdan yonish kamerasiga zaryadni oqib o'tish xususiyati zaryadni siqib chiqarish kuchi, markazdan qochma kuch va inersiya kuchlarni o'zaro ta'sirlanishi bilan shartlangan. Kiritishda va siqishdagi siqilishda vujudga kelgan aylanma harakat tezliklarini yig'indisi zaryadni 3.36-b rasmda ko'rsatilganidek, harakatlanishiga olib keladi. Oqib o'tish jarayoni energiyaning ma'lum miqdorda yo'qolishi bilan bog'liq, kiritishda zaryadning aylanma harakatini boshlang'ich energiyasi qancha ko'p bo'lsa va d_{yok} / D nisbat qancha kam bo'lsa, u shuncha oshadi. Zaryadning kameraga oqib o'tishi natijasida uning aylanish tezligi ortadi. Energiyani ko'rsatib o'tilgan yo'qoli-

shi tufayli, harakat miqdori momenti (payti)ni saqlanish qonunida ko'rsatilishiga qaraganda uning o'sishi kam darajada ro'y beradi, biroq d_{yok} / D ni kam qiymatida zaryadning aylanishini tezlanishi ko'p bo'ladi. «Gesselman» turidagi yonish kamerasiga zaryadni siqib chiqarishda uning aylanishining tezlanishi katta emas, chunki ushbu yonish kamerasining diametri silindr diametridan ozgina kichik (3.34-*g* rasmga qarang).

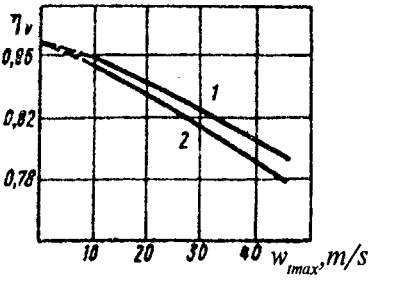


3.36-rasm. **Zaryadning yonish kamerasiga oqib o'tishi va harakati sxemasi:**
a — porshen ustidagi bo'shliqdan yonish kamerasiga aylanma harakatlanuvchi zaryadni oqib o'tishi;
b — yonish kamerasida zaryadning fazoviy harakati.

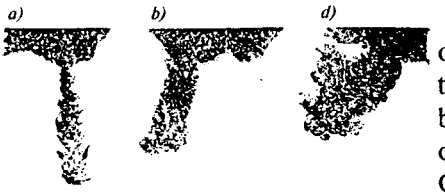
Silindrda va yonish kamerasida zaryad murakkab fazoviy trayektoriya bo'yicha harakatlanadi. Zaryadni harakatlanish xususiyatiga porshenning siljishini o'zgaruvchan tezligi va siquvchi ustidagi hajmdan zaryadni oqib o'tishi ta'sir qiladi. Hajmiy aralashma hosil qilish jarayoniga, yonish kamerasi aylanasiga urinma bo'yicha yo'nalgan zaryad tezligini tangensial tashkil etuvchisi W_τ ko'proq ta'sir qiladi. Boshqa tashkil etuvchilari kam va ularning ta'siri ko'p emas. 3.35-a, f rasmda zaryad tezligining tangensial tashkil etuvchisini silindr diametri bo'ylab o'zgarish xarakteri namoyish qilingan. Yonish kamerasi oralig'ida (3.35-a rasmga qarang) ω_t miqdor markazdan periferiy tomon o'sadi, ya'ni zaryad «qattiq jism sifatida» aylanadi. Siqib chiqaruvchi ustidan ω_t periferiy tomon kamayadi.

Kiritishda zaryadning aylanma harakatini paydo qilish to'ldirish koeffitsiyenti η_v ni kamayishiga olib keladi. Tangensial tezlikning eng yuqori qiymati ω_{tmax} ni orttirish η_v ni kamayishiga olib keladi, d_{yok} ni katta miqdorida kamayishi jadallashadi (3.37-rasm).

d_{yok} / D nisbatning katta qiymatlarida (3.34-*g* rasmga qarang) yonish kamerasiga zaryadni siqib chiqarishda uning aylanishida tezlanishi kichik bo'ladi, shuning uchun to'lishini ancha kamayishiga yo'l qo'ymaslik uchun (kiritishda kuchli girdob paydo qilish tufayli) nisbatan ko'p sonli (6...10) to'zitish teshiklaridan foydalaniladi. Ko'rilayotgan holatda zaryadning harakat tezligining eng katta qiymati 12...15 *m/s* dan ortmaydi.



3.37-rasm. **To'ldirish koeffitsiyenti va zaryadning harakat tezligini tangensial tashkil etuvchisini eng yuqori qiymati orasidagi o'zaro bog'liqligi:** $1 - d_{yo.k} / D = 0,5$;
$2 - d_{yo.k} / D = 0,693$.



3.38-rasm.
Yonilg'i oqimlarining rivojlanishi:
a — harakatsiz zaryadda;
b — 15 m/s tezlik bilan harakatlanadigan zaryadda;
d — 35 m/s tezlik bilan harakatlanadigan zaryadda.

Aylanuvchi zaryad bilan yonilg'i oqimini sochilishi (3.38-b, d rasm) to'zonni hajmiga, sathiga va vaqt bo'yicha ularning dinamikasini o'zgarishiga sezilarli darajada ta'sir qiladi. Chunki zaryad va yonilg'i orasidagi issiqlik almashinuvi, asosan, to'zon hajmida sodir bo'ladi, shu bilan yonilg'ini isishi va bug'lanishi tezlashadi. Yonilg'ining bug'lari oqim sathi tomon kirib aralashadi, bu yerda yadroga qaraganda yonilg'i konsentratsiyasi kam bo'ladi. Yonilg'i bug'lari va havoni jadal suratda aralashishi ko'p jihatdan yonilg'i oqimlari sathi bilan aniqlanadi. Oqimning oldingi ko'lamining yonida issiqlik-massa almashinuvi muhim rol o'ynaydi. Aralashma hosil bo'lishini boshlanish davrida zaryadning yo'naltirilgan turbulent harakati ijobiy ta'sir qiladi.

Zaryadni turbulentlashtirish yonilg'ini yonib tugashidagi aralashma hosil qilishning so'nggi fazasiga ham ijobiy ta'sir qiladi. Bu hodisa kislorodning yetishmasligi tufayli turbulentni pulsatsiyasi oksidlagich va chala yonish mahsulotlarini bir-biriga tegish ehtimolini va yonilg'ini parchalanishini oshishi bilan bog'liq.

Yonishni boshlanishidan so'ng zaryadning harakati katta tomchilar sathidan yonish mahsulotlarini olib ketishga yordamlashadi va ularga oksidlagichni kelishini ta'minlaydi. Hajmiy aralashma hosil qilishda zaryad harakatini yo'naltirilgan tezligini eng maqbuli mavjud bo'lishi kerak. Uning haddan tashqari qiymatida mayda tomchilar, yonilg'i bug'lari va yonish mahsulotlari bir oqim hajmidan zaryadning harakati natijasida aralashma hosil bo'lishini yomonlashishiga olib kelishi bilan yonidagi oqim hajmiga ko'chirilishi mumkin. Haddan tashqari jadallashgan girdob yonilg'i tomchilarining zaryad hajmini ichiga yetarlicha kirmasligiga sabab bo'lishi ham mumkin. Ushbu hodisa *o'ta uyurmalanish* deb ataladi.

Jadallashgan issiqlik ajralib chiqishini boshlanishigacha yonilg'i tomchilari havoni ko'p qismi mujassamlangan yonish kamerasining periferiyasiga kirgan bo'lishi kerak. Oqimning rivojlanishi uchun ajratilgan vaqtning kamligi va to'zitish teshiklari diametrining kichikligi tufayli buni ta'minlash qiyin. Shuning uchun hajmiy aralashma hosil qilinadigan va aylanishlar chastotasi 3000 min^{-1} gacha bo'lgan dizellarda eng yaxshi ko'rsatkichlar purkash bosimining qiymati 150...200 *MPa* gacha yetishida ta'minlanadi. Bunday bosimni nasos-forsunkalardan foydalanib olish mumkin. Ulardan foydalanish dizelning konstruksiyasini va ekspluatatsiyasini murakkab bo'lishi bilan bog'liq (xususan yonilg'ining silindrlar bo'yicha bir tekis uzatilishni ta'minlash

qiyin). Yonilg'i uzatishni ajratilgan tizimlarida (5.2.1-bandga qarang) purkash bosimini erishiladigan chegarasi va ruxsat etilgan qiymati, odatda, 80...100 MPa dan ortmaydi. Bu yerdagi cheklanish yonilg'i apparati detallariga ta'sir qiluvchi kuch va purkash tavsifiga tizimdagi yonilg'i hajmini buzadigan darajada ta'sir qilishi, yuqori bosimli yonilg'i naychalaridagi tebranma jarayonlar bilan bog'liq bo'lgan istalmagan qayta purkashni paydo bo'lishi bilan ham shartlangan.

Hajmiy va devor yonida aralashma hosil bo'lishini birlashgani (kombinatsiyalangani). Bunday aralashmani hosil bo'lishi yonilg'ining bir qismi yonish kamerasining devorigacha yetib boradigan va devor yoni qatlamida to'planadigan kichik diametrli yonish kamerasida olinadi. Ushbu yonilg'ining bir qismi bevosita yonish kamerasining devoriga tegib turadi. Yonilg'i tomchilarining boshqa qismi zaryad chegara qatlamida joylashadi. Yonilg'ini devor yoni qatlamiga tushishi ushbu doira haroratini past va zaryad turbulentligini kam bo'lishi, yonilg'i bug'lanishini va uning havo bilan aralashish tezligini pasayishi tufayli yonishni boshlanishigacha aralashma hosil bo'lish tezligini jiddiy darajada o'zgartirib yuboradi. Buning natijasida yonishni boshlanishida issiqlik ajralib chiqish tezligi ham kamayadi. Alanga paydo bo'lganidan so'ng bug'lanish va aralashish tezligi keskin ortadi. Shuning uchun agar oqim tushadigan devorning harorati 200...300°C oralig'ida bo'lsa, yonilg'ining bir qismi devor yoniga tushganda yonishni tugashi cho'zilib ketmaydi.

Yonish kamerasining diametrini silindr diametriga bo'lgan nisbati $d_{yok} / D = 0,5...0,6$ (3.34-a, b, h rasmga qarang) bo'lganda, zaryadni yonish kamerasiga oqib o'tishida uni aylanishidagi tezlanishi ancha yuqori bo'lganligi sababli diametri yetarlicha katta bo'lgan *3...5* ta teshikli to'zitkichdan foydalanishga imkon bo'ladi. Zaryad harakati tezligini tangensial tashkil etuvchisining qiymati 25...30 m/s gacha erishadi. Purkashni eng yuqori bosimi, odatda,50...80 MPa dan ortmaydi.

d_{yok} / D nisbatni kichik qiymatlaridan foydalanish holatida yonilg'i apparati detallaridagi kuchni jiddiy darajada kamaytirishga olib keladi, demak, uning yeyilishga chidamliligini va ishonchliligini oshiradi. Yonish kamerasi devori yaqinida yonilg'i oqimini oldingi ko'lamining tezligi va zaryad tezligini tangensial tashkil etuvchisi orasida eng maqbul nisbat bo'lmasa, purkash bosimini ancha yuqori qiymatlarida oqimni devorga tushadigan doirasida suyuq yonilg'i bilan quyuqlashgan aralashma hosil bo'lishiga olib kelishi mumkin va u YUCHN yaqinida yonishga ulgurmaydi.

d_{yoq} / D nisbatni kamaytirish boshqa qator o'zgartirishlarni kiritadi. Silindrni o'q chizig'iga nisbatan yonish kamerasini va to'zitkichning o'q chizig'ini siljitishga, kiritish klapani diametrini oshirishga va bitta kiritish klapanida to'ldirishni ko'paytirishga imkon tug'iladi.

Ko'rib chiqilayotgan yonish kamerasi uchun ko'pincha forsunka qiyaroq qilib o'rnatiladi va silindrlar ust yopmasi qopqog'i tagidan chiqib turgan

bo'ladi. Ushbu holda forsunkani ishlatish jarayonida uni yechib olish va o'rnatish osonlashadi. Yonish kamerasini o'q chizig'idan to'zitkich siljitilganda va forsunkalar qiya qilib o'rnatilgan holatda to'zitish teshiklari o'qlarini ayrimlari to'zitkich o'q chizig'iga nisbatan turli burchak ostida joylashtiriladi. Ushbu holatda yonish kamerasida oqimni to'g'ri joylashishini ta'minlash uchun forsunkani gavdasi (korpusi)ga nisbatan to'zitkichni va forsunka gavdasini yonish kamerasiga nisbatan qo'zg'almas qilib o'rnatish lozim. Forsunka qiya qilib joylashtirilganda yonilg'i oqimini teshikka kirishidagi burilish burchagi bir xil emas, shuning uchun ular orqali uzatilayotgan yonilg'i miqdori ham farqlanadi.

Ko'rib chiqilayotgan yonish kameralarida siqib chiqaruvchi ustidagi hajmdan zaryadni yonish kamerasiga oqib chiqish tezligini silindr o'qi yo'nalishi bo'ylab o'zgaradigan radial tashkil etuvchisi muhim ahamiyatga ega bo'ladi. Oqib chiqayotgan zaryad bug'larni, mayda tomchilarni, yonish mahsulotlarini o'zi bilan ergashtirib yonish kamerasini olis nuqtalariga ko'chiradi. Kengayish taktida zaryadni yonish kamerasidan qaytib chiqayotganida yonish uchun ishlatilmagan havo mavjud bo'lgan siqib chiqaruvchini ustidagi bo'shliqqa yonmay qolgan yonilg'ining bir qismi ko'chiriladi.

Ishlatilmagan havo oksidlanish jarayonida to'liq ishtirok etmaydi. Shuning uchun porshen (YUCHN holatida) va silindr ust yopmasi orasidagi bo'shliqda joylashgan zaryad hajmini balandligi $\delta_{u.t}$ ni 0,9...1 mm gacha yetkazib, uning hajmini eng kam miqdorigacha kamaytirishga intiliniladi (3.34-a rasmga qarang). Bunda dizelni ishlab chiqarishda va ta'mirlashda tirqishni stabillashtirish muhim hisoblanadi.

Porshen kallagi va gilza orasidagi tirqishni eng kamiga keltirish va porshen tubidan birinchi zichlovchi halqagacha bo'lgan oraliqni kamaytirish ham ijobiy natijani ta'minlaydi. d_{yok} / D nisbatni kichik qiymatlarida bir xil sharoit bo'lganda yonilg'ini yonishi uchun havodan to'liq foydalanmaslikka va dizel yengib o'tishi mumkin bo'lgan eng ko'p yuklanish miqdorini kamayishiga olib keladigan porshenni siqib chiqaruvchisi va silindr ust yopmasi orasidagi tirqishda mujassamlashgan havo miqdorini ko'p bo'lishini aytib o'tish kerak.

Yonishda ishtirok etadigan havoning qismini birinchi yaqinlik V_{yok} / V_{yo} nisbat bilan baholash mumkin, bunda V_{yok} — porshenda joylashgan yonish kamerasi hajmini bir qismi. Ushbu nisbatni ortishi yuqorida ko'rsatib o'tilgan tadbirlardan tashqari gaz taqsimlash ishi fazasini va taqsimlash vali kulachoklari shaklini maqbulini tanlash, shuningdek, gaz chokini maqbul konstruksiyasini qo'llash bilan ham erishiladigan porshen tubidagi yo'nilgan klapan osti chuqurcha chuqurligini yo'qotishga yoki kamaytirishga yordam qiladi.

Devor yonida aralashma hosil qilish. Yonish kamerasining ayrim konstruksiyalarida deyarli barcha yonilg'i devor yoni doirasiga yo'naltiriladi, ya'ni devor yaqinida aralashma hosil qilishga o'rin bo'ladi. Bunday aralashma hosil qilishda yonish kamerasi silindr bilan bir o'q chiziqda joylashishi, forsunka esa uning periferiyalariga siljitilgan bo'lishi mumkin.

Yonilg'ini bir yoki ikki oqimi yoki doirasimon shaklga ega bo'lgan yonish kamerasi devoriga o'tkir burchak ostida (3.34-e rasmga qarang), yoki yonish kamerasi devoriga yaqin va devor bo'ylab (3.34-*f* rasmga qarang) yo'naltiriladi. Ikki holatda ham yonilg'i tomchilarini yonish kamerasi devori bo'ylab taqsimlanishiga yordam beradigan zaryad yetarlicha jadal aylanma harakatga keltiriladi (zaryad harakatining tangensial tezligi 50...60 m/s ga erishadi).

Faraz qilishni biriga muvofiq uyurmali zaryadda ishchi aralashmani ajratish (separatsiyalash) amalga oshiriladi. Zichligi kam bo'lgan yonish mahsulotlari yonish kamerasini markaziga ko'chiriladi, zichligi yuqori bo'lgan havo yonish kamerasini markaziy qismidan yonilg'i miqdori ko'p bo'lgan uni periferiysiga ko'chiriladi va yonilg'ini asta-sekin va to'liq yonishini ta'minlaydi. *Termik aralashma hosil qilish** deb ataladigan amalga oshiriladi. Ko'p sonli tajribalar aralashma hosil qilishni bunday mexanizmi tez yonishga tayyorlangan yonilg'i-havo aralashmasi miqdorini kamayishini, yonish silindrda bosimni ortish tezligi kamayishini, dizelni yumshoq va kam shovqin bilan ishlashini ko'rsatgan. Bundan tashqari, dizel ko'p darajada fraksiya tarkibi turlicha bo'lgan yonilg'ilarda, xususan benzinda ishlashga moslashganligini ko'rsatgan.

Yonilg'ining bug'lanishiga issiqlikni sarf bo'lishi tufayli u purkalganda zaryadning harorati sezilarli darajada kamayadi (150...200°C gacha oqim o'q chizig'i bo'ylab). Bu oldingi alangani paydo bo'lish kimyoviy reaksiyasi tezligini kamayishi sababli yonilg'ini alangalanishini qiyinlashtiradi. Alangalanish harorati yuqori va bug' hosil bo'lish issiqligi ko'p bo'lgan yengil yonilg'ilardan foydalanilganda, to'zon hajmida haroratni pasayishi alangalanishni kechikish davri τ_i ni ko'payishiga olib kelishi mumkin, buning natijasida yonilg'ini purkash davomiyligidan ko'p bo'ladi va bunda deyarli yonilg'ini barcha ulushi tez yonishda ishtirok etadi. Bunda bosimni ortish tezligi va silindrdagi bosimni eng katta qiymati yo'l qo'yib bo'lmaydigan darajada yuqori bo'ladi. Alangalanishni muntazam ravishda bo'lmaslik yoki o'chib qolish holatlari bo'lishi mumkin. Siqish darajasi $\Pi\varepsilon$ ni oshirish bilan ishonchli va tez alangalanishga erishish uchun intilish, ayniqsa d_{yoq} / D nisbatni qiymati katta bo'lganda, yonish kamerasidagi zaryad zichligini yuqori bo'lishi yonilg'i oqimi uzunligini qisqarish xavfini tug'diradi.

Devor yaqinidagi qatlamga purkashda qizigan zaryad hajmiga taxminan 5...10% yonilg'i tushadi. Yonilg'i devor yonida kichik hajmli zaryadda mujassamlanganligi tufayli uning asosiy qismi «inertli» bo'ladi. Dastlab zaryad hajmiga tushgan yonilg'ini qismi alangalanadi deb taxmin qilinadi. Keyinchalik yonilg'ini bug'lanishi va havo bilan aralasha boshlanishi bilan devor yaqini qatlami tomon yo'nalgan yonish yonilg'ini asosiy qismiga tarqaladi. Biroq devor yaqini qatlamiga va ayniqsa devorga to'g'ridan-to'g'ri purkashda, qizimagan dizel devori haroratini pastligi tufayli uni ishga tushirishni qiyinlashtiradi. Setan soni kam bo'lgan yonilg'ilarni alangalanishini jiddiy darajada yaxshi-

* Oldingi ko'rilgan yonish kameralariga va aniqlanishi bo'yicha mos holdagi usullarni qo'llash mumkin.

lash, siqish darajasi ε ni oshirish bilan ta'minlanadi, uni maxsus ko'p yonilg'ili dizellarda 26 birlikkacha oshirishga to'g'ri keladi. Devor yaqinida aralashma hosil qilinadigan yonish kameralari uchun yonilg'i oqimi uzunligi yetarlicha bo'lmaslik darajada purkalish xavfi hajmiy aralashma hosil qilish kamerasiga qaraganda sezilarli darajada kam. Shuning uchun ε ni oshirish aralashma hosil qilishni yomonlashishini keltirib chiqarmaydi.

Aralashmani silindr ichida tayyorlash bilan birga uchqun razryadidan alanga oldiriladigan dvigatellar konstruksiyasi ishlab chiqilgan. Xususan devor yaqinida aralashma hosil qilinadigan yonish kameralarida uchqundan o't oldirishni qo'llash tavsiya etilgan. Shunday usul bilan siqish darajasini kamaytirishga p_z va $dp/d\varphi$ qiymatlari kam bo'ladigan yuqori oktan sonli benzinlar va spirtlardan foydalanishga erishiladi.

Devor yaqinida aralashma hosil qilish usulida yonilg'i to'zishini maydaligiga kamroq talab qo'yiladi. Purkash bosimini eng yuqori miqdori 40...45 MPa dan ortmaydi. Katta diametrli bir-ikki teshikli to'zitkichlardan foydalaniladi.

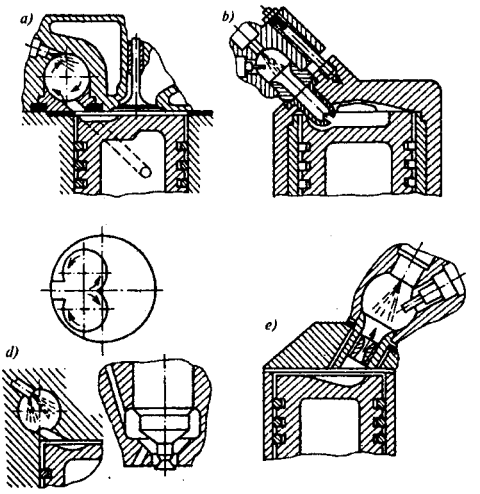
Odatda, SNIDI yonish kamerasida (3.34-d rasmga qarang) aralash (kombinirlangan) hajmiy-devor yaqinida aralashma hosil qilinadi deb qaraladi. Devor yaqinida aralashma hosil qiladigan yonish kamerasiga SNIDI kamerasini devorga tushguncha oqimni nisbatan qisqa yo'li va oqimni devorga o'tkir burchak ostida uzatilishi yaqinlashtiradi. Kichik o'lchamli dizellarda purkaladigan yonilg'ini dastlabki ulushi devor yaqini qatlamiga tez uchib boradi va u alangalanishni kechikish davrida tez yonish fazasiga tayyorlagan yonilg'i-havo aralashmasi miqdorini kamaytiradi. Bu bosimni ortish tezligini kamayishi bilan dizelning «yumshoq» ishlashiga yordam beradi.

Dizelni ishga tushirish paytida SNIDI kamerasida zaryadning aylanma harakati vujudga keltirilmaydi*. Zaryadni porshen ustidagi bo'shliqdan bo'g'zining diametri 0,35D ga yaqin bo'lgan yonish kamerasiga siqib chiqarishda, u harakatga keltiriladi. Bunda yonish kamerasida o'q chizig'i chizma tekisligiga perpendikular bo'lgan tekislikda joylashgan uyurma sodir qilinadi. Zaryadning harakat tezligi 40...45 m/sek ga erishadi. Aralashma hosil qilish farqlanishini o'ziga xosligi, bu yonilg'i oqimi va porshen usti bo'shlig'idan siqib chiqariladigan zaryad harakatlarini qarama-qarshiligidir, natijada yonish kamerasi hajmida muallaq (aralashmagan) yonilg'i miqdorini ko'payishiga yordam beradi va ushbu jarayonni hajmiy aralashmaga yaqinlashtiradi. SNIDI kamerasidan foydalanilganda 3...5 soplo teshiklari ishlatiladi. Yonilg'ini purkash parametrlari VTZ va YAMZ turidagi yonish kameralaridagiga yaqin bo'ladi (3.34-a, b rasmga qarang).

SNIDI kamerasining kamchiligi devor yaqinida aralashma hosil qilinadigan yonish kamerasi kabi, yonish kamerasining chuqurligi tufayli porshen kal-

* Oxirgi yillarda dizellarning yonish kamerasining shakli bo'yicha SNIDI kamerasiga yaqini yaratilgan bo'lib, ularda silindrga kirayotgan zaryadning yaratgan uyurmasidan foydalaniladi.

lagining balandligi, silindrlar ust yopmasini, porshenni va ayniqsa yonish kamerasi bo'g'zini issiqlikdan zo'riqishi, shuningdek V_{yok} / V_{yo} nisbat miqdorini kamligi ortiqcha havoni ko'p bo'lishini talab qiladi. SNIDI kamerasida balandlik bo'yicha forsunkani joylashishi devorga va hajmga tushadigan yonilg'i ulushlari orasidagi nisbatga va dizelni tejamkorligiga ta'sir qiladi. Shuning uchun dizelni ishlatish jarayonida uni qismlarga ajratilishida forsunkaning joylashishini o'zgartirishga ruxsat etilmaydi.



3.39-rasm. **Ajratilgan yonish kameralari:** *a* — uyurmali (yuqoridagi proyeksiyada siqishda asosiy bo'shliqdan uyurmali kameraga zaryadni oqib o'tish yo'nalishi, pastdagisida esa kengayishida uyurmali kameradan asosiy kameraga); *b* — uyurmali va qo'shimcha ishga tushirish to'zitish teshiklari bilan «Pintaks» turidagi to'zitkich; *d* — old kamera; *e* — «MWM» dizelini bosimlar farqi kam bo'lgan old kamerasi.

Ajratilgan yonish kameralarida aralashma hosil qilish. Ajratilgan yonish kameralar bo'g'iz bilan tutashtirilgan qo'shimcha va asosiy bo'shliqlardan tashkil topgan. Hozirgi paytda, asosan, uyurmali va old kamerali yonish kameralari ishlatiladi. Qo'shimcha kamerani nomlanishi bu yerda butun yonish kamerasi uchun qo'llangan (tarqalgan). Ko'rib chiqilayotgan yonish kameralarini prinsipial farqi zaryadning qo'shimcha kamerada harakatlanish xususiyati hisoblanadi (3.39-rasm). Yonish kamerasi uyurmali bo'lgan holatida tutashtiruvchi bo'g'izni o'q chizig'i doirasimon yoki silindrsimon uyurmali yonish kamerasi ichki sathiga urinma bo'yicha yo'nalgan (3.39-a, b rasm). Shuning uchun ularda zaryadni yo'naltirilgan uyurma harakati barpo qilinadi. Zaryadning bo'g'iz orqali oqib chiqish tezligi va unga yaqin bo'lgan eng yuqori harakatlanish tezligi uyurmali yonish kamerasi hajmini nisbiy qiymati $\left(V_{u.k} / V_{yo}\right)$ ga va bo'g'izni o'tish kesimini nisbiy qiymati $\left(f_b / F_p\right)$ ga bog'liq holda uyurmali kamerada 100...200 m/s ga yetadi (bunda F_p — porshen yuzasi). Yonilg'i 3.39-a rasmda ko'rsatilgan yo'nalishda shtiftli to'zitkich bilan purkaladi. Ba'zan ishga tushirishni osonlashtirish uchun bir xil joylashmagan (ignaga nisbatan) ikkita to'zitish teshiklaridan foydalaniladi, biroq ulardan biri harorati yuqori bo'lmagan zaryad hajmi doirasiga yonilg'ini uzatadi (3.39-b rasm). Ishga tushirish rejimida ushbu teshik orqali yonilg'i uzatish ulushi juda yuqori.

Forsunkadan tushadigan yonilg'i harakatlanuvchi zaryad bilan uyurmali yonish kamerasi devoriga siqiladi. Shunday qilib, bu yerda ham devor yaqinida

aralashma hosil qilish elementi mavjud bo'ladi. Uyurmali kameraning pastki qismi ko'pincha issiqlikdan himoyalab, ajraladigan qilib tayyorlanadi. Uyurmali kamera bo'g'zining harorati 600...650°C gacha ko'tarilishi mumkin. Undan oqib o'tadigan havo qo'shimcha ravishda isiydi va aralashma hosil bo'lishni tezlashishiga yordam qiladi. Uyurmali kameraning ajraladigan qizigan qismiga yonilg'ini tegib o'tishi ham bunga yordam beradi. Aylanishlar chastotasini ortishi bilan uyurmali yonish kamerasini va unda joylashgan zaryadning issiqlik rejimi ko'tariladi, bu ham aralashma hosil qilishni tezlashtiradi. Odatda, uyurmali kamera hajmi $V_{u.k} \leq (0,5...0,6)V_{yo}$ bo'ladi, u holda yonilg'ining hammasi uzatiladigan uyurmali kamerada katta yuklamali rejimlarda quyuq aralashma hosil qiladi. Tabiiyki, bu yerda yonilg'i to'liq yonishi mumkin emas. Ortiqcha havoning mavjud bo'lmasligi azot oksidlarini hosil bo'lishiga to'sqinlik qiladi. Uyurmali kamerada yonish natijasida bosim ko'tariladi. Yonayotgan zaryad, yonish uchun ishlatilmagan havoning ko'p mujassamlangan qismi porshendagi shakldor o'yiq ko'rinishida tayyorlangan yonish kamerasi bo'shlig'iga (3.39-a rasm) oqib chiqa boshlaydi. Yonish kamerasining ikkala bo'shlig'i va bo'g'zining shakli hamda joylashishi to'g'ri tanlanganida asosiy bo'shliqda yonilg'ini tez va yetarlicha to'liq yonib tugashi ro'y beradi.

Old kamera bo'lgan holatida uning nisbiy hajmi va bo'g'zini kesimi qoidaga ko'ra, uyurmali yonish kamerasiga qaraganda kichik (3.39-d rasm). f_b/f_o nisbatni kamligi yonish kamerasining ikkala bo'shlig'i orasida zaryadni oqib o'tishida yo'qolishni ko'payishini keltirib chiqaradi. Bosimlar farqi kam bo'lgan old kameralar ham mavjud (3.39-e rasm), ulardagi $V_{o.k}/V_{yo}$ va f_b/F_p nisbat uyurmali kamerani shunga o'xshash qiymatiga yaqin, bu zaryadni oqib chiqishida energiya yo'qolishini kamaytirishga intilish oqibatida kelib chiqqan va shu usul bilan old kamerali dizelni tejamkorligi oshiriladi.

Silindrni old kamera bilan bog'laydigan teshiklar o'q chiziqlarining yo'nalishi shunday qilinganki, siqish taktida zaryadni oqib chiqishida uni tartibsiz harakati paydo qilinadi. Oqib chiqish tezligi 300 m/s va undan yuqoriga erishadi. Silindrdan kelayotgan zaryad oqimiga qarshi purkash amalga oshiriladi. Old kamerada zaryad turbulizatsiyalanishini jadallashishi yonilg'i bilan havoni yaxshi aralashishiga yordam beradi. Quyuq aralashmani tez, biroq chala yonishi natijasida old kamerada bosim keskin ortadi. Yonayotgan zaryadni yonish kamerasini asosiy bo'shlig'iga oqib chiqishi boshlanadi, u yerda yonilg'ini jadal aralashishi tufayli havoning ortiqlik koeffitsiyenti kichik bo'lganida ham (α = 1,15...1,2) yonilg'i tez va yetarlicha to'liq yonib tugaydi.

Uyurmali yonish kamerasi kabi aylanishlar chastotasini va yuklamani ortishida sodir bo'ladigan old kamera va unga oqib o'tadigan zaryadlar haroratini ko'tarilishi aralashma hosil qilish jarayonini jadallashtirishga va yonilg'ini tezroq alangalanishiga yordam beradi. Yordamchi yonish kameralarida bosimni

keskin ortishiga qaramasdan (ayniqsa, old kamerali aralashma hosil qilishda) asosiy kamera bo'shlig'iga yonayotgan zaryadlarni asta-sekin oqib o'tishi natijasida porshen ustidagi bo'shliqda bosimni ko'tarilishi nisbatan sekin sodir bo'ladi. Asosiy bo'shliqda yonilg'ining ko'p qismi YUCHN dan keyin yonib tugaydi, bu bosimning keskin ko'tarilishini keltirib chiqarmaydi.

Havoning bosim ostida kiritish usulida aralashma hosil qilish. Bosim ostida kiritishda sikllik yonilg'i uzatish miqdori $\eta_v \rho_к / \alpha$ nisbatga proporsional ravishda ko'paytirilishi kerak. Sezilarli darajada ko'p bo'lgan sikllik yonilg'i $G_{s.yo}$ ni purkash davomiyligi (vaqti) bosimsiz kiritiladigan asosiy dizelning purkash davomiyligidan ortiq bo'lmasligi kerak. Sikllik uzatishni quyidagicha ifodalash mumkin: $G_{s.yo} = f_{pl} \cdot h_{pl.akt} \cdot \eta_{uzat} \cdot \rho_{yo}$. Plunjerni faol yo'li:

$$h_{pl.akt} = c_{pl.o'r} \Delta\tau_{akt} = c_{pl.o'r} \frac{\Delta\varphi_{akt}}{6n}.$$

Bundan

$$\Delta\varphi_{akt} = \frac{G_{s.yo} 6n}{f_{pl} c_{pl.o'r} \eta_{uzat} \rho_{yo}}.$$

Demak, purkash, aralashma hosil qilish va yonishni davomiyligi bog'liq bo'lgan plunjerni faol yo'li $\Delta\varphi_{akt}$ ni davomiyligi ortib ketmasligi uchun $G_{s.yo}$ ni ortishida plunjer kesimi yuzasi f_{pl} va uni o'rtacha tezligi $c_{pl.o'r}$ ning faol yo'li hududida oshirish kerak. $c_{pl.o'r}$ ni oshirish imkoni plunjerni kulachokli yuritmasini ishonchli ishlash sharoiti bilan cheklangan. Shuning uchun bosim ostida kiritish usulida har doim plunjer diametrini oshirishga harakat qilinadi.

Yonilg'ining sikllik uzatilishini quyidagicha ham ifodalash mumkin:

$$G_{s.yo} = \frac{\rho_{yo} (\mu f)_s}{6n} \int_{\varphi_b}^{\varphi_t} \sqrt{\frac{2}{\rho_{yo}} \left(p_f^1 - p_s \right) d\varphi}.$$

Bundan yonilg'ini sikllik uzatilishini oshirish va purkashni umumiy davomiyligini saqlab qolish uchun $\bar{G}_{s.yo} = \frac{\bar{\eta}_v \bar{\rho}_s}{\alpha}$ ga proporsional ravishda to'zitish teshigini samarali o'tish kesimi $(\mu f)_s$ ni oshirish kerakligi kelib chiqadi. Formulada belgi ustidagi chiziq bosim ostida kiritish ko'rsatkichining bosimsiz kiritiladigan dizel ko'rsatkichlarining miqdoriga bo'lgan nisbatini bildiradi.

Ikkinchi imkoniyat purkash bosimini $\bar{G}_{s.yo}^2$ marta ortirish. Amalda ushbu tadbirlar birgalikda amalga oshiriladi, ya'ni $\bar{G}_{s.yo}$ miqdorini ko'payishiga nisbatan $(\mu f)_s$ kam darajada orttiriladi va $\bar{G}_{s.yo}^2$ miqdorga nisbatan purkash bosimi kam darajada orttiriladi. Purkash bosimini orttirilishi yonilg'ini

maydaroq va bir jinsli to'zishini ta'minlaydi, bu aralashma hosil qilish sifatini oshirishga yordam beradi. Purkash bosimini zarur darajada ko'paytirilishi aralashma hosil qilish jarayonini talab qilingan tezlashish darajasidan kelib chiqqan holda o'rnatiladi. Yonilg'i zichroq muhitga purkalganda uning oqimini sochilish burchagi kattalashadi. Agar yonilg'i tizimi asosiy qismlari (elementlari)ni tanlash bilan bosim ostida kiritish usulida yonilg'i oqimlari rivojlanishini tezlanishi ta'minlansa, u holda stexiometrik sath o'lchamlarini orttirish kerak va shunday yo'l bilan aralashma hosil qilish va yonish davomiyligini ortishiga yo'l qo'ymaslik mumkin. Ushbu sharoitga purkash bosimi miqdorini yetarlicha ortishi mos keladi. f_{pl} va purkash bosimi qiymatini orttirish yonilg'i tizimi detallari yuklamasini sezilarli ko'paytiradi.

Gazturbina orqali bosim ostida kiritish usulida aylanishlar chastotasini va yuklamani ortishi bilan silindrdagi zaryad zichligi ham ortadi, alangalanishni kechikish davrini vaqt bo'yicha davomiyligi esa qisqaradi. Alangalanishning kechikish davrida yonilg'i oqimlarini talab qilingan darajada ichiga kirib borishni ta'minlash uchun aylanishlar chastotasi va yuklamani ortishi bilan bosimsiz kiritiladigan dizelga qaraganda yonilg'i uzatish apparaturasi purkash bosimini keskinroq ko'tarilishini ta'minlashi kerak.

Havoning bosim ostida kiritish usuli bilan yuqori darajada kuchaytirishda nasos-forsunkalardan va akkumulator turidagi yonilg'i tizimlaridan foydalanish kerak bo'lib qolishi mumkin.

Bosim ostida kiritish usulida zaryad zichligining ortishi tufayli aylanma harakatlanuvchi zaryad bilan olib ketiladigan yonilg'i tomchilari ko'payishi mumkin, buning natijasida bayon qilinganidek, oqimning sochilish burchagi kengayadi. Zaryadning harakatlanish tezligi kiritishdagi bosimga sezilarli darajada bog'liq bo'lmaydi. Bosim ostida kiritishda zaryadni harakatlanish tezligini eng maqbuli tomchini olib ketish va oqimning sochilishi burchagini ortishini ko'rsatib o'tilganiga bog'liq holda bosimsiz kiritiladiganiga qaraganda birmuncha kam bo'ladi.

3.5.3. YONISH VA ISSIQLIK AJRALIB CHIQISH JARAYONLARI

3.3-§ dan kelib chiqqan holda yonish murakkab fizik-kimyoviy jarayon hisoblanadi. Dvigatelning ko'p ko'rsatkichlariga yonish jarayonining fizik-kimyoviy xususiyatini o'ziga xosligi emas issiqlik ajralib chiqish qonuniyati va uning keltirib chiqaradigan silindrdagi bosim va haroratni o'zgarishi ta'sir qiladi. Ular siklning energetik, tejamkorlik va ekologik ko'rsatkichlarini hamda detallardagi statik va dinamik yuklamalar va boshqalarni belgilaydi. Dvigatel ishining eng yaxshi ko'rsatkichlari valni 15...30° burilish burchagi oralig'ida bosimning bir tekis ko'tarilishini ta'minlaydigan porshen YUCHN ga 5...15° yetmasdan issiqlik ajralib chiqishi boshlanib va asosan 45...50° burchak oralig'ida tugaydigan nominal rejimda ta'minlanadi.

Bunday xususiyat bilan issiqlik ajralib chiqishida haqiqiy siklda issiqlikdan foydalanish v = const bo'lganda issiqlik berish siklidan kam farqlanadi, chunki porshen YUCHN da kam tezlik bilan harakatlanadi va shuning uchun issiqlik

ajralib chiqish paytida kam yo'l o'tadi. Agar issiqlik ajralib chiqish YUCHN dan 35° o'tgandan so'ng tugasa, u holda gazlarning keyinchalik kengayish darajasini eng kichik qiymati siqish darajasidan faqat 11...12% ga farq qiladi.

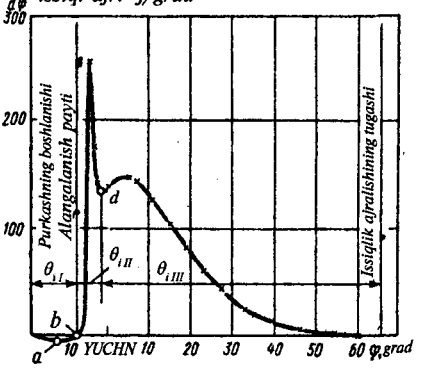
Haqiqatda asta-sekin issiqlik ajralib chiqishi, sovitish muhitiga issiqlik yo'qolishini va dvigatelning mexanik yo'qolishini kamayishi tufayli uning lahzada ajralib chiqishiga qaraganda afzalroq. Yonish jarayonining fizik-kimyoviy xususiyatini o'ziga xosligi alangani nurlanishiga, detallarda cho'kindi hosil bo'lishiga va ishlatilgan gazlarning zaharligiga jiddiy ta'sir qiladi.

Dizelda issiqlik ajralib chiqish jarayonini 3 fazaga bo'lish mumkin (3.40-rasm). Davomiyligi θ_i bo'lgan ularning birinchisida issiqlik ajralib chiqish bir vaqtning o'zida yonilg'ini jadal isishi, bug'lanishi va ularning bug'larini qizishi bilan o'tadi. Ma'lum paytgacha (*a* nuqta) isitishga va bug'lanishga sarflangan issiqlik ajralib chiqishidan ko'p bo'ladi. *a* nuqtadan boshlab issiqlik ajralib chiqishi ko'payadi. Ajralib chiqqan issiqlik isitishga va bug'lanishga sarflangan issiqlikning o'rnini to'liq to'ldiradigan payti, birinchi fazani tugashi deb qabul qilinadi (*b* nuqta).

Issiqlik ajralib chiqishni birinchi davri davomida yonilg'i bug'lanishi tezligi uning yonish tezligidan jiddiy ravishda yuqoriligini ko'rsatib o'tish kerak. Shuning uchun yonish kamerasida birinchi faza davomida jarayonlarni har bir rivojlanish sharoiti uchun yonilg'i bug'lari va yonilg'i-havo aralashmasi to'planadi. Ikkinchi faza davomida issiqlik ajralib chiqishni θ_{iII} davomiyligida ushbu to'plangan yonilg'i-havo aralashmasining ko'p qismi 3.3-§ da ko'rib chiqilgan mexanizm bo'yicha yonadi.

Ikkinchi fazada birinchi faza tugagandan so'ng silindrga uzatilgan yonilg'ining bir qism ham yonadi. *d* nuqtadan boshlab issiqlik ajralib chiqish mexanizmi ustuvorligi, yonish tezligi zaryad haroratining yuqoriligi tufayli kimyoviy reaksiya tezligining yuqoriligi bilan emas aralashish tezligi bilan me'yorlanadigan diffuzion yonish bilan bog'liq. Diffuzion yonishda issiqlik ajralib chiqishi uchinchi fazada sodir bo'ladigan jarayonlar mohiyatini hosil qiladi (θ_{iIII} davomiyligi).

Ba'zan purkash, oqimni faol rivojlanishi va aralashish doirasi o'lchamlari nihoyasiga yetgandan so'ng boshlanadigan issiqlik ajralib chiqishini to'rtinchi fazasi ham farqlanadi. Ushbu faza uchun kichik tezlik bilan diffuzion yonish xarakterli hisoblanadi. Agar issiqlik ajralib chiqish tezligining egri chizig'i logarifmik koordinatada qayta chizilsa uni ajratib ko'rsatish mumkin. Aralashish va issiqlik ajralib chiqishining sekinlashishi mos kelgan burchak koeffitsiyentini o'zgarishi bo'yicha bilish mumkin.



3.40-rasm. **Dizelda issiqlik ajralib chiqish tezligining tavsifi.**

Issiqlik ajralib chiqish tavsifini olish uchun bir qator yo'l qo'yishlarga asoslangan indikator diagrammaga maxsus ishlov berish talab qilinadi. Ko'pincha indikator diagramma bo'yicha yonish fazalarining tahlili bilan kifoyalanib qolinadi. Issiqlik ajralib chiqishi va yonish fazalarining davomiyligi indikator diagramma bo'yicha mos kelmaydi. Yonish fazasini indikator diagramma bo'yicha davomiyligiga porshenning harakati ta'sir qiladi (zaryad hajmini o'zgarishi).

Yonishning birinchi fazasi yoki alangalanishning kechikish davri purkashni boshlanishidan $(\varphi_{p.b})$ yonilg'ini purkamasdan havoni siqishdagi bosimidan issiqlik ajralib chiqishi natijasida bosimni yuqori bo'ladigan (ajraladigan) paytigacha bo'lgan vaqt τ_i yoki tirsakli valni burilish burchagi θ_i oralig'i bilan aniqlanadi (3.41-a rasmdagi bosim diagrammasining *a* nuqtasi).

Suyuq yonilg'i purkalganda alangalanishni kechikish davri oqimning tomchilarga parchalanishi, yonish kamerasi hajmi bo'yicha tomchilarni birmuncha siljishi, isishi, qisman bug'lanishi va yonilg'i bug'larini havo bilan aralashishi uchun kerak bo'lgan vaqtni, shu bilan birga kimyoviy reaksiyani o'z-o'zidan tezlatish vaqtini ham o'z ichiga oladi. Aralashmani turli jinsliligi alangalanishni rivojlanishiga ijobiy ta'sir qiladi, chunki qandaydir doirada aralashma tarkibi va uni harorati bo'yicha alangalanish uchun eng qulay sharoitni mavjud bo'lishini oldindan aniqlaydi. Aralashma tarkiblarining barcha gammalarini va haroratlarini aynan mavjudligi juda suyuq aralashmada, masalan, $\alpha = 6$ va undan yuqori bo'lganda ham alangalanishi mumkinligini belgilaydi. Agar alangalanishning kechikish davri purkash davomiyligidan ko'p bo'lsa, u holda yonilg'i alangalanishini boshlanishigacha barcha yonilg'i silindrga uzatib bo'linadi va uning ko'p qismi bug'lanishga hamda havo bilan aralashishga ulguradi. Yonilg'ining bu qismini hajmiy alangalanishi natijasida silindrda katta bosim paydo bo'ladi, detallardagi dinamik yuklamalar va shovqin nurlanishi ham yuqori bo'ladi.

τ_i ni davomiyligiga quyidagi omillar ta'sir qiladi:

Yonilg'ining alangalanuvchanligi. Yonilg'ining setan soni qancha ko'p bo'lsa, uning alangalanuvchanligi shuncha yaxshi bo'ladi. Keng miqyosda qo'llaniladigan yonilg'ilardan oktan soni ko'p bo'lgan benzin eng kam setan soniga ega bo'ladi. Ularni faqat maxsus ko'p yonilg'ili dizellarda ishlatish mumkin. Yonilg'ini alangalanish moyilligiga maxsus qo'shilmalarni, masalan, amilnitratlarni, unga qo'shish orqali ta'sir qilish mumkin.

Yonilg'i purkalishini boshlanishida zaryadning bosimi va harorati. Bosimni va ayniqsa haroratni ortishi τ_i ni qisqartiradi. Shuning uchun havoni oraliq sovitmasdan bosim ostida kiritish, siqish darajasini oshirish, purkashni ilgarilatish burchagini ma'lum qiymatgacha kamaytirish τ_i ni kamayishiga yordam beradi. Foydalanish paytida tirqishlar orqali zaryadni sizib o'tishini ko'payishi natijasida siqish oxirida zaryadning bosimi va harorati pasayadi, bu τ_i ni uzayishiga olib keladi.

Yonish kamerasining turi. Zaryad hajmida va devor yaqini doirasida yonilg'i taqsimlanishini farqlanishi tufayli u τ_i ga, shuningdek, yonish kamerasi devorining haroratiga ham ta'sir qiladi.

Zaryadning yo'naltirilgan harakatining jadalligi. Dizelda zaryad harakati jadalligini ortishi alangalanishni kechikish davrini birmunchaga qisqartiradi.

Purkash va to'zitish tavsiflari. Purkashni jadallashtirish va yonilg'i oqimining rivojlanishini ma'lum oraliqqacha tezlashtirish τ_i ni ozgina qisqarishiga yordam beradi.

Yuklamani o'zgarishi. Yonilg'i nasosining konstruksiyasiga bog'liq holda τ_i turlicha o'zgaradi. Agar uzatishni boshlanishi yuklamaga bog'liq holda o'zgarmasa yuklama kamayishida yonilg'i purkashni boshlanish paytida zaryadning bosimi va haroratini pasayishi tufayli τ_i ozgina uzayadi. Agar yuklamani kamayishida yonilg'i purkashni boshlanishi kechiksa, purkashni boshlanishida silindrdagi bosim va haroratni ko'tarilishi tufayli τ_i qisqarishi mumkin.

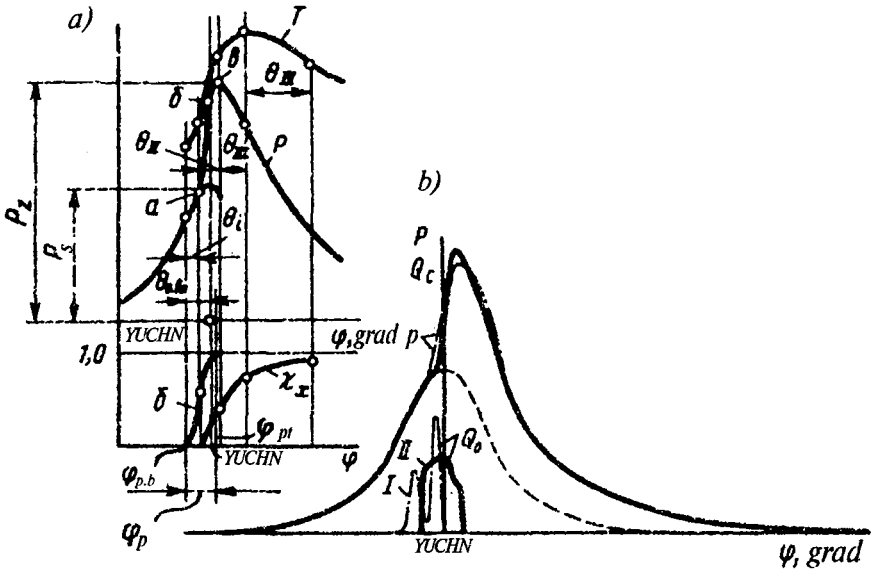
Aylanishlar chastotasini ortishi. n ning ortishi yonilg'i purkashni boshlanish paytida zaryadni siqish tezligini orttirishga, yonilg'i to'zitilishini yaxshilanishiga, bosim va haroratni ko'tarilishiga olib keladi. Ajratilgan yonish kameralari bo'lgan holatda bo'g'zini va issiq kirgizmaning harorati ko'tariladi. Bularning barchasi n ni ortishi bilan τ_i ni qisqarishiga yordam beradi, ayniqsa ajratilgan yonish kamerali dizellarda. Bunda θ_i davrning davomiyligi tirsakli valning burilish burchagi bo'yicha ortadi, lekin ajratilgan yonish kameralarida kam darajada.

Yonishning ikkinchi fazasi yoki tez yonish fazasi, alangalanish payti deb belgilangan paytdan boshlanib eng yuqori bosimga erishguncha davom etadi. Ushbu fazani ikki qism yonishni boshlanishidan δ nuqtagacha va δb oraliqga bo'lish mumkin (3.41-*a* rasm). Birinchi qism davomida τ_i davrda alangalanishga tayyorlangan aralashmani bir qismi yonadi va tez issiqlik ajralib chiqishi hamda bosimni ko'tarilishi ro'y beradi. δ nuqtadan boshlab jarayon yonilg'i va havoni aralashishi bilan me'yorlanadi, demak issiqlikni ajralib chiqish va bosimni ko'tarilish xususiyatini yo'naltirilgan o'zgarishga keltirish mumkin. Yonishning ikkinchi fazasini rivojlanishiga va davomiyligiga quyidagi omillar ta'sir qiladi.

τ_i davrida va yonishni ikkinchi fazasi davomida silindrga uzatilgan yonilg'ining miqdori va holati. Purkashni *1* tavsifida (3.41-*b* rasm) τ_i davrda uzatilgan yonilg'i miqdori kam shuning uchun $(dp/d\varphi_{max})$ ham kam. Yonilg'ining dastlabki purkalgan ulushi qancha mayda to'zitilsa va zaryad hajmini tez egallasa, ikkinchi fazada issiqlik ajralib chiqishi va bosimni ko'tarilishi shuncha jadal kechadi.

Zaryad harakatining tezligi. Zaryad harakatining tezligini bir qancha miqdorgacha oshirilishi tez yonish fazasida issiqlik ajralib chiqishini jadallashishiga yordam beradi. Kuchli o'ta uyurmalanishda yonishning ikkinchi fazasining ikkinchi qismida ajralib chiqadigan issiqlik miqdori kamayadi. Ushbu fazaning birinchi qismida issiqlik ajralib chiqish jadalligi kamaymaydi.

Yonish kamerasining turi. τ_i davrini davomiyligiga, shuningdek, τ_i davrda va alangalanish boshlanganidan so'ng alangalanishga tayyorlangan yonilg'i-havo aralashmasi miqdoriga ham ta'sir qiladigan yonish kamerasini turiga



3.41-rasm. **Indikator diagrammasi va issiqlikni kiritish d va ajralib chiqish χ_x tavsiflari:** *a* — yonish fazalari; *b* — yonganda silindrdagi bosimni o'zgarishiga purkash tavsifi shaklining ta'siri.

yonishning ikkinchi fazasini rivojlanish xususiyati jiddiy bog'liq. Devor yaqini doirasiga qancha ko'p yonilg'i uzatilsa, issiqlik ajralib chiqish va bosimni ko'tarilish tezligi shuncha kam bo'ladi.

Yuklama. Yuklamani kamayishida purkaladigan yonilg'i miqdorini va uning uzatish davomiyligini kamayishi bilan bog'liq bo'lgan yonishning ikkinchi fazasining tugash qismi hisobiga uning davomiyligi qisqaradi.

Aylanishlar chastotasi. Aylanishlar chastotasini ortishida τ_{II}, TVB gradusida ifodalangan θ_{II} ning davomiyligi deyarli ortmaydigan darajada qisqaradi. Bu kimyoviy reaksiyaning tezlashishiga yordam beradigan yonilg'i to'zitilishini yaxshilanishi, vaqt bo'yicha purkash davomiyligini qisqarishi, zaryadning harakatlanish jadalligini ortishi, zaryad holat ko'rsatkichlari p va T ni ortishi bilan bog'liq.

Katta yuklanishlarda va nadduvli dizellarda yaqqolroq ifodalangan **yonishning uchinchi fazasi** yoki tez diffuzion yonish bosim eng yuqori qiymatga erishgan paytda boshlanadi va undan keyin erishadigan eng yuqori harorat paytida tugaydi. Ushbu fazani kechishi ikkinchi fazani tugashidan so'ng jadal issiqlik ajralib chiqishini sodir bo'lishi bilan bog'liq. Issiqlik ajralib chiqish va hajm ortish tezliklari birgalikda ma'lum qiymatga erishganda bosimni hajm o'zgarishiga yuqori darajada sezgirligi tufayli $p \sim \frac{1}{V^{n_2}}$ bosim pasaya boradi. Zaryad harorati hajmning o'zgarishiga kam darajada bog'liq $\left(T \sim \frac{1}{V^{n_2-1}}\right)$, shuning

uchun harorat pasayishi hajmni yuqori tezlik bilan kattalashishida, ya'ni YUCHN dan uzoqlashganda boshlanadi. Uchinchi fazada jadal aralashish bilan diffuzion yonishga o'rin bo'ladi. Yonilg'i alangaga uzatiladi. Yonilg'ining miqdori ko'p bo'lgan doirada qorakuya (qurum) hosil bo'lishini jadalligi sodir bo'ladi. Alangaga purkaladigan yonilg'i ulushi alangalanishini kechikish davri nisbatan ko'p bo'lmaydi. Issiqlik ajralib chiqish boshqariladigan hisoblanadi. Ayrim hollar (masalan, yuqori bosim ostida kiritiladigan dizellar)da yonishni ko'rib chiqilayotgan fazasida va ikkinchi fazasida issiqlik ajralib chiqishni tezligi mohiyati bo'yicha bir-biriga yaqin.

Yonishning uchinchi fazasini rivojlanishiga quyidagi omillar ta'sir qiladi.

Yonishni boshlanishidan keyin purkaladigan yonilg'ining to'zitilish sifati va miqdori. Agar yonilg'ini purkalishi uchinchi fazani boshlanishigacha tugallansa, u holda ushbu fazada ajralib chiqadigan issiqlikning miqdori ko'p bo'lmaydi. Bunday hodisa, xususan, dizelning kam yuklanishlarida ro'y beradi.

Havo zaryadi harakatining tezligi. Zaryad harakati tezligini ma'lum eng maqbul qiymatigacha oshirilishi, uchinchi fazada issiqlik ajralib chiqishini ko'paytiradi. Zaryadni «o'ta uyurmalanishi» da uchinchi fazadagi issiqlikni ajralib chiqishi kamayadi. Bu zaryad hajmida yonilg'i taqsimlanishini yomonlashishi va yonish mahsulotlarini bir alanga doirasidan boshqa doiraga ko'chishi bilan bog'liq hisoblanadi. Ikkala omil ham chala yonishni ko'paytiradi va dizelni tutab chiqishini keltirib chiqaradi.

Havoni bosim ostida kiritish. Bosim ostida kiritishni qo'llash issiqlik ajralib chiqishini ko'paytiradi. Bosim ostida kiritishda uchinchi faza davomida ajralib chiqadigan issiqlikning miqdori ikkinchi faza davomida ajralib chiqadigan issiqlik miqdoridan ko'p bo'lishi mumkin. Bunda issiqlik ajralib chiqish tezligi ham yuqori bo'ladi. Bosim ostida kiritish darajasini ortishi bilan uchinchi fazaning davomiyligi va ushbu davrda issiqlikni ajralib chiqishi ko'payadi.

Aylanishlar chastotasining ortishi. n ni ortishi tufayli yonilg'ini uzatish va to'zitish jadallashadi, zaryad harakatini tezligi esa ortadi. Uchinchi fazani vaqt bo'yicha davomiyligi qisqaradi, gradus bo'yicha esa ozgina ko'p bo'lishi mumkin.

Yonishning to'rtinchi fazasi (yonib tugash) sikl eng yuqori haroratga erishgan paytdan boshlanib, issiqlik ajralib chiqishni tugashigacha davom etadi. Ushbu fazada aralashishni kam tezligida diffuzion yonish ham sodir bo'ladi, chunki yonilg'i va oksidlagichning asosiy qismi sarflangan bo'ladi. Qulay sharoitda yonishni oldingi fazalarida hosil bo'lgan qorakuyani yetarlicha to'liq yonib tugashi sodir bo'ladi.

To'rtinchi fazaning rivojlanishiga quyidagi omilar ta'sir qiladi.

Zaryadning turbulentli pulsatsiyasi. Ular yonilg'i va havo zarrachalarini o'z vaqtida bir-biriga tegib turish ehtimolligini orttiradi. Yuqori chastotali pulsatsiya yonishni tugashi uchun zarur bo'lgan qorakuya va zaryad zarrachalari orasidagi nisbiy tezlikni ta'minlaydi.

Purkash oxirida uzatiladigan yonilg'i ulushining to'zitish sifati. Tomchining eng katta diametri qancha katta bo'lsa, yonilg'ining yonib tugash jarayonini davomiyligi shunchaga ko'p bo'ladi. Purkash bosimining pasayish davomiyligini

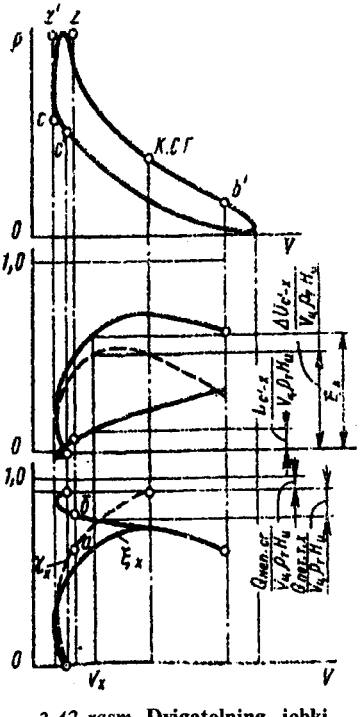
cho'zilib ketishi, qayta purkash yonish jarayonini cho'zilib ketishini va qorakuyani hosil bo'lishini ruxsat etib bo'lmaydigan darajaga olib keladi. Bunda faqat issiqlikdan foydalanish yomonlashib qolmasdan, to'zitish teshiklarini kokslanishi va detallardagi cho'kindilarni yuqorililigi tufayli dizelni ishonchli ishlashi ham pasayadi.

Silindr ichi bo'shlig'ining sovuq sathiga yonilg'ini tushishi. Bu hodisa ham yonib tugashni cho'zilib ketishiga olib keladi, shuning uchun dizelni qizishigacha uni yuklantirish maqsadga muvofiq emas.

Bosim ostida kiritish. Purkash davomiyligini cho'zilib ketishi tufayli bosim ostida kiritish yonib tugash jarayonini birmunchaga cho'zilib ketishiga olib keladi, ko'pincha yonish kamerasining hajmida yonilg'i taqsimlanishini yomonlashtiradi.

3.6. ISSIQLIK KIRITISH, AJRALIB CHIQISHI VA UNDAN FOYDALANISH TAVSIFI. KENGAYISH JARAYONI BOSHLANISHIDAGI PARAMETRLARNI HISOBLASH

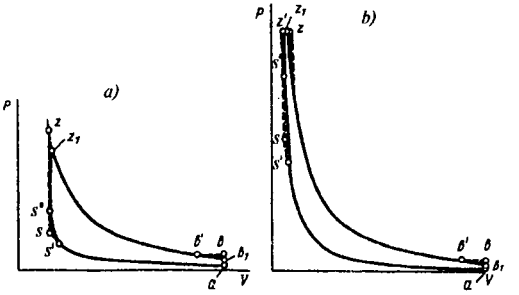
Indikator diagrammadan foydalanib, issiqlikni ajralib chiqish hamda foydalanish qonuniyatini o'rnatish va dvigatelning ichki issiqlik balansini tuzish mumkin. 3.42-rasmda indikator diagramma va issiqlikni kiritish hamda ajralib chiqishi birgalikda ko'rsatilgan.



3.42-rasm. **Dvigatelning ichki issiqlik balansi.**

Issiqlikni kiritish tavsifi deb, o'lchamsiz ko'rinishda qurilgan, purkashni integral tavsifi bilan mos keladigan tirsakli valning burilish burchagiga yoki vaqtga bog'liq bo'lgan $\sigma = V_{pur}\rho_{yo}I_u / \left(V_s\rho_{yo}I_u\right)$ nisbat tushuniladi.

Issiqlik ajralib chiqish tavsifi deb, ko'rsatib o'tilgandek, issiqlik ajralib chiqish koeffitsiyenti χ ni tirsakli valning burilish burchagiga yoki vaqtga bog'liqligi tushuniladi. Issiqlik ajralib chiqish tavsifini hisoblash uchun $Q_x = \Delta U_{c'-x} + L_{c'-x} + Q_{isr.x}$ balans tenglamasidan foydalaniladi, bunda $\Delta U_{c'-x}$ — alangalanish paytidan joriy paytgacha zaryadning ichki energiyasini o'zgarishi; $L_{c'-x}$ — alangalanish paytidan joriy paytgacha gazlarni bajargan ishi; $Q_{isr.x}$ — alangalanish paytidan joriy paytgacha davr ichida zaryad atrofidagi detallarga undan berilgan issiqlik miqdori. Ko'rilayotgan paytgacha siklda kiritilgan issiqlikni ishchi



3.43-rasm. **Uchqundan o't oldiriladigan dvigatel (a) va dizelning (b) siqish-kengayish diagrammasi.**

jismning ichki energiyasini orttirishga va ish bajarishiga sarflangan issiqlik ulushi sifatida *issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti* ξ_x tushunchasi kiritiladi:

Q_x ifodasini $V_s \rho_{yo} H_u$ ga bo'linsa, $\chi_x = \xi_x + Q_{isr.x} / (V_s \rho_{yo} H_u)$ hosil bo'ladi. $(1 - \chi_x)$ ayirma ko'rilayotgan vaqtda ajralib chiqmagan issiqlikning nisbiy qismini tavsiflaydi.

3.42-rasmda zaryad hajmi funksiyasida dvigatelning ichki issiqlik balansi ko'rsatilgan. YUCHN gacha qismida $L_{c'-x}$ manfiy, chunki ish zaryadni siqishga sarflanadi. YUCHN dan keyin biror paytda ish manfiy ishning o'rnini qoplaydi va $L_{c'-x} = 0$ bo'ladi. Keyinchalik kengayishning oxirigacha $L_{c'-x}$ ortadi. $\Delta U_{c'-x}$ harorat eng yuqori haroratga erishgunicha kattalashadi. $\Delta U_{c'-x}$ ni aniqlashda, havoning ortiqlik koeffitsiyenti α ning berilgan qiymatida butun jarayon uchun zaryad tarkibi taxminan nazariy yonish mahsulotlariga mos keladi deb qarash mumkin. Zaryadning devorga o'tkazgan issiqlik miqdorini hisoblash uchun 2.2.2-bandda keltirilgan (2.45) tenglamadan foydalanish mumkin.

3.42-rasmdagi $Q_{ch.yo}$ chala yonish natijasida ajralib chiqmagan issiqlikning miqdori. Uni ishlatilgan gazlarning tahlili bo'yicha aniqlash mumkin. Ichki issiqlik balansi issiqlik energiyasini ajralib chiqishi va mexanik energiyaga aylanishi dinamikasi, shuningdek, issiqlik yo'qotish dinamikasi to'g'risida ham ko'rgazmali tasavvur beradi. Porshenli dvigatellarda zaryaddan devorlarga o'tib ketgan issiqlikdan tashqari yonishni o'z vaqtida sodir bo'lmasligi va chala yonishi natijasida ham issiqlik isroflari bo'ladi. 3.42-rasmdagi *ab* kesim, xususan issiqlik ajralib chiqish o'z vaqtida bo'lmaganligini bildiradi.

Kengayish jarayonini boshlanishi z nuqtadagi ko'rsatkichlar holatining hisoblash uslubini ko'rib chiqamiz. 3.43-b rasmda dizelning haqiqiy (uzluksiz chiziq) va birmuncha ideallashtirilgan hisoblangan (shtrixlangan chiziq) siqish — kengayish diagrammasi keltirilgan.

Hisoblangan diagrammada yonish YUCHNda boshlanadi va bosimni o'zgarishi issiqlik aralash usulda beriladigan termodinamik sikl kabi bo'ladi deb qabul qilingan. Hisoblangan diagramma chiqarish klapani ochilganda bosimni kamayish xususiyatidagi o'zgarishni ham e'tiborga olmaydi. Hisoblangan

diagrammaga nisbatan haqiqiysi «doiralangan» deb hisoblanadi. Dizelning haqiqiy diagrammasida z nuqta taxminan yonishning uchinchi fazasini tugash paytiga mos keladi. Quyida bayon qilinadigan hisoblash uslubi, o'xshash konstruksiyali dvigatellardagi issiqlik ajralib chiqish tadqiqotlari natijalari bo'yicha loyihalanadigan dvigatelning doiralanmagan indikator diagrammasini z nuqtasida faol issiqlik ajralib chiqish koeffitsiyenti miqdorini yetarlicha aniqlik bilan yaqinlashishini baholash mumkinligiga asoslangan. Termodinamikaning birinchi qonunga asosan z nuqta uchun quyidagini yozish mumkin (tenglamani soddalashtirish uchun 1 kg yonilg'ini yonishi ko'rib chiqiladi).

$$\xi_z H_u = \Delta U_{s-z} + L_{s-z}, \qquad (3.14)$$

bunda: $\Delta U_{s-z} = U_z - U_s'$, biroq $U_z = u_z''(M_z + M_r)$ (u_z'' – z nuqtadagi 1 kmol yonish mahsulotlarini T_z haroratdagi ichki energiyasi, ma'lumotnomalarda keltirilgan gazlarning issiqlik sig'imi yoki ichki energiyasi miqdori bo'yicha hisoblanadi); $U_s = u_s M_1 + u_s'' M_r$ (u_s va u_s'' – c nuqtadagi 1 kmol havo va yonish mahsulotlarini T_s haroratdagi ichki energiyasi).

Diagrammaning $s-z'$ qismida ish bajarilmaydi. $z-z'$ qismida gazlarning ishi quyidagicha bo'ladi:

$$L_{s-z} = L_{z'-z} = p_z V_z - p_{z'} V_{yo}.$$

$p_{z'} = p_s \lambda$ bo'lganligi tufayli

$$L_{s-z} = p_z V_z - \lambda p_s V_{yo}.$$

Holat tenglamasi bo'yicha, $p_z V_z = 8314(M_2 + M_r)T_z$ va $p_s V_{yo} = 8314(M_1 + M_r)T_s$. Ushbu ifodalarni hisobga olish bilan (3.14) ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\xi_z H_u + M_1 u_s + 8314(M_1 + M_r)\lambda T_s = (M_2 + M_r)u_z'' + 8314(M_2 + M_r)T_z.$$

Oxirgi ifodani $(M_1 + M_r)$ ga bo'lib, $M_r / M_1 = \gamma$ va $(M_2 + M_r)/(M_1 + M_r) = \mu$ bo'lishini e'tiborga olinsa, quyidagi formula hosil bo'ladi:

$$\xi_z H_u / [M_1(1+\gamma)] + (u_s + \gamma u_s'')/(1+\gamma) + 8314\lambda T_s = \mu(u_z'' + 8314 T_z). \qquad (3.15)$$

3.43-a rasmda uchqundan o't oldiriladigan dvigatelni siqish-kengayishini haqiqiy va hisobli diagrammasi keltirilgan; ushbu holatda $\xi_z H_u = U_z - U_s$.

$\alpha > 1$ bo'lganda oxirgi tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{\xi_z H_u}{M_1(1+\gamma)} + \frac{u_s + \gamma u_s''}{1+\gamma} = \mu u_z''. \qquad (3.16)$$

3.4-*jadval*

Dvigatellar	p_z, MPa	λ	ξ_z	T_z, K	$(dp/dj)_{max}$ MPa/grad TVB
Ajratilmagan yonish kamerali dizellar	7,5...15*	1,4...2,1*	0,70...0,82	1800...2200	1,2 gacha
Devor yaqinida aralashma hosil qilinadigan dizellar	6,5...8,0	1,4...1,9	0,65...0,75	1750...2100	0,3...0,6
Ajratilgan yonish kamerali dizellar	6,0...7,5	1,2...1,8	0,60...0,75	1700...2000	0,25...0,40
Benzinda ishlaydigan	3,0...5,5	3,6...4,0	0,80...0,90	2500...2850	0,15...0,25

* Bosim ostida kiritiladigan dvigatellarda.

$\alpha < 1$ bo'lganda yonilg'ini yonishida issiqlikning bir qismi $(\Delta H)_{kim}$ ajralib chiqmaydi, u holda (3.16) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\xi_z (H_u - \Delta H_u) / [M_1 (1 + \gamma)] + \\ + (u_s + \gamma u_s'') / (1 + \gamma) = \mu u_z''. \qquad (3.17)$$

(3.15)...(3.17) tenglamalar ketma-ket yaqinlashtirish yoki chiziqli tasvir* usuli bilan yechiladi.

u_c'' va u_z'' larni hisoblash $u_c'' = \sum_{i=1}^{n} r_i u_{ci}$ va $u_z'' = \sum_{i=1}^{n} r_i u_{zi}$ ifodalar bo'yicha amalga oshirilishi mumkin.

Bunda: r_1 — yonish mahsulotlari tashkil etuvchilarini hajmiy (molar) qismi u_{ci} va u_{zi} — 1 kmol yonish mahsulotlarini tashkil etuvchilarini mos holda T_s va T_z haroratlaridagi ichki energiyasi. Ularning qiymatlari ma'lumotnomalarda keltirilgan. Dizel uchun T_z ni hisoblashda yonish kamerasini turiga bog'liq bo'lgan bosimning ortish darajasi berilishi kerak. Barcha hollarda issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti ξ_z ning qiymati beriladi. Dizelning ishlashini nominal rejimi uchun λ va ξ_z larni tavsiya etiladigan qiymatlari 3.4-jadvalda keltirilgan.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun $\lambda = \mu T_z / T_s$ ga teng, u holda hisoblanadigan bosim $p_z = \lambda p_s$ ga teng bo'ladi. Ushbu holatda siklning eng yuqori bosimining haqiqiy qiymati $p_z = 0{,}85 p_z$ bo'ladi. z nuqta bilan ifodalanadigan holatdagi dizel silindri hajmi z va c nuqtalar uchun holat

* $U_z'' = (T_z, \alpha)$ empirik bog'liqlikdan foydalanilganda tenglamani analitik yechish mumkin.

tenglamalaridan foydalanib aniqlanadi. Ushbu tenglamalarni bir-biriga bo'lib quyidagini olamiz:

$$\lambda\rho = \mu\left(T_z/T_s\right) \text{ bundan } \rho = \left(\mu/\lambda\right)\left(T_z/T_c\right). \qquad (3.18)$$

u holda

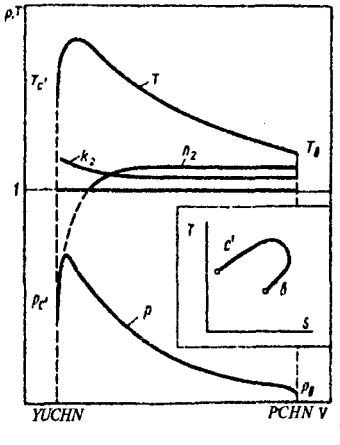
$$V_z = V_{yo}\rho.$$

3.7. KENGAYISH JARAYONI

Porshenning ish yo'li davomida kechadigan kengayish foydali ish bajarib, dvigatel valida ijobiy burovchi momentni ta'minlaydigan bosimsiz kiritiladigan dvigatellardagi birdan-bir jarayon hisoblanadi.

Kengayish issiqlik almashinuv sathlarini va porshen usti bo'shlig'idagi bosimni o'zgaruvchan qiymatlarida sodir bo'ladi hamda halqasimon zichlik orqali ishchi jismni ozgina miqdorda yo'qolishi bilan kuzatiladi.

Kengayish jarayonining boshlanishida yonilg'i yonishi davom etadi. Uning issiqligi, asosan, ishchi jism ichki energiyasini oshirishga ketadi, chunki porshenning siljishi ko'p emas va gazlarni sodir qiladigan ijobiy ishi ham kam. Yonishda ajralib chiqqan issiqlikning bir qismi yonish kamerasi sathi orqali sovitish tizimiga o'tkaziladi. Tirsakli valni aylana borishida porshen usti hajmini ko'payishiga qaramasdan, porshenni YUCHN dan siljishini boshlanishida yonilg'ini yonishida issiqlik ajralib chiqish miqdorini issiqlik almashinuv va ish bajarishga sarflanganidan ko'p bo'lganligi tufayli silindrda bosim ko'tariladi. Porshen YUCHN dan o'tgandan so'ng dizellarda bosimni ko'tarilishi uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarga qaraganda ko'p davom etadi. Zaryad bosimining ortishini keltirib chiqaradigan yonishda ajralib chiqqan issiqlik, kengayish taktini boshlanishida politrop kengayish ko'rsatkichi n_2 ni joriy qiymati manfiyligini oqibati hisoblanadi.



3.44-rasm. **Kengayish jarayonida *T*, *p*, *S*, n_2 va k_2 larning o'zgarishi.**

Porshenning PCHN tomon keyinchalik siljishida yonilg'ini yonishida issiqlik ajralib chiqishini kamayishi, shuningdek, ish bajarishga va issiqlik almashinuviga sarflangan issiqlikni ortishi kuzatiladi. Ushbu hodisaning natijasi bo'lib, bosim ortishini sekinlashishi va uning eng yuqori qiymatiga erishishi hisoblanadi, so'ngra uning keskin pasayishi boshlanadi.

Silindrda ishchi jism haroratining eng yuqori qiymatiga p_z dan keyin erishadi. Eng yuqori bosim va harorat oralig'ida kengayish politropi n_2 ning oniy miqdori musbat bo'laboshlaydi. T_{max} ga erishilganda yonilg'ini yonib tugashida

ajralib chiqadigan issiqlik gazlarni sodir qiladigan ishiga teng bo'lib qoladi (devorlarga o'tib ketgan isroflarni ayirish bilan), ya'ni qandaydir lahzada kengayish jarayoni kvaziizotermik bo'lib qoladi va $n_2 = 1$ bo'ladi. Ushbu lahzadan boshlab harorat pasayishi boshlanadi.

Porshenning pastga siljishida zaryad hajmini keyinchalik kattalashishi birmuncha vaqtda yonilg'ini yonib tugashidagi issiqlik berish issiqlikni devorga o'tishidagi isrofiga teng bo'lib qolishiga olib keladi. Ushbu paytda politrop ko'rsatkich n_2 ning miqdori adiabat ko'rsatkichi k_2 ga teng bo'ladi. Demak, ushbu paytda ishchi jismning ichki energiyasi hisobiga ish sodir qilish bilan birga kvaziadiabat kengayishga o'rin bo'ladi.

Taktni boshlanishida dissotsiatsiya natijasida yo'qotilgan va molekulalarni keyinchalik rekombinatsiyalanishi (qayta tartiblanishi) da qayta ajralib chiqadigan issiqlik, dissotsiatsiya mavjud bo'lmaganda foydalanish mumkin bo'lgandagiga qaraganda kam samara (kengayishni kam darajadaligi) bilan foydalaniladi.

Shunday qilib, kengayish jarayoni davomida kengayish politrop ko'rsatkichining joriy qiymatini monotonli kattalashishi sodir bo'ladi (3.44-rasm). Hisoblashlarda, odatda, n_2 ning o'rtacha qiymatidan foydalaniladi. Buning uchun muvofiq kelgan tajribalarni ishlab chiqish yo'li bilan dvigatelning konstruksiyasini va ishlash rejimini o'ziga xosligiga bog'liq holda hisoblashlarni bajarish uchun n_2 ni tanlashga imkon beradigan ma'lumotlar olinadi.

Kengayish jarayoni oxiridagi ishchi jism ko'rsatkichlari politrop jarayoni ifodalari bo'yicha aniqlanishi mumkin:

$$p_b = p_z \left(\frac{1}{\delta}\right)^{n_2}, \tag{3.19}$$

va

$$T_b = T_z \left(\frac{1}{\delta}\right)^{n_2-1}. \tag{3.20}$$

bunda: $\delta = V_b / V_z$ — keyinchalik kengayish darajasi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun $(\delta = \varepsilon)$

$$p_b = p_z \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{n_2}, \tag{3.21}$$

$$T_b = T_z \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{n_2-1}. \tag{3.22}$$

Politrop ko'rsatkich n_2 miqdorini tanlash. n_2 ko'rsatkich dvigatelning turiga, uning konstruksiyasini o'ziga xosligiga va ishlash rejimiga bog'liq. Silindr devori orqali issiqlikni yo'qolishi hajm birligiga to'g'ri keladigan sath (F / V_z) ga bog'liq, u holda silindr hajmi V_a o'zgarmas bo'lganda uning diametrini kattalashtirish issiqlik almashinuvchi nisbiy sathlarni kamayishi bilan

kuzatilishi kerak, chunki qisqa yo'lli dvigatellar uchun n_2 ko'rsatkich shunday hajmli uzun yo'lli dvigatellarga qaraganda kam bo'lishi kerak.

n_2 ko'rsatkich miqdorini silindr o'lchamlarini proporsional ravishda ortishi ham kamaytiradi, chunki ushbu holatda ham F/V_a nisbat kamayishi kerak.

n_2 ning miqdoriga tirsakli valning aylanishlar chastotasi bilan aniqlanadigan issiqlik almashinuvi vaqti jiddiy ta'sir qiladi. Aylanishlar chastotasini ortishi bilan issiqlik almashinuvi vaqti kamayib, n_2 ni ham kamaytiradi. Yonish jarayonini tirsakli valning burilish burchagi bo'yicha birmunchaga cho'zilib ketishi ham keltirilgan yo'nalish bo'yicha ta'sir qiladi. Agar uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda bu cho'zilib ketish aralashmani birmuncha ilgariroq yondirish bilan o'rni to'ldirilsa, dizelda esa kengayish chizig'ida ko'p issiqlik ajralib chiqishi tufayli politrop ko'rsatkichi n_2 kamayadi.

Dizellarda yuklamani kamayishiga sikllik yonilg'i miqdorini kamaytirish bilan erishiladi. Shuning uchun kengayish chizig'ida issiqlik ajralib chiqish miqdori kamayadi va bunda n_2 ko'rsatkichning o'rtacha qiymati ortadi.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda yuklamani kamayishi noqulay sharoitda silindrda oz miqdordagi ishchi aralashmani yondirish bilan bog'liq. Buning natijasida yonish jarayoni cho'zilib ketadi va bir vaqtning o'zida issiqlik almashinuvidagi issiqlikning nisbiy yo'qolishi ortadi. Bundan tashqari drossel qopqoqni bekila boshlanishida uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda aralashmani birmunchaga quyuqlashishi kuzatiladi, bu yonish tezligini ozgina kamaytiradi, ilgariroq yondirish bilan n_2 ni kamaytirish kerak. Buning natijasida drossel qopqoq 100 dan 50% gacha bekilganda politrop kengayish koeffitsiyenti deyarli o'zgarmaydi. Kam yuklanishlarda n_2 birmunchaga ortadi.

Dvigatelni isitishda yonish kamerasi va silindrlar devorlariga issiqlikni ko'p o'tish isrofi kuzatiladi, shuning uchun n_2 ko'rsatkichning miqdori ko'payishi kerak. Boshqa tomondan silindr, porshen guruhlari detallari uchun issiqlik o'tkazuvchanligi kam bo'lgan keramik ashyolardan foydalanilsa, n_2 qiymatini kamayishiga olib kelishi kerak.

Dizel va benzinda ishlaydigan dvigatellar uchun politrop ko'rsatkichi n_2 ni, shuningdek kengayish jarayoni oxiridagi bosim va haroratlarni qiymatlari 3.5-jadvalda keltirilgan.

3.5-jadval

Dvigatel turi	Ko'rsatkichlar nomi		
	n_2	p_b, MPa	T_b, K
Benzinda ishlaydigan dvigatellar	1,23...1,30	0,35...0,5	1200...1500
Avtotraktor dizellari	1,18...1,28	0,2...0,40	1000...1200

IV BOB
INDIKATOR VA SAMARALI KO'RSATKICHLAR DETALLARDA ISSIQLIK YUKLAMALARI ISSIQLIK BALANSI

4.1. INDIKATOR KO'RSATKICHLARI

4.1.1. UMUMIY HOLAT

Indikator ko'rsatkichlari deb, dvigatel silindrida gazlarning sodir qiladigan ishini tavsiflaydigan kattaliklarga aytiladi. Ularga indikator quvvat, o'rtacha indikator bosim, indikator FIK, solishtirma indikator yonilg'i sarfi kiritiladi.

Dvigatel silindridagi (indikator diagramma) jarayonlar majmuasini termodinamik siklga yaqinlashish darajasi nisbiy FIK $\eta_0 = \frac{\eta_i}{\eta_t}$ bilan baholanadi. U holda indikator FIK quyidagicha ifodalanishi mumkin: $\eta_i = \eta_t \cdot \eta_0$, bu yerda: η_t — haqiqiy sikldagi siqish darajasiga teng bo'lgan termodinamik siklda issiqlikning ishga aylanishini takomillashganligini baholaydigan termik FIK; η_0 — quyidagi sabablarga ko'ra birdan kichik bo'lgan nisbiy FIK:

— ishchi jismning issiqlik sig'imi haroratga va jismni tarkibiga bog'liq, shu bilan birga (bir vaqtning o'zida) yuqorida keltirilgan termodinamik sikllarning ko'rib chiqilishida u o'zgarmas va normal sharoitda havoning issiqlik sig'imiga teng deb qabul qilinadi. Haroratning ko'tarilishi bilan issiqlik sig'imining ortishi, termodinamik siklga nisbatan, yonilg'ini yonishi natijasida issiqlik berilishi tufayli harorat va bosimning ortishini va kengayishi ishini kamligi oqibatida kelib chiqadi. Bu sikl ishini va indikator FIK ni kamaytiradi;

— haqiqiy siklni YUCHN yaqinida issiqlikni yutilishi kuzatiladigan yonish mahsulotlarining dissotsiatsiyasi sodir bo'ladi. Molekulalarning rekombinatsiya (qayta tartiblanish) bo'lishida issiqlikni ajralib chiqishi PCHN yaqinida ro'y beradi. Bu ham sikl ishini va indikator FIK ni kamaytiradi;

— haqiqiy siklda sovitish muhitiga issiqlikni o'tib isrof bo'lishiga o'rin bo'ladi, buning natijasida (shunday miqdorda ajralib chiqadigan issiqlikda) sikl ishi va η_i kamayadi;

— yonish jarayoni ma'lum davomiylikka ega. Kengayish taktida ajralib chiqadigan issiqlikdan mexanikaviy energiya olish uchun foydalanish samarasi YUCHN yaqinida berilgan issiqlikka qaraganda kamroq. Bularga muvofiq bo'lgan issiqlikning isrofi yonishni o'z vaqtida bo'lmasligi oqibatidagi isrof deb ataladi;

— yonilg'i chala yonishi natijasida issiqlikning bir qismi ajralib chiqmaydi, bu ham η_0 va η_i larni kamaytiradi.

Sanab o'tilgan issiqlik isroflarini ko'p qismi ta'sirini differensiyalangan baholanishi hisoblash sikllarini qo'llash bilan bajarilishi mumkin.

1 minut davomida dvigatel silindrlarida gazlarning bajargan ishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$p_i V_h (2n/\tau) i,$$

bunda: n — dvigatel valining aylanishlar chastotasi; τ — taktlar soni; i — silindrlar soni.

U holda 1 sekund davomidagi ish yoki indikator quvvati (kVt).

$$N_i = p_i V_h n i / (30\tau), \tag{4.1}$$

bunda: p_i — MPa da; V_h — l da, n — min^{-1} da.

Moment quvvat bilan $M_i = N_i / \omega$ ko'rinishdagi bog'liqlikka ega bo'lganligi tufayli indikator moment quyidagiga teng bo'ladi (N · m), bunda $\omega = \pi n / 30$

$$M_i = 1000 p_i V_h i / (\pi\tau) = K_m p_i, \tag{4.2}$$

bunda, $K_m = 1000 V_h i / (\pi\tau)$.

Haqiqiy siklning tejamkorligini η_t dan tashqari vaqt birligida indikator quvvat birligiga sarflanadigan yonilg'i deb tushuniladigan solishtirma indikator yonilg'i sarfi bilan ham baholash mumkin, ya'ni $g_i = G_{yo} / N_i$, kg/(kVt · s), bunda: G_{yo} — yonilg'ining soatli sarfi, kg/s. $g_i H_u$ ifoda har bir kVt quvvatga 1 soatda silindrga kiritiladigan issiqlikni kJ dagisini bildiradi. U holda $g_i H_u \eta_i$ ifoda 1 kVt · s yoki 3600 kJ ga teng bo'lgan energiyani ifodalaydi.

Demak,

$$g_i = 3600 / (\eta_i H_u). \tag{4.3}$$

Agar ushbu ifodaga H_u ni MJ/kg o'lchov birligida qo'yilsa g_i ni g/(kVt · s) da olish mumkin.

η_i va o'rtacha indikator bosim orasidagi bog'liqlikni quyidagicha o'rnatamiz:

$$\eta_i = L_i / Q_1 = L_i / (G_{syo} H_u) = p_i V_h / (G_{syo} H_u).$$

Holat tenglamasi $p_{0(k)}V_h\eta_v = \mu RM_1G_{syo}T_{0(k)}$ dan ishchi hajm quyidagiga teng bo'ladi:

$$V_h = \mu RM_1G_{syo}T_{0(k)} / \left(p_{0(k)}\eta_v\right).$$

Agar $M_1 = \alpha l_0 / \mu_b$ deb qabul qilib, $T_{0(k)} / p_{0(k)} = 1 / \left(R_b\rho_{0(k)}\right)$ bo'lishi hisobga olinsa, u holda

$$V_h = \alpha l_0G_{syo} / \left(\eta_v\rho_{0(k)}\right)$$

va

$$\eta_i = p_i\left(l_0 / H_u\right)\left(\alpha / \eta_v\right)\left(1 / \rho_{0(k)}\right), \qquad (4.4)$$

bundan

$$p_i = \left(H_u / l_0\right)\left(\eta_i / \alpha\right)\eta_v\rho_{0(k)}. \qquad (4.5)$$

Aralashma tashqarida hosil qilinadigan dvigatellar uchun

$$p_i = \left[H_u / \left(1 + \alpha l_0\right)\right]\eta_i\eta_v\rho_{0(k)},$$

η_v va $\rho_{0(k)}$ lar yonilg'i-havo aralashmasi miqdori bo'yicha aniqlanadi.

4.1.2. DIZELNING INDIKATOR KO'RSATKICHLARIGA TURLI OMILLARNING TA'SIRI

Yonilg'i. Yonilg'i turi dizelning indikator ko'rsatkichlariga purkash va to'zitish parametrlarining o'zgarishi, bug'lanishi va alangalanishining farqi oqibatida ta'sir qilishi mumkin. Yonilg'ining fraksiya tarkibini o'zgarishida (yengil fraksiya qo'shilmasi) va α ning qiymati saqlab qolinishida aralashma hosil qilish usuliga bog'liq bo'lgan holda indikator ko'rsatkichlari yomonlashishi va yaxshilanishi mumkin.

Indikator ko'rsatkichlarining yomonlashishini ehtimolligi hajmiy aralashma hosil qilishda ko'proq. Bunday holat purkash davomiyligining cho'zilib ketishi va yonilg'i oqimi uzunligini qisqarishi bilan bog'liq (yengil yonilg'ining siqiluvchanligining ko'pligi tufayli purkash bosimi qiymatini kamayishi, shuningdek, qovushqoqligini va sirt tarangligini kamligi tufayli ham tomchi o'lchamlarining kichiklashishi va yonilg'i oqimlarini sochilish burchagini kattalashishi oqibatida).

Devor yaqinida aralashma hosil qilinadigan dizellarda indikator ko'rsatkichlarning yaxshilanishi yonib tugashni va yonilg'ini chala yonishini kamayishi tufayli sodir bo'lishi mumkin. Yonilg'i fraksiya tarkibini yengillashishi bug'lanayotgan tomchilar haroratini pasayishiga olib keladi. Bu bir xil haroratda bug'lari turli elastiklikka ega bo'lgan yonilg'ilarni bug'lanish tezligidagi farqini kamaytiradi.

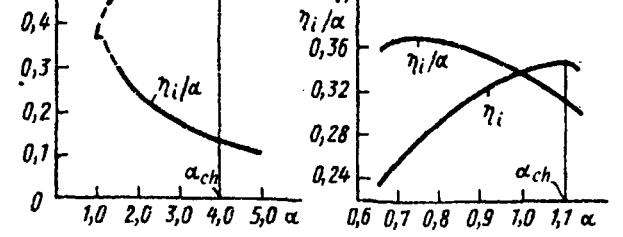
Yonilg'ining purkalishi amalga oshirilayotgandagi muhit harorati yuqori bo'lganda bug'lanish tezliklarini yaqinlashishi, ya'ni dizelning ishchi rejimlarida ayniqsa yuqori bo'ladi. Ishga tushirish rejimlarida bug'lanish tezligidagi farq ko'p bo'ladi va yengil fraksiyali qo'shilmalari dizelning ishga tushishini osonlashtirishi mumkin. Ishchi rejimlarida, yonilg'i fraksiya tarkibini yengillashishini alangalanish va yonish jarayonlariga ta'siri, asosan, setan sonini kamayishi, alangalanish kechikish davrini ko'payishi (alangalanish oralig'ida bo'lishi mumkin yoki umuman sodir bo'lmasligi mumkin) va tez yonish fazasida issiqlik ajralib chiqish tezligi bilan bog'liq.

Ayniqsa hajmiy aralashma hosil qilishda mos holda bosimning ortish tezligi va yonishning eng yuqori bosimi kattalashadi. η_i bilan baholanadigan issiqlikni ishga aylantirishni faqat yuqori darajada takomillashganligiga erishish emas, siklni solishtirma ishi (p_i) ni yuqori bo'lishiga olib keladigan η_i / α nisbatni ham iloji boricha ko'p bo'lishini ta'minlash muhim hisoblanadi.

Aralashma tarkibi(dizel yuklamasi). Dizel uchun $(\eta_i / \alpha)_{max}$ birmuncha suyuq aralashmada, $\eta_{i\,max}$ esa juda suyuq aralashmada sodir bo'ladi (4.1-rasm). Dizel uchun $\alpha_{\eta_{i\,max}}$ ning katta qiymati bir jinsli bo'lmagan aralashmadan foydalanish bilan tushuntiriladi.

Alangalanishning qiyinlashishiga silindrga faqat mayda sochiladigan (melkodispers) setan soni kam bo'lgan yonilg'ini uzatishda o'rin bo'lishi mumkin, chunki bunda uzoqqa cho'zilgan alangalanishni kechikish davrida aralashma bir jinsli bo'lishga ulguradi.

α ni $\alpha_{\eta_{i\,max}}$ gacha ko'payishida η_i ning oshish sababi chala yonish va o'z vaqtida yonmaslik bilan bog'liq bo'lgan yo'qotishni kamayishi hamda keyinchalik kengayish darajasini va zaryaddagi ikki atomli gazlar ulushini ko'payishi tufayli termik FIK ning oshishi hisoblanadi. Yuklamaning pasayishida (α ni ko'payishi) purkash va issiqlik ajralib chiqish davomiyligining kamayishini e'tiborga olish kerak. $\alpha > \alpha_{\eta_{i\,max}}$ bo'lganda η_i ning kamayishi yonilg'i to'zitilishini yomonlashishi va sovitish muhitiga issiqlik o'tishini nisbiy miqdorini ortishi bilan bog'liq.



4.1-rasm. **Dizel (a) va uchqundan o't oldiriladigan dvigatel (b) uchun η_i va η_i/α larning havoning ortiqlik koeffitsiyentiga bog'liqligi.**

Yuklamani o'zgarishida η_i ga purkashning ilgarilatish burchagi ta'sir qiladi. Yuklamani kamayishida purkashning ilgarilatish burchagi birmunchaga kichiklashsa eng yaxshi natija olinadi. Kam yuklanishlar doirasida tejamkorlikni oshishidan tashqari u yonishdagi bosimlarni, ularni o'sish tezligini va ishlatilgan gazlarning zaharliligini kamayishini ham ta'minlaydi.

$(\eta_i / \alpha)_{max}$ da p_i ning eng yuqori qiymati olinishiga qaramasdan dizel shunday mos ish rejimga hech qachon rostlanmaydi. Bu faqat η_i ning yuqoriroq qiymatini ta'minlashga intilish bilan bog'liq bo'lmasdan (4.1-rasm), $(\eta_i / \alpha)_{max}$ ga rostlanganda ishlatilgan gazlarning tutab chiqishi va detallarning issiqlikdan zo'riqishi haddan tashqari bo'lishi bilan ham bog'liq.

Detallarning sovitish sharoiti. Agar yangi sharoitda aralashma hosil qilish sifatini va issiqlik ajralib chiqishini kamayishidan holi bo'lishga erishilsa, maxsus konstruksiyali detallarni tayyorlash uchun issiqlik o'tkazuvchanligi past bo'lgan ashyolardan — issiqlikdan himoyalash qoplamalaridan foydalanib sovitish tizimiga o'tib issiqlik isrof bo'lishini kamaytirish va η_i ni oshirish mumkin.

Siqish darajasi. Setan soni kam bo'lgan yonilg'ilardan foydalanishda siqish darajasi ε ning ortishi ko'p hollarda dizelning ishlashiga yaxshi ta'sir qiladi, chunki haroratning ko'tarilishi bilan alanga oldi reaksiya tezligi bug'lanish tezligiga nisbatan ko'p darajada ortadi. Buning oqibatida θ_i qisqaradi va ushbu davrda hosil bo'ladigan yonuvchi aralashma miqdori kamayadi. Yonilg'i alangalanishining barqarorligi ortadi, yonishdagi bosimning ortish tezligi kamayadi. Fraksiya tarkibi turlicha bo'lgan yonilg'ilarda dvigatel ishining tavsiflari o'zaro yaqinlashadi. Biroq ε qiymati katta bo'lgan ko'p yonilg'ili dvigatellarning setan soni yuqori bo'lgan yonilg'ilarda ishlashini oddiy dizellar bilan taqqoslaganda ularning detallaridagi mexanik yuklamalar yetarlicha yuqori va ishga tushirish paytida dizelning tirsakli valini aylantirishga sarflanadigan quvvat ko'p bo'ladi.

Umuman oddiy dizellar uchun ε ortishini indikator ko'rsatkichlarini yaxshilash vositasi sifatida ko'rish mumkin emas. Bu sovuq holatida ishonchli ishga tushirish sharoitidan kelib chiqqan holda tanlangan eng kichik ruxsat etilgan siqish darajasini yetarlicha yuqoriligi bilan bog'liq. Siqish darajasining katta qiymatlari doirasida uni ko'paytirish η_i ni sezilarli darajada orttirmaydi, chunki termik FIK ning o'sishi ko'p emas, bir vaqtning o'zida esa sovitish muhitiga issiqlik o'tib, isroflar ko'payadi va yonish kamerasini «o'lik» doiralaridagi havoning ulushi ortadi. ε ning katta qiymatlarida aralashma hosil bo'lishini eng maqbul sharoiti ham buzilishi mumkin.

Yonish kamerasining turi. Ajratilgan yonish kameralari bo'lgan holatida issiqlik va gazdinamik yo'qotishlar ko'p, η_i esa birmuncha kam bo'ladi. Bir vaqtning o'zida bunday yonish kameralaridan foydalanish dvigatelning aylanishlar chastotasi bo'yicha kuchaytirishni osonlashtiradi. Bu n ning ortishida aralashma hosil qilish jadalligini va alanga oldi reaksiyalarni ziyodligi bilan bog'liq.

Ajratilgan yonish kamerali dizellarda alangalanishning kechikish davrini davomiyligi me'yorida qizigan dizelda kam va n ning ortishida tirsakli valni burilish burchagida ifodalangani kam darajada o'sadi. Bu aylanishlar chastotasining keng oralig'ida detallardagi o'rtacha yuklamalarda issiqlik ajralib chiqishni qulay imkoniyatini ta'minlaydi. Ajratilgan yonish kamerali dizellar α ning kichik qiymatlarida yonish kamerasi bir bo'shliqli bo'lgan dizellarga qaraganda tutamasdan va ishlatilgan gazlarini ruxsat etilgan zaharliligida ishlashi mumkin. Shuning uchun η_i ni kam bo'lishiga qaramasdan siklni o'rtacha bosimi ajratilmagan yonish kamerali dizelni p_i siga, odatda, yon bermaydi.

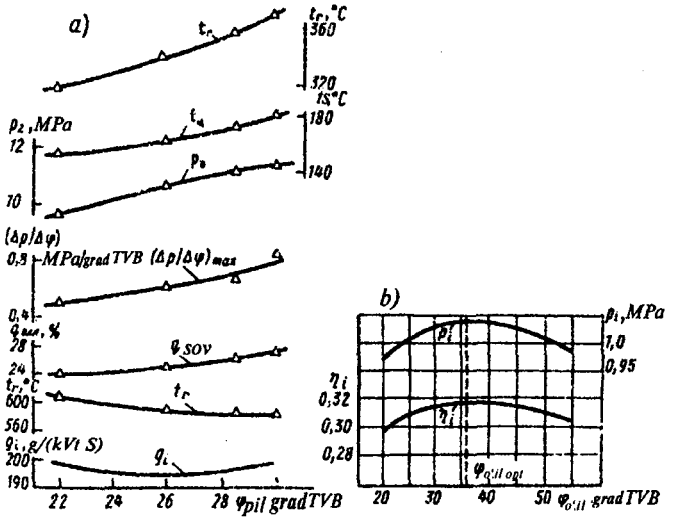
Purkash va to'zitish tavsiflari. η_i ning yuqori qiymatiga erishish uchun purkash va to'zitish tavsiflarini issiqlik ajralib chiqishi, asosan, YUCHN dan 35...40° o'tganidan so'ng nihoyasiga yetadigan qilib tanlanishi kerak. Bundan kelib chiqadigan yonilg'i purkash va to'zitishning o'ziga xosligiga bo'lgan talab aralashma hosil qilish usuliga bog'liq. Bu yerda η_i ni kamayishiga, tutab chiqishining yuqorililigiga va to'zitish teshiklarini kokslanishiga olib keladigan qayta purkash va jarayon oxirida tezligini pasayishini cho'zilib ketishiga yo'l qo'yib bo'lmasligini, shuningdek, yonilg'i to'zitilishini yetarlicha mayda bir jinsli va yonilg'i oqimlarining uzunligi har bir yonish kamerasi uchun eng maqbuli bo'lishini ta'minlanishi kerakligini ham ta'kidlab o'tamiz. Agar yonilg'i oqimini yonish kamerasi hajmiga yetarlicha kirib borishiga xavf bo'lmasa, jarayonni boshlanishida purkash bosimining o'sish tezligi kam bo'lgani maqsadga muvofiq, chunki bu dizelning «yumshoqroq» ishlashini ta'minlaydi.

Purkashni boshlanishi. $\varphi_{p.il}$ ni ortishi bilan yonishning eng yuqori bosimi p_z, bosimni ortish tezligi $(dp/d\varphi)_{max}$, sovitish muhitiga issiqlikni o'tib isrof bo'lishi q_{sov}, va kallak t_k va silindr t_s haroratlari ortadi (4.2-rasm).

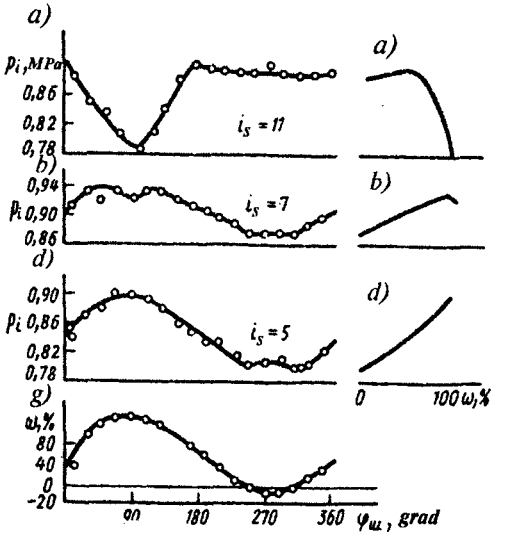
Bir vaqtning o'zida ishlatilgan gazlar harorati t_r va ular orqali yo'qotiladigan issiqlik miqdori kamayadi. Aylanishlar chastotasi va yonilg'ining sikllik uzatilishini birgaligidagi har biri uchun η_i va p_i larni eng yuqori qiymatlarga erishadigan $\varphi_{p.il.opt}$ ning eng maqbuli mavjud. Odatda, $\varphi_{p.il}$ ning eng maqbuli deb, unda $p_{i\,max}$ va $q_{i\,min}$ ga erishiladigan qiymatidan kichigi qabul qilinadi. Bu $\varphi_{p.il}$ ni eng maqbul qiymatidan ma'lum oraliqqacha kamayishida indikator ko'rsatkichlarini nisbatan ozgina yomonlashishi va tutab chiqishini oshishida $p_z, (dp/d\varphi)_{max}$ larni va azot oksidlari miqdorini jiddiy kamayishini ta'minlashi bilan bog'liq.

Zaryad harakatining tezligi. φ^0_{sh} burchak bilan xususiyatlanadigan ekranli (shirmali) kiritish klapanining holati o'zgarganda zaryad aylanishini burchak tezligi ω 4.3-g rasmda ko'rsatilgandek o'zgaradi.

Agar to'zitish teshiklari beshta bo'lsa, u holda ω ning ortishi p_i ni ko'tarilishini keltirib chiqaradi (4.3-d, d' rasm uyurmani ijobiy ta'siri). $i_s = 7$ va 11 ga teng bo'lganida (4.3-b, b', a, a' rasm) zaryad harakati tezligini ma'lum qiymatgacha ortishi p_i ni demak, η_i ni ham o'sishini keltirib chiqaradi. ω ni keyinchalik o'sishi o'ta uyurmalanishga olib keladi, u i_s ko'p bo'lgan holida yaqqolroq ifodalangan.



4.2-rasm. **Ilgarilatish burchagi bo'yicha tavsiflar:**
a — purkash (dizel); b — o't oldirish (benzinli dvigatel).

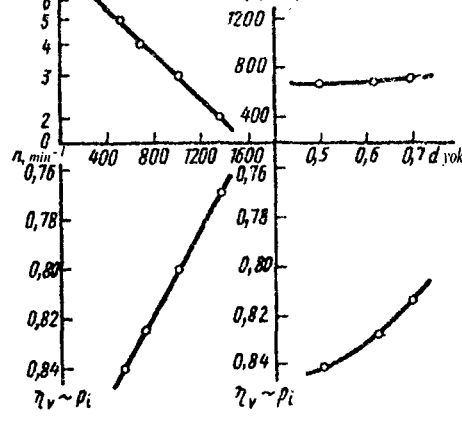


4.3-rasm. **Yonilg'i uzatish va aylanishlar chastotasi o'zgarmas bo'lganda siqish jarayoni oxiridagi zaryad harakatining o'rtacha burchak tezligining o'rtacha indikator bosimga ta'siri:** *a*, *b*, *d* — i_s 11,7 va 5 larga teng bo'lganda ekranli klapanning burilish burchagiga mos holda p_i ni bog'liqligi; *g* — ekranli klapanni burilish burchagiga foizda ifodalangan zaryad harakati burchak tezligini bog'liqligi; *a'*, *b'*, *d'* — i_s 11,7 va 5 larga teng bo'lganda mos holda foizda ifodalangan zaryad harakatini burchak tezligiga p_i ni bog'liqligi.

O'ta uyurmalanishda yonilg'ining chala yonishi ko'payadi, dizelning tutab chiqishi ortadi. Kiritishda hosil qilinadigan zaryadning harakat tezligi to'zitish teshiklari soni va yonish kamerasi diametri bilan muvofiqlashtiriladi. i_c ni ko'payishi va $d_{yo.k.} / D$ ni kamayishi zaryadning kerakli harakat tezligini (kiritishda barpo qilinadigan) kamayishini keltirib chiqaradi. Natijada η_v ni orttirish mumkinligi ta'minlanadi. Proporsional ravishda p_i ortishi mumkin (4.4-a, b rasm).

4.4-rasmda siqish oxirida yonish kamerasidagi zaryad aylanishining burchak tezligi keltirilganligini e'tiborga olish kerak. To'zitish teshiklarini o'zgarmas sonida u deyarli $d_{yo.k.} / D$ ga bog'liq bo'lmaydi, ushbu vaqtda kiritishda barpo qilinadigan zaryad aylanishini talab qilingan jadalligi $d_{yo.k.} / D$ ni kamayishida pasayadi.

Silindrlarning to'lishi. Yonilg'i uzatishning sikllik miqdori o'zgarmasa η_v va $\rho_{0(k)}$ larning oshishi α ni proporsional ravishda o'sishiga olib keladi. Bu η_i va p_i larni ortishi bilan kuzatiladi. Yonilg'i uzatishning sikllik miqdori $\left(\eta_v \rho_{0(k)}\right)$ ko'paytmani o'sishiga proporsional ravishda o'zgargan holatida α o'zgarmas bo'lib qoladi. Agar purkashni jiddiy cho'zilib ketishidan va aralashma hosil qilishni eng maqbul sharoitini buzilishidan holi bo'linsa, u holda η_i ozgina yomonlashadi va p_i $\left(\eta_v \rho_{0(k)}\right)$ ko'paytmaga deyarli proporsional ravishda ortadi.



4.4-rasm. **Siqish jarayoni oxiridagi zaryad harakatining eng optimal burchak tezligi ω_{opt} ni to'ldirish koeffitsiyenti η_v, to'zitish teshiklari soni i_s (*a*) va yonish kamerasining nisbiy diametri $d_{yo.k.} / D$ bilan o'zaro bog'liqligi (*b*).**

Yonish kamerasi bir bo'shlikka va ko'p sonli to'zitish teshiklarga ega bo'lgan dizellar uchun η_i ning oshishiga, silindrda ikkitadan kiritish klapanlaridan foydalanib va S/D nisbatni kamaytirib erishish mumkin. Ushbu ikki tadbir kiritish klapanini o'tish kesimini orttirishga yordam beradi. Yonish kamerasi porshenda va to'zitish teshiklari soni kam bo'lgan dizellarda kiritish tizimining eng kichik kesimi ko'pincha klapanda emas kiritish kanalida joylashadi.

Kiritish kanalida joylashishi kanaldagi havo tezligiga bog'liq bo'lgan zaryad aylanishining boshlang'ich tezligi yuqorisini ta'minlash zarurligi bilan bog'liq. Shuning uchun kiritish klapanlarini o'tish kesimini orttirish η_v ni sezilarli darajada o'sishiga olib kelmaydi. Yonish kamerasi porshenda bo'lib,

$d_{yo.k.}$ / D nisbati kam bo'lgan dizellarda S/D nisbatni kamayishida «o'lik» hajmlar doirasini sezilarli darajada ko'payishini, buni issiqlik ajralib chiqishni rivojlanishiga noqulay ta'sir qilishini ham e'tiborga olish kerak.

Atrof-muhit parametrlari. Atmosfera havosi haroratini oshishida va uning bosimini pasayishida massali to'lishi kamayadi. Yonilg'i uzatishning o'zgarmas chegara holatida α ning proporsional ravishda kamayishi kuzatiladi, u o'z navbatida η_i va p_i larning kichiklashishiga olib keladi. Har bir dizel uchun $\eta_i = f(\alpha)$ bog'liqligining o'ziga xos xususiyatligini ko'rsatib o'tish kerak, shuning uchun atmosfera sharoitini turli dizellarning quvvat va tejamkorlik ko'rsatkichlariga ta'sir qilish darajasi bir xil emas.

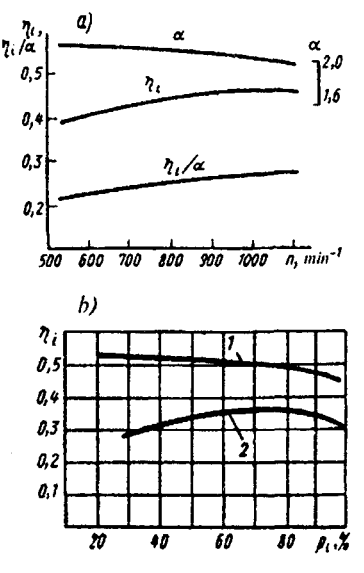
Turli dizellarning ko'rsatkichlariga atmosfera sharoiti ta'sirini o'rganish ko'rsatkichlarni standart sharoitiga keltirish uchun taxminiy ifodani taklif etishga imkon berdi.

Gaz turbinali bosim ostida kiritiladigan dizellarning parametrlari atmosfera sharoitiga kam darajada bog'liq. Bu atrof-muhit bosimini kamayishi yoki haroratini ko'tarilishi tufayli α ning kamayishida ishlatilgan gazlar entalpiyasini ortishi bilan bog'liq. Natijada turbokompressorning aylanishlar chastotasi ko'payib, ρ_k ni pasayish o'rnini birmunchaga to'ldiradi.

Aylanishlar chastotasi. Agar aylanishlar chastotasining o'zgarishida α o'zgarmasa, u holda η_i n ning o'sishi bilan chala yonishni va sovitish muhitiga issiqlik o'tib, uning yo'qolishining kamayishi tufayli birmunchaga ortadi. n ning o'sishi bilan yonilg'i to'zitilishi yaxshilanadi, odatda, yonilg'i uzatish bilan zaryad harakatini birgalikdagi tezligi qulay o'zgaradi, u yonishning rivojlanishiga ijobiy ta'sir qiladi.

Shuning uchun purkash davomiyligini gradusda ifodalangan qiymatini ortishiga qaramasdan η_i o'sadi. 4.5-a rasmda keltirilgan grafikdan n ning o'sishi bilan α ni birmunchaga kamayishiga qaramasdan η_i ni oshishi ko'rinib turibdi. Aylanishlar chastotasi funksiyasida η_i va η_i / α larning o'zgarish xususiyatiga yonilg'i purkashni ilgarilatish burchagini rostlanishi sezilarli darajada ta'sir qiladi. n ning o'sishida gradusda ifodalangan purkash davomiyligi, uni boshlanishi va alangalanishning kechikish davrini kechikishi ortadi. Oxirgisi alangalanish boshlanishini kechikishiga olib keladi.

Issiqlik ajralib chiqish ko'p jihatdan kengayish taktiga ko'chiriladi. Aylanishlar



4.5-rasm. η_i, η_i/α **va** α **larning aylanishlar chastotasiga (*a*) va** η_i **ning yuklamaga (*b*) bog'liqligi:**

1 — dizel; 2 — uchqundan o't oldiriladigan dvigatel.

chastotasini oshishida indikator ko'rsatkichlarining yaxshisini olish uchun $\varphi_{p.il}$ ko'payishi kerak. Foydalaniladigan yonilg'i uzatish tizimi variantlarining ko'pchiligida n ni o'sishida aksincha $\varphi_{p.il}$ kichiklashadi. Aylanishlar chastotasi keng oraliqqa ega bo'lgan dizellarda n ni barcha oralig'ida indikator ko'rsatkichlarini o'zgarish xarakteri (xususiyati)ni qulayrog'ini ta'minlash uchun $\varphi_{p.il}$ ni avtomat ravishda o'zgartiradigan tuzilmani qo'llash maqsadga muvofiq.

$\alpha = f(n)$ ning o'zgarish xususiyati yonilg'i uzatishni tezlik tavsifiga, η_v ni o'zgarishiga, bosim ostida kiritiladigan dizellarda esa ρ_k ni o'zgarishiga ham bog'liq, ya'ni $\alpha \sim \rho_k \eta_v / G_{s.yo}$. Bir qator dizellar uchun aylanishlar chastotasini pasayishida p_i ni orttirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Biroq bunda n ni past doirasida dizelni yetarlicha ishonchli, tejamkor va tutamasdan ishlashi uchun ortiqcha havo ta'minlanishi kerak. Rostlanadigan bosim ostida kiritish tizimi yaxshi natija beradi, unda sikllik uzatishni ko'payishiga qaramasdan n ni pasayishi bilan α ni doimiyligiga yoki α ni kattalashishiga erishish ham mumkin. Bu tutamasdan yonishida n ni pasayishi bilan p_i ni sezilarli darajada o'sishini va barcha aylanishlar chastotasi oralig'ida η_i ni yetarlicha yuqorililigini ta'minlaydi.

4.1.3. UCHQUNDAN O'T OLDIRILADIGAN DVIGATELNING INDIKATOR KO'RSATKICHLARIGA TURLI OMILLARNING TA'SIRI

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarning indikator ko'rsatkichlari dizel kabi yonishni to'liq va o'z vaqtida bo'lishiga, shuningdek, sovitish tizimiga o'tishi va ishlatilgan gazlar bilan chiqib ketishidagi issiqlik yo'qotilishiga bog'liq.

Siqish darajasi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda siqish darajasi $\varepsilon = 6,0...11,0$ ga teng. ε ning ushbu oraliqdagi qiymatlarida uning indikator ko'rsatkichlariga ta'siri juda sezilarli. ε ning ko'payishi η_i va p_i larni sezilarli darajada orttiradi. Bundan tashqari, ε ni ko'payishi bilan alangalanish sharoiti birmunchaga yaxshilanadi, bu aralashmani suyuqlashish oralig'ini kengaytirishga va qismiy yuklamalarda ishlaganda η_i ning qo'shimcha orttirishga imkon beradi. ε qancha ko'p bo'lsa, yonish kamerasini sathi shuncha kam bo'ladi, lekin boshqa tomondan gazning harorati ko'tariladi, shuning uchun gazlar va kamerani hosil qiluvchi devorlar orasida issiqlik almashinuvi ko'payishi mumkin, bu ε kattalashishidagi samarani kamaytiradi.

ε ning kattalashishi uchqundan o't oldiriladigan dvigatelning indikator jarayonini yaxshilashni va η_m ini oshirishni asosiy usuli hisoblanadi, biroq ε qancha katta bo'lsa, yonilg'ining oktan soniga bo'lgan talab shuncha yuqori bo'ladi. ε ning ortishi bilan dvigatelning detallariga tushadigan issiqlik va mexanik yuklamalarini, shuningdek, NO_x va CH otqinlarini ortishini ham ko'zda tutish kerak.

Silindr o'lchami. Silindr diametri katta bo'lganda yonilg'ini ushbu oktan sonida detonatsiyasiz ishlashini ta'minlash uchun ε qiymati kam bo'lishi kerak. Shuning uchun D ni ortishi bilan ε ni kamaytirish, yuqoriroq oktan soniga ega bo'lgan yonilg'idan foydalanish yoki konstruksiyalashda silindrga ikkitadan o't oldirish shamini joylashtirish zarur. ε o'zgarmas bo'lib, D ning ortishida devorga beriladigan issiqlik ulushini kamayishi tufayli η_i ni o'sishi kuzatiladi.

Aralashma tarkibi. U yonish jarayonini kechishiga va mos holda indikator ko'rsatkichlariga kuchli ta'sir qiladi (4.1-b rasmga qarang). η_i ning eng katta qiymati η_i/α va p_i larning eng yuqori qiymatiga mos keladiganiga qaraganda suyuqroq aralashmada erishadi. Bu aralashmaning ma'lum oraliqqacha suyuqlashishi bilan to'liq yonish va yonish mahsulotlaridagi ikki atomli gazlar ulushini yaxshilanishi bilan tushuntiriladi. Biroq aralashmani haddan tashqari suyuqlashishida uni yonish tezligi anchagina pasayadi (alangalanmagan sikllarni sodir bo'lishi mumkin), shuning uchun yonish keyinroq tugaydi, devorga o'tkaziladigan issiqlik esa ko'payadi.

η_i ning eng katta qiymatiga devorga issiqlik o'tkazish bilan yonishni to'liqligi va tezligini birgalikdagisini eng maqbulidagi aralashma tarkibi mos keladi. η_i / α ning eng katta qiymati aralashmaning yonishida (deyarli eng yuqori tezlik bilan) η_i ni yonilg'i bilan sarflangan issiqlik miqdoriga ko'paytmasini eng katta qiymatga ega bo'lgandagiga qaraganda birmuncha quyuq aralashmada erishadi.

$\eta_{i\max}$ va $(\eta_i/\alpha)_{\max}$ miqdorlarga mos keladigan α ning qiymati yonish jarayonining kechishiga, ya'ni dvigatel konstruksiyasiga bog'liq, shuningdek, drossel to'smaqopqoq holati va aylanishlar chastotasi bilan ham aniqlanadi. Drossel to'smaqopqoqning to'liq ochiq holatidagi rejimda $\eta_{i\max}$ $\alpha = 1,1...1,3$ bo'lganda, η_i/α va p_i lar eng katta qiymatlarga $\alpha = 0,85...0,95$ bo'lganda ega bo'ladi.

O't oldirishning ilgarilatish burchagi. Agar o'zgarmas sharoitda o't oldirishning ilgarilatish burchagi $\varphi_{o'.il}$ ni miqdori o'zgartirilsa, shunday yo'l bilan yonilg'i yonishini YUCHN ga nisbatan yaqinlashtirish yoki uzoqlashtirish mumkin. Drossel to'smaqopqoqning ochilishini, α va n larning har birini birgalikdagi miqdoriga η_i va p_i larni bir vaqtda eng katta miqdoriga erishadigan $\varphi_{o'.il}$ ni ma'lum qiymati mos keladi. O't oldirish kechikkanda (4.2-b rasmga qarang) yonish kengayish chizig'iga o'tadi va ajralib chiqqan issiqlik porshen ko'chishini kam qismi davomida ishga aylanadi, sovitish tizimiga o'tib va ishlatilgan gazlar bilan issiqlikni yo'qolishi esa ko'payadi, bu η_i va p_i larning kamayishiga olib keladi. Boshqa tomondan ilgariroq o't oldirishda, ya'ni $\varphi_{o'.il} > \varphi_{o'.il.opt}$ bo'lganda, eng yuqori harorat T_z va siklning bosimi p_z keskin ko'tariladi, bu sovitish tizimiga issiqlik o'tib, uning isrofi yuqori darajada bo'lishini, shuningdek, porshen halqalari orqali gazlar sizilishini ham oshishini keltirib chiqaradi.

Yonish tezligini oshiradigan, ya'ni birinchi ikki fazalar $(\theta_I + \theta_{II})$ davomiyligini qisqartiradigan barcha omillar bir vaqtning o'zida $\varphi_{o'.il.opt}$ ni kamayishiga yordam beradi va aksi bo'ladi.

Aylanishlar chastotasi. n ning o'sishi silindrda zaryad harakatini va uning yonishini jadallashtiradi. Biroq siklni ro'y beradigan vaqtini qisqarishi tufayli, yonishni TVB bo'yicha gradusidagi $(\theta_I + \theta_{II})$ davomiyligi birmunchaga ortadi, bu esa $\varphi_{o'.il}$ ning mos holda orttirishni talab qiladi, bunga markazdan qochma rostlagich yoki mikroprotsessor tizimi bilan o't oldirishni ilgarilatish burchagi $\varphi_{o'.il}$ ni boshqarish orqali erishiladi.

n ning ortishi bilan gazlardan sovitish tizimiga issiqlik uzatish vaqti qisqaradi, lekin zaryadning turbulizatsiyasi ushbu jarayonni jadallashtiradi. n ning orta borishi bilan halqalar orqali gazlarning sirqishi kamayadi. n ning ortishi bilan ko'rsatilgan omillarning birgalikdagi ta'siri natijasida η_i va η_i/α miqdorlar birmunchaga o'sish an'anasiga ega bo'lib kam o'zgaradi.

Dvigatelning yuklamasi. Yuklamaning kamayishi bilan uchqundan o't oldiriladigan dvigatelda alangalanish va yonish sharoiti yomonlashadi, bunda sovitish tizimiga o'tish va ishlatilgan gazlar bilan nisbiy issiqlik isrofi ortadi. Aylanishlar chastotasining o'zgarmas holatida yonish tezligini kamayishi o't oldirishning ilgarilatish burchagini orttirish bilan birmunchaga o'rnini to'ldirilishi mumkin, bunga vakuumrostlagichni ishlashi natijasida yoki $\varphi_{o'.il}$ ni mikroprotsessor tizimi bilan boshqarishda erishiladi.

Aylanishlar chastotasining doimiyligida dvigatel yuklamasiga bog'liq holda η_i ning o'zgarishiga α ni o'zgarishi ham ta'sir qiladi (4.5-b rasm). η_i eng katta qiymatga $\alpha = 1{,}1...1{,}3$ bo'lgandagi o'rtacha yuklamalarda erishadi. p_i miqdorga kelganda esa, u tabiiyki drossel to'smaqopqoq to'liq ochilganda eng katta qiymatga erishadi va to'smaqopqoq bekilaborishida kamayadi. Bu, asosan, silindrga beriladigan yangi aralashma miqdorini kamayishi oqibati hisoblanadi.

Zaryadning harakat tezligi. Dvigatel qismiy yuklamalarda ishlaganda α ning orttirish uchun, masalan, bir vaqtning o'zida yonilg'i tejamkorligini yaxshilash bilan birgalikda IG zaharliligini kamaytirish maqsadida, siqish taktining oxirida zaryadning gazodinamik holatini jadallashtirish ko'proq qo'llaniladi. Bu maqsad uchun tangensial yoki uyurmali kiritish kanallaridan, shuningdek, uyurmalantiruvchi yoki oqimning og'ishtiruvchi maxsus qopqoqlaridan ham foydalanish mumkin.

Dvigatelning har bir tezlik va yuklama rejimlarida ishni $\eta_{i\,max}$ bilan ta'minlovchi zaryad harakatini eng maqbul jadalligi mavjud. Zaryadning harakatini haddan tashqari yuqori darajada jadallashishida devorga issiqlik berish keskin ortadi, shuning uchun η_i o'zining eng yuqori qiymatiga nisbatan ushbu rejimda kamayadi.

4.1.4. TURLI OMILLARNING INDIKATOR QUVVATI VA MOMENTIGA TA'SIRI

(4.1) va (4.2) ifodalardan kelib chiqqan holda indikator quvvati va momentiga p_i ning miqdoridan tashqari taktlar soni, silindrlar soni va silindrning ishchi hajmi (dvigatelning asosiy o'lchamlari), N_i ga esa n (aylanishlar chastotasi) ham ta'sir qiladi.

T a k t l a r s o n i. Ikki taktli dvigatellarning indikator ko'rsatkichlari (p_i, η_i) to'rt taktli dvigatellarga qaraganda kichik. Bu yonish mahsulotlaridan silindrlarning tozalanishini kam takomillashgani bilan bog'liq, ularning ko'p tashkil etishi yonish jarayonini va issiqlikdan foydalanishni yomonlashtirishi mumkin.

Gaz almashinuvini amalga oshirilishi bilan bog'liq holda ish hajmining bir qismini yo'qolishi natijasida ikki taktli dvigatelning to'liq ish hajmiga nisbatan o'rtacha indikator bosimi to'rt taktlikka qaraganda η_i dan birmunchaga kam bo'ladi, shuningdek, odatda, α ni ko'p bo'lishi tufayli dvigatel detallarining issiqlikdan zo'riqishining oldini olishga harakat qilinadi. Natijada bosimsiz kiritiladigan dvigatellarda bir xil sharoitda to'rt taktli dvigatel o'rniga ikki taktli dvigatel ishlatilsa quvvat va momentni faqat 60...70% orttirishga imkon bo'ladi.

To'rt taktli dvigatellarda ishlatilgan gazlarning entalpiyasini ko'p bo'lishi va detallarning issiqlikdan zo'riqishini kam bo'lishi tufayli, ikki taktli dvigatellarga qaraganda, gaz turbinali bosim ostida kiritish tizimining samaraliroq bo'lgani ishlatilishi mumkin.

Yuritmali haydovchi bilan bosim ostida kiritishda uning yuritishga sarflangan solishtirma quvvat to'rt taktli dvigatellarda kam bo'ladi, chunki xususiy holda sarflanadigan yonilg'i birligiga mos keladigan havoning uzatilishi kam bo'ladi. Shuning uchun bir xil sharoitda bosim ostida kiritiladigan dvigatellar uchun to'rt taktli dvigatelning quvvati ikki taktli dvigatel quvvatidan ortishi ham mumkin.

Silindrlar soni. Silindrning asosiy o'lchamlarini o'zgarmas holatida N_i, M_i lar silindrlar soniga proporsional bo'ladi. Silindrlar sonining ko'paytirish dvigatellar konstruksiyasi va foydalanishini murakkablashtiradi.

Silindr o'lchamlari va nominal aylanishlar chastotasi. Silindr diametri D va porshen yo'li S orqali ifodalangan silindr o'lchami berilgan quvvat uchun nominal aylanishlar chastotasi n_{nom} ga bog'liq. Porshenning o'rtacha tezligi $c_p = Sn / 30$ ifodasidan kelib chiqqan holda n ning oshishida dvigatelning mexanik yo'qotishlari, ishonchliligi va yeyilishga chidamliligi bog'liq bo'lgan c_p ning o'sishidan holi bo'lish uchun S ni kamaytirish kerak. V_h ni o'zgarmas holatida S ning kamayishi D ning kattalashishi bilan kuzatilishi kerak.

Bu faqat ma'lum oraliqqacha bo'lishi mumkin, chunki S/D nisbatning haddan tashqari kichiklashishida dvigatelning massa va tashqi o'lcham ko'rsatkichlarining noqulay o'zgarishiga, mexanik va termik yuklamalar-

ning ortishiga va issiqlikdan foydalanishning yomonlashishiga olib kelishi mumkin. Dizelning yaratish tajribasini ko'rsatishiga qaraganda kichik diametrli bir bo'shliqli yonish kameralarida va ajratilgan kameralarida ko'rsatkichlarning eng yaxshisi $S/D = 1{,}0...1{,}4$ oralig'ida ta'minlanadi. S/D ning kichik qiymatlarida «o'lik» sohalarda havoning ko'p miqdorda bo'lishi tufayli undan foydalanish yomonlashadi.

Hisobli sikllarning tahlilini ko'rsatishicha aylanishlar chastotasining o'zgarmas holatida va sharoit bir xil bo'lganda (D, α) S/D ning kattalashishi bilan sovitish muhitiga o'tib, issiqlikning nisbiy yo'qolishi kamayadi va siklning FIK ortadi. Bu kiritilayotgan issiqlik miqdorining deyarli S ga proporsional ravishda o'sishi, issiqlik almashinuvi sathini ko'payishi faqat kengayish taktining nihoyasiga yetish qismida sodir bo'ladi va unda issiqlik almashinuvi jadalligining kam bo'lishi tufayli sovitish muhitiga o'tib, issiqlikning yo'qolishi past darajadaligi bilan bog'liq. Agar n ning teng qiymatlari uchun tahlil qilinmasdan, porshenning bir xil o'rtacha tezligi uchun tahlil qilinsa, S ning katta qiymatida n ning kichik qiymati to'g'ri kelishi bilan bog'liq bo'lgani holda issiqlik almashinuvi vaqtining ko'payishi tufayli natija aksi bo'lib chiqadi.

Diametri katta bir bo'shliqli yonish kamerasiga ega bo'lgan dizellarda N.R. Brilingning ko'rsatishicha, $S/D < 1$ dan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda $S/D = 0{,}85...1{,}10$ bo'lgandagi qiymatlardan foydalaniladi.

S/D va c_p larning o'zgarmas qiymatida V_h ni ortishi nominal aylanishlar chastotasining kamayishi bilan bog'liq. Ko'rsatilgan bog'liqlik indikator quvvatning V_h ga noproporsional ravishda o'sishini sababi deb hisoblanadi. Detallarning issiqlikdan zo'riqishi qo'shimcha ta'sir qilishi mumkin. V_h ning kattalashishi bilan detallarning o'lchamlari, termik qarshilik, harorat farqi ortadi va oqibatda termik kuchlanish ham ortadi. Ularning kamaytirish maqsadida past darajada kuchaytirishni, havoning ortiqlik koeffitsiyentini ko'paytirishni qo'llash kerak, bu ham V_h ning kattalashishida N_i ning o'sishini cheklaydi.

Ashyolarning, ularga ishlov berish texnologiyasining yonilg'i va moylarning takomillashishida, tabiiyki c_p ning katta qiymatlarida dvigatellarning ishonchliligini va yeyilishga chidamliligini yuqori bo'lishini ta'minlashga imkon yaratiladi. Shuning uchun S/D ning mos holda tanlab nominal aylanishlar chastotasini orttirish, dvigatelning massa va tashqi o'lchamlarini saqlab qolish bilan birga quvvatining orttirish usullaridan biri hisoblanadi. Bu ko'p darajada uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun to'g'ri deb hisoblanadi.

Dizellarda, ayniqsa bosim ostida kiritilmaydigan va ajratilgan yonish kameralilarda nominal aylanishlar chastotasini orttirish ayrim hollarda maqsadga muvofiq bo'lishi mumkin. Dizellarda bosim ostida kiritish usulidan foydalanilganda mexanik FIK ning orttirish hisobiga mos rejimda tejamkorlikning oshirish maqsadida ko'pincha nominal aylanishlar chastotasini pasaytirishga harakat qilinadi.

Dvigatellarning ikkala turida ham nominal aylanishlar chastotasini orttirish η_v ning keskin kamayishiga va aralashma hosil qilish hamda yonish jarayonlarining yomonlashishiga (η_i/α) olib kelmagan holida maqsadga muvofiq deb hisoblanadi. Aks holda p_i ning kamayishi n ni orttishidan samara bo'lmasligini keltirib chiqaradi.

4.1.5. INDIKATOR KO'RSATKICHLARNING HISOBI

Hisoblash uchun siqish-kengayish diagrammasini sxemalashtiramiz va uning 3.43-b rasmda shtrixlangan chiziq bilan ko'rsatilganidek, tasavvur qilamiz. U holda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$L_{id} = L_{z'-z} + L_{z-b} + L_{a-s},$$

yoki

$$L_{id} = L_{z'-z} + L_{z-b} - L_{s-a},$$

bunda:

$$L_{z'-z} = p_z V_z - p_z V_{yo} = p_s V_{yo}(\lambda\rho - \lambda) = p_s V_{yo}\lambda(\rho - 1);$$

$$L_{z-b} = \frac{p_z V_z}{n_2 - 1}\left[1 - \left(\frac{V_z}{V_b}\right)^{n_2-1}\right] = \frac{p_s V_{yo}\lambda\rho}{n_2 - 1}\left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}}\right);$$

$$L_{c-a} = \frac{p_s V_{yo}}{n_1 - 1}\left[1 - \left(\frac{V_{yo}}{V_a}\right)^{n_1-1}\right] = \frac{p_s V_{yo}}{n_1 - 1}\left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}}\right);$$

$$p_{id} = \frac{L_{id}}{V_h} = \frac{p_s V_{yo}}{V_h}\left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\cdot\rho}{n_2 - 1}\left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}}\right) - \frac{1}{n_1 - 1}\left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}}\right)\right].$$

(«d» indeks doiralanmagan diagrammaga tegishli).

$p_s = p_a\varepsilon^{n_1}$, $V_{yo}/V_h = 1/(\varepsilon - 1)$ bo'lganligi sababli, nihoyat quyidagini yozish mumkin:

$$p_{id} = p_a\frac{\varepsilon^{n_1 a}}{\varepsilon - 1}\left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\cdot\rho}{n_2 - 1}\left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}}\right) - \frac{1}{n_1 - 1}\left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}}\right)\right]. \qquad (4.6)$$

Karbyuratorli dvigatelning sxemalashtirilgan sikli uchun (3.43-a rasmga qarang) $\rho = 1$ va $\delta = \varepsilon$ bo'ladi, u holda

$$p_{id} = p_a\frac{\varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1}\left[\frac{\lambda\cdot}{n_2 - 1}\left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}}\right) - \frac{1}{n_1 - 1}\left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}}\right)\right]. \qquad (4.7)$$

Haqiqatda indikator ish 3.43-rasmdagi shtrixlangan yuza kattaligida L_{id} ga nisbatan kichik bo'ladi, chunki alangalanish YUCHN ga yetmasdan boshlanadi

va yonish so'nggi tezligi bilan ketadi. Chiqarish klapani PCHN ga yetmasdan ochiladi. Bu kengayish ishining birmunchaga kamaytiradi, biroq bir vaqtning o'zida ishlatilgan gazlarning haydab chiqarish ishini ko'p darajada kamaytirishga va silindrning ishlatilgan gazlardan yaxshi tozalashga imkon beradi. O'rtacha indikator bosimning haqiqiy miqdori quyidagiga teng:

$$p_i = p_{id}\varphi_{d.t},$$

bunda: $\varphi_{d.t}$ — diagrammaning to'liqlik koeffitsiyenti.

Indikator diagrammalarga ishlov berilishiga, asosan, to'rt taktli dvigatellar uchun $\varphi_{d.t} = 0,92...0,97$ bo'lishi aniqlangan, katta qiymatlari uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarga, kichik qiymatlari esa tezyurar dizellarga taalluqli. Ikki taktli dvigatellar uchun p_i ning hisoblangan miqdori silindrning to'liq ish hajmiga qayta hisoblanadi:

$$p_i = p_{id}\left(1 - \psi_y\right)\varphi_{d.t}$$

bunda: $\psi_y \approx 0,10...0,25$ — yo'qotilgan hajmning ulushi.

Dizelning indikator ko'rsatkichlari, hisobli sikllarni ko'rib chiqishda bayon qilingan uslub bo'yicha ham hisoblanishi mumkin (2.2.2-bandga qarang). Buning uchun zaryad va detallar orasida issiqlik almashinuvini hisoblash ifodasiga yonilg'ining yonib tugash qonunining ahamiyatli parametrlarini va koeffitsiyentlarini tanlash kerak. Gaz almashinuvining hisoblash uchun dastlab gaz taqsimlash tizimini loyihalash kerak. Bosim ostida kiritishda dvigatel va bosim ostida kiritish agregatlarining birgalikda ishlashini ko'rib chiqish talab qilinadi (3.1.6-bandga qarang). Bu kiritish qismlari oldidagi bosim, haroratning va chiqarish quvuridagi bosimning vaqt bo'yicha o'rtacha qiymatini aniqlashga imkon beradi.

4.1-jadvalda dizelning indikator diagrammasini hisoblash uchun nominal rejimda issiqlik ajralib chiqishning uchinchi fazasida yonib tugash tavsifini tavsiya etiladigan parametrlari keltirilgan.

m_{nom} va $\varphi_{z_{nom}}$ larning kichik qiymatlarini bosimsiz kiritiladigan dizellar uchun tanlash kerak. m_{nom} va $\varphi_{z_{nom}}$ larning tanlangan qiymatlari uchun EHMda hisoblash bilan issiqlikdan foydalanish bo'yicha alangalanishning ilgarilatish burchagi qiymati θ_{alang} ni eng maqbul kattaligi aniqlanadi. Boshqa rejimlar uchun yonib tugash tavsifining parametrlarini quyidagi ifodalar bo'yicha aniqlash mumkin:

4.1-*jadval*

Kameraning turi	m_{nom}	$\varphi_{z\ nom}$
Ajratilmagan	0,2...0,7	70...110
Ajratilgan	0,3...1,0	60...100

$$\varphi_z = \varphi_{z_{nom}} \left(\frac{\alpha_{nom}}{\alpha} \right)^a \left(\frac{n}{n_{nom}} \right)^b,$$

$$m = m_{nom} \left(\frac{\theta_{p.il.nom}}{\theta_{p.il}} \right)^d \left(\frac{p_a}{p_{anom}} \cdot \frac{T_{anom}}{T_a} \right) \left(\frac{n_{nom}}{p} \right)^e.$$

bunda: $a = 0,6...0,8$, $b = 0,5...0,55$, $d = 0,5$, $e = 0,8$. Issiqlik ajralib chiqishning ikkinchi fazasida yonib tugash tavsifi parametrlari, issiqlik ajralib chiqish paytining eng maqbuli EHMda hisoblash bilan tanlanganda siklning tejamkorligiga kam ta'sir qiladi. Indikator diagrammaning hisoblashda $A_l = 0,1...0,2$, $m_n = 0...0,3$, $\varphi_{zn} = 4...8$ grad TVB deb qabul qilish mumkin. A_l ning katta qiymati va m_n ning kichik qiymatini ajratilmagan yonish kamerali bosimsiz kiritiladigan dizellar uchun tanlash kerak.

Yonib tugash tavsiflari parametrlarining keltirilgan qiymatlari ajratilgan yonish kamerali yengil avtomobillarning katta tezlikda aylanadigan (tezyurar) dizellarini qamrab olmaydi, ular bo'yicha tajriba materiali to'planmagan.

4.2-jadvalda zamonaviy dvigatellarning nominal rejimda ishlashida ularning indikator ko'rsatkichlari keltirilgan.

4.2-jadval

Dvigatelning turi	p_i, MPa	η_i	g_i, g/(kVt·soat)
Bosimsiz kiritiladigan to'rt taktli uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar	0,9...1,2	0,3...0,4	273...205
To'rt taktli dizellar: bosimsiz kiritiladigan; bosim bilan kiritiladigan	0,75...1,05 (2,5* gacha)	0,42...0,50	202...170
Ikki taktli dizellar: bosimsiz kiritiladigan; bosim bilan kiritiladigan	0,5...0,7 (1,5* gacha)	0,40...0,47	212...180

* Hozirgi paytda bosim ostida kiritiladigan avtotraktor dizellari uchun p_i ning chegaraviy qiymati kichik. Biroq kelajakda ular jadvalda keltirilgan qiymatlarga erishishi mumkin, ular maxsus vazifali kuchaytirilgan dizellar uchun olingan.

4.2. MEXANIK ISROFLAR. SAMARALI KO'RSATKICHLAR

4.2.1. MEXANIK ISROFLAR VA MEXANIK FIK

*Mexanik isroflar** deb, barcha turdagi mexanikaviy ishqalanishdagi isroflar tushuniladi, ya'ni gaz almashinuvini amalga oshirish, qo'shimcha mexanizmlarning yuritish (suv, moy, yonilg'i nasoslari, ventilator, generatorni va boshqalar), dvigatel detallarining katta tezlikda havo-moy emulsiyasi va havo

* «Ichki isrof» atamasi ham qo'llaniladi.

muhitida harakatlanishi bilan bog'liq bo'lgan ventilatsion nobud bo'lish hamda kompressorning yuritish. Ajratilgan yonish kamerali dizellarda mexanik isrofga yonish kamerasi bo'shliqlari orasida zaryadning oqib o'tishidagi gaz dinamik isrof bo'lishlar ham kiritiladi.

p_i ning tushunchasiga o'xshash bir siklning amalga oshirishda mexanik isroflarni solishtirma ishi sifatida mexanik isrofning o'rtacha bosimi p_{mi} to'g'risida tushuncha kiritiladi, ya'ni silindr ish hajmining birligiga to'g'ri keladigan isrofning sikllik ishi:

$$p_{mi} = p_{ishq} + p_{gaz} + p_{yo.m} + p_{shom} + p_{komp},$$

bunda: p_{ishq} — ishqalanishga bo'ladigan isroflar; p_{gaz} — gaz almashinuviga sarflanadigan isrof; $p_{yo.m}$ — yordamchi mexanizmlarning yuritishga sarflanadigan isrof; p_{shom} — shamollatish nasosini yuritishga sarflanadigan isrof; p_{komp} — kompressorning yuritishga sarflanadigan isrof.

Mexanik isrofning asosiy qismi, bu ishqalanishdagi isrof p_{ishq} (80% gacha). Ishqalanishdagi isrofning ko'p qismi porshen-gilza, porshen halqasi-gilza juftlariga to'g'ri keladi (barcha mexanik isrofning 45...55%). Podshipniklar ishqalanishidagi isroflar barcha mexanik isroflarning 20% gachasini tashkil etadi.

Ishqalanadigan juftlarning yuklantiradigan kuchlarga inersiya kuchlari, gazlar kuchi va taranglik kuchlari (halqa, prujina) kiradi. p_{ishq} ning aniqlash uchun detallga ta'sir qiluvchi kuchlarning miqdorini vaqt bo'yicha o'rtacha qiymatini baholash muhim ahamiyatga ega. Gaz kuchlarining eng katta miqdori inersiya kuchlarining eng katta qiymatidan 2...5 marta ko'p bo'lishiga qaramasdan, ayniqsa to'rt taktli dvigatellarda inersiya kuchlari modulining qiymatini vaqt bo'yicha o'rtachasi, odatda, gaz kuchlarining vaqt bo'yicha o'rtachasidan katta.

Porshenning o'rtacha tezligi $c_p = 8m / s$ bo'lganda, N.R. Briling ma'lumotlari bo'yicha inersiya kuchlarining ta'sirida ishqalanishdagi isrof p_{ishq} ning 75% ni tashkil etadi. Dvigatelning ish rejimiga bog'liq bo'lmagan porshen halqalarining taranglik kuchi ishqalanishdan isrof bo'lishga ko'p ta'sir qiladi. Qisqa vaqt oralig'idagi gazlarning ko'p kuchining ta'siri, ayniqsa yuqoridagi porshen halqasining gilzaga qisish (siqilish) kuchini keskin orttiradi. Bu davrda halqa harakatining tezligi ham kam. Bu ishqalanish rejimini o'zgarishiga va porshenning taxminan YUCHN holatiga mos keladigan gilza doirasining yeyilishining ko'payishiga olib keladi. p_{ishq} ga quyidagi omillar jiddiy ta'sir qiladi:

— suyuq ishqalanish kuchi jiddiy darajada bog'liq bo'lgan moyning qovushqoqligiga ta'sir qiladigan dvigatelning issiqlik rejimi;

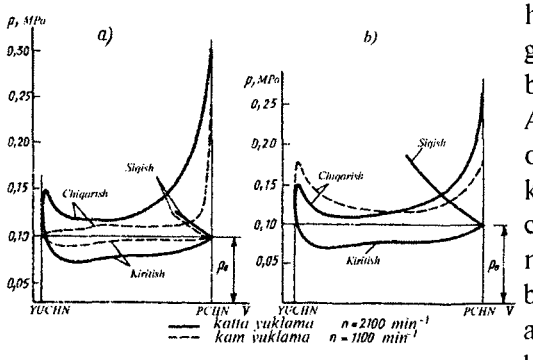
— aylanishlar chastotasi. n ning ortishi inersiya kuchlari va detallar siljishining nisbiy tezligini o'sishiga olib keladi. Bir vaqtning o'zida moyning harorati birmunchaga ko'tariladi va qovushqoqligi kamayadi. Suyuq ishqalanish kuchi,

asosan, detallarning nisbiy siljish tezligini ortishi tufayli ko'payadi; chegaraviy ishqalanish kuchini oshishi esa ishqalanish juftlariga yuklamaning ortishi tufayli sodir bo'ladi. Umuman olganda, n ning ko'tarilishi bilan ishqalanishga isrof bo'lish jiddiy darajada ortadi. Yuklamaning ortishi gazlar kuchi va detallar haroratini ko'tarilishiga olib keladi. Bunda suyuq ishqalanish kuchi moyning qovushqoqligini kamayishi tufayli kamayadi, chegaraviy ishqalanish kuchi esa gaz kuchlarining oshishi tufayli ko'payadi. Tajribaning ko'rsatishi dizelda ishqalanishga isrof bo'lish yuklamaga nisbatan kam bog'liq.

Dvigatelning ishlatish qoidasi bajarilayotganda avval detallarning ishqalanib moslanishi tufayli ishqalanishga isrof kamayadi, so'ngra esa barqarorlashadi.

Gaz almashinuvi p_{gaz} ga isrof bo'lish, kiritish va chiqarish ishlari kattaligining bir xil bo'lmasligi bilan bog'liq (3.1-a...e rasmga qarang). Turli omillarning p_{gaz} ga ta'sirini tahlil qilish uchun $p_{gaz} = p_r - p_k + \Delta p_{kir} + \Delta p_{chiq}$ ifodadan foydalanish mumkin, bunda: Δp_{kir} va Δp_{chiq} — gaz almashinuvi jarayonida kiritish va chiqarish klapanlaridagi bosimlar farqini o'rtachasi. Gaz almashinuviga isrof bo'lish qolgan elementlar ichki isroflariga nisbatan teskari belgili bo'lishi mumkin. Bunda ularning faqat shartli ravishda isrof bo'lish deb aytish mumkin. Tirsakli val bilan mexanik bog'langan kompressor orqali to'rt taktli dvigatelga bosim ostida kiritishda gaz almashinuvi musbat ishga ega bo'ladi (3.1-*b* rasmga qarang), shuningdek, kiritish a'zolari oldidagi o'rtacha bosim p_k chiqarish a'zolaridan keyingi o'rtacha bosim p_p dan ko'p bo'ladigan gaz turbina bilan bosim ostida kiritiladigan dvigatelning ayrim ish rejimlarida ham shunday bo'ladi (3.1-*e* rasmga qarang).

Kiritish va chiqarish tizimlarida qarshilik qancha yuqori bo'lsa va gazlar harakat tezligi katta bo'lsa, gaz almashinuvida isrof bo'lish shuncha ko'p bo'ladi. Aylanishlar chastotasining ortishi bilan kiritish ishining kamayishi va haydab chiqarish ishining ortishi natijasida dvigatellarning barcha turlarida gaz almashinuviga isrof bo'lish ko'payadi. Bu kiritish va chiqarish tizimlarida bosimlar farqining ortishi bilan bog'liq (4.6-*a* rasm). Gaz



4.6-rasm. **Turli aylanishlar chastotasida (*a*) va yuklamalarda (*b*) bosimsiz kiritiladigan dizel nasos yo'lining diagrammalari.**

*Gaz turbinali bosim ostida kiritiladigan dvigatellar uchun $m > 2$, chunki aylanishlar chastotasini ortishi bilan qoidaga ko'ra silindrga kiritiladigan va undan chiqadigan gazlarning zichligi ham sezilarli darajada ortadi.

almashinuviga isrof bo'lishning o'rtacha bosimi $p_{gaz} = An^m$ ga teng, bunda: A doimiy; $m = 1,7...2,0$ *. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda yuklamaning kamayishi bilan gaz almashinuviga bo'lgan isrof ko'payadi, chunki bunda drossel to'smaqopqoq yopila boshlaydi, kiritish tizimida qarshilik ortadi va kiritishning ijobiy ishi kamayadi.

Ko'pincha dizelda yuklamaning ma'lum qiymatdan kamayishida gaz almashinuvi ishining ko'payishi kuzatiladi. Bu kam yuklamada chiqarish klapanining ochilishini boshlanish paytida silindrdagi bosimning kamligi bilan bog'liq, shuning uchun erkin chiqish davrida ishlatilgan gazlarning mos holda miqdori va bosimini kamayishi bilan ularning samarali oqishi mumkin emas. Haydab chiqarish jarayonida ejeksiya samarasi ham kam bo'ladi. Natijada haydab chiqarish jarayonini oxirida silindrda bosim ko'tarila boshlaydi — ishlatilgan gazlarni «siqish» kuzatiladi (4.6-b rasm).

Yuritmali kompressor orqali bosim ostida va bosimsiz kiritiladigan dizellar uchun gaz almashinuviga bo'lgan isrof yuklamaga bog'liq holda nisbatan kam o'zgaradi. Gaz turbinali bosim ostida kiritiladigan dizellarda gaz almashinuviga bo'lgan isrof bosim ostida kiritish tizimi turi, gaz turbinali haydovchilar tavsifi va ularning dvigatel tavsiflari bilan muvofiqlashganligi, a'zolarining konstruksiyasi va o'lchamlari hamda gaz almashinuv fazalariga bog'liq bo'lgan holda yuklamaning ortishida ko'payishi ham va kamayishi ham mumkin.

Gaz turbinali bosim ostida kiritiladigan yuqori aylanishlar chastotali dvigatellarda gaz almashinuviga bo'lgan isrofni o'rtacha bosimi katta bo'lib, $p_{m.i}$ ning ko'p qismini (25% va undan ko'p) tashkil etadi. Bu chiqarish tizimida gaz turbinaning o'rnatilishida haydab chiqarish ishining ko'p bo'lishi bilan bog'liq. Shuning uchun gaz turbinali bosim ostida kiritiladigan dvigatellarga tatbiqan kiritish klapanlarining o'tish kesimini chiqarish klapanlarining o'tish kesimi hisobiga kengaytirish har doim ham maqsadga muvofiq bo'lavermaydi.

Shamollatishda isrof bo'lish kam, u aylanishlar chastotasiga bog'liq, aylanishlar chastotasining ortishi bilan ko'payadi: $p_{vent} = A_1 n^2$, bunda: A_1 — doimiy. Yordamchi mexanizmlarning yuritishdagi isroflar ham asosan aylanishlar chastotasiga bog'liq, $p_{yo.m} = A_2 n^2$, bunda: A_2 — doimiy. Yordamchi mexanizmlarning yuritishdagi isroflarni birinchi yaqinlik bilan yuklamaga bog'liq emas deb qarash mumkin. Odatda, $p_{yo.m} = (0,05...0,10)\, p_{m.i}$ bo'ladi.

Aylanishlar chastotasining ortishida yoki porshenning o'rtacha tezligiga proporsional ravishda $p_{m.i.}$ ning barcha tashkil etuvchilari sezilarli darajada kattalashadi. Mexanik isrof bo'lishning o'rtacha bosimini funksiyasida ifodalash qabul qilingan, chunki barcha mexanik isroflarning 50% ga yaqinini porshen va halqalarning gilzadagi ishqalanishi tashkil etadi, ularning nisbiy tezligi faqat aylanishlar chastotasi bilan aniqlanib qolmasdan porshen yo'li bilan

ham aniqlanadi. $p_{gaz} = f(c_p)$ ning funksional bog'liqligi ham mantiqiy, chunki gaz almashinuvidagi isrof bo'lish va bosimlar farqi bog'liq bo'lgan kiritish va chiqarish traktlaridagi gazlarning tezligi aylanishlar chastotasi bilan aniqlanmasdan, porshenning tezligi bilan aniqlanadi. $p_{m.i.}$ ning yuklamaga bog'liqligi bosimsiz kiritiladigan dvigatellarda ko'p emas va hisobga olinmaydi. Ishqalanishda isrof bo'lish c_p ning birinchi darajasiga proporsional ravishda, gaz almashinuvi, shamollatish va yordamchi mexanizmlarning yuritishga isrof bo'lishlar esa c_p ning ikkinchi darajasiga proporsional ravishda o'zgaradi, shuning uchun bosimsiz kiritiladigan dvigatel uchun $p_{m.i.}$ ning tezlik rejimiga bog'liqligi umumiy holda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$p_{m.i} = a + bc_p + dc_p^2$$

$p_{m.i.}$ ning ko'p ulushini c_p ning birinchi darajasiga bog'liq bo'lgan ishqalanishga isrof bo'lish tashkil etadi, shuning uchun ko'pincha $p_{m.i} = f(c_p)$ ning empirik bog'liqligi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$p_{m.i} = a + bc_p. \tag{4.8}$$

a, b qiymatlar dvigatelning turi, konstruksiyasi, o'lchamlari, silindrlar soni va issiqlik holatiga bog'liq bo'ladi. Silindrlar sonining ortishida bir silindrga to'g'ri keladigan podshipniklar soni, p_{vent} va p_{yom} lar kamayadi, a va b koeffitsiyentlar esa kichik qiymatga ega bo'ladi. Natijada $p_{m.i.}$ kamayadi.

S/D nisbatning o'zgarmas holatida ishchi hajmning kengayishi quyidagi sabablar oqibatida $p_{m.i.}$ ni kamayishiga olib keladi:

— agar halqalar soni va balandligi bir xil bo'lsa, u holda halqaning gilzaga qisadigan gazlar bosim kuchi D ga proporsional ravishda, porshenning yuzasi esa D^2 ga proporsional ravishda kattalashadi. $p_{m.i.}$ Porshenning yuza birligiga to'g'ri keladigan mexanik isroflar kuchi bo'lganligi uchun, bunda u kamayadi;

— inersiya kuchlarning solishtirma miqdori kamayadi (porshen yuzasiga to'g'ri keladigan);

p_{yom} kamayadi.

Yurituvchi kompressor bilan bosim ostida kiritishda p_k ning o'sishi bilan gaz almashinuviga isrof bo'lishni kamayishi ishqalanishga isrof bo'lishni ko'payishidan ustun tursa, bosim ostida kiritish bosimining ortishi bilan ularning yig'indisi kamayadi. Biroq bunda haydovchini yuritishga isrof bo'lishni o'rtacha bosimi ortadi. Gaz turbinali bosim ostida kiritish qo'llanilsa, ishqalanish va gaz almashinuviga isrof bo'lishlarning ko'payishi tufayli, odatda, $p_{m.i.}$ ortadi.

4.3-jadvalda bosimsiz kiritiladigan avtotraktor dvigatellari uchun (4.8) tenglamadagi a va b larning qiymati keltirilgan.

4.3-*jadval*

Dvigatellar	*a, MPa*	*b, MPa · s/m*
Ajratilmagan yonish kamerali dizellar	0,105	0,012
Ajratilgan yonish kamerali dizellar	0,105	0,0138
Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar:		
$S/D > 1$	0,05	0,0155
$S/D < 1$	0,04	0,0135

4.2.2. DVIGATELLARNING SAMARALI KO'RSATKICHLARI

Dvigatelning ishini tavsiflaydigan, uning validan olinadigan va foydali ishlatiladigan kattaliklarga *samarali ko'rsatkichlar* deb ataladi. Bu ishning olish uchun ichki yonuv dvigatellari quriladi. Samarali ko'rsatkichlar qatoriga avvalo samarali quvvat, burovchi moment, o'rtacha samarali bosim, samarali solishtirma yonilg'i sarfi, samarali FIK lar kiritiladi.

Dvigatelning bir sikldagi foydali yoki samarali ishi

$$L_e = L_i - L_{m.i},$$

bunda: $L_{m.i}$ — mexanik isrof ishi.

Bu ifodaning ish hajmini V_h ga bo'lib, quyidagi ifodani olamiz:

$$p_e = p_i - p_{m.i}, \qquad (4.9)$$

bunda: $p_e = L_e / V_h$ — o'rtacha samarali bosim, ya'ni silindrning ish hajmi birligidan bir siklda olinadigan foydali ish.

(4.9) ning $V_h in / (30\tau)$ ga ko'paytirib quyidagini olamiz:

$$N_e = N_i - N_{m.i},$$

bunda: $N_e = p_e V_h in / (30\tau)$ — dvigatelning samarali quvvati; N_{mi} — mexanik isrof bo'lish quvvati.

Agar (4.9) tenglama $1000\, V_h i (\pi\tau)$ ga ko'paytirilsa, u holda quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$M_b = M_i - M_{m.i},$$

bunda: $M_b = 1000 p_e V_h i / (\pi\tau)$ — dvigatelning samarali burovchi momenti; $M_{m.i}$ — mexanik isrof bo'lish momenti.

Dvigatelning mexanik FIK

$$\eta_m = L_e / L_i = p_e / p_i = M_b / M_i = N_e / N_i. \qquad (4.10)$$

(4.9) dan foydalanib quyidagini yozish mumkin:

$$\eta_m = p_e / p_i = (p_i - p_{m.i}) / p_i = 1 - p_{m.i} / p_i.$$

Dvigatelning samarali FIK deganda, yonilg'i bilan berilgan barcha issiqlikning foydali ishga aylangan ulushi tushuniladi: $\eta_e = L_e / (V_s \rho_{yo} H_u)$. Buni keyinchalik quyidagicha o'zgartirib yozish mumkin:

$$\eta_c = \frac{p_e V_h}{V_s r_{yo} H_u} = \frac{p_i V_h \eta_m}{V_s \rho_{yo} H_u} = \frac{L_i}{V_s \rho_{yo} H_u} \eta_m = \eta_i \eta_m. \qquad (4.11)$$

(4.3) ga o'xshash samarali solishtirma yonilg'i sarfi yoki samarali quvvat birligiga mos keladigan yonilg'ining soatli sarfi:

$$g_e = 3600 / (H_u \eta_e).$$

Keltirilgan tenglamalardan kelib chiqqan holda dvigatel ishining yuqori samaradorlik va tejamkorligini ta'minlash uchun p_i va η_i larning yuqori qiymatiga erishishi yetarli emas. Dvigatelning mexanikaviy isrof bo'lishi ham, shu jumladan kompressorning yuritishdagi isrof ham kam bo'lishi kerak.

Kompressorda 1kg havoning siqish va haydash uchun sarflanadigan ish quyidagiga teng bo'ladi:

$$l_k = (RT_0 / \eta_{ad}) \left[k / (k-1) \right] \left[\pi_k^{(k-1)/k} - 1 \right],$$

bunda: $\pi_k = p_k' / p_0$ — kompressorda bosimning ortish darajasi; η_{ad} — adiabat siqishdagi ishni siqishga va haydashga sarflangan haqiqiy ishi nisbatiga teng bo'lgan kompressorning adiabat FIK.

U kompressorda issiqlik almashinuv va ichki isrof bo'lishi mavjudligini hisobga oladi.

Kompressorning yuritish uchun kerak bo'lgan quvvati

$$N_{komp} = l_k G_{h.c} / \eta_{k.m},$$

bunda: $G_{h.s}$ — kompressor bilan havoning sekundlik uzatilishi; $\eta_{k.m}$ — kompressorning mexanik FIK.

(4.4) va (4.5) bog'liqliklardan foydalanib, indikator ko'rsatkichlar orqali samarali ko'rsatkichlarni ifodalaymiz:

$$N_e = N_i \eta_m = \frac{p_i V_h i n}{30\tau} \eta_m = \frac{H_u}{l_0} \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_v \rho_{o(k)} \frac{V_h i n}{30\tau} \eta_m; \qquad (4.12)$$

$$M_b = M_i \eta_m = \frac{1000}{\pi \tau} V_h i p_i \eta_m = \frac{1000}{\pi \tau} V_h i \frac{H_u}{l_0} \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_v \rho_{o(k)} \eta_m; \qquad (4.13)$$

$$p_e = p_i \eta_m = (H_u / l_0)(\eta_i / \alpha) \eta_v \rho_{0(k)} \eta_m; \qquad (4.14)$$

$$\eta_e = \eta_i \eta_m;$$

$$N_l = \frac{p_i n}{30\tau} \eta_m = \frac{H_u}{l_0} \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_v \rho_{0(k)} \frac{n}{30\tau} \eta_m^{*}. \quad (4.15)$$

(4.12) ifoda orqali berilgan aylanishlar chastotasi, silindrlar soni va taktlarda u yoki bu quvvatning ta'minlaydigan silindrning ish hajmini hisoblash mumkin. (4.5) ifoda orqali p_i ning hisoblash amalga oshiriladi, p_m esa 4.3-jadvalda berilganlardan foydalanib, (4.8) tenglama bo'yicha hisoblanadi. S/D nisbatni berib, $V_h = \pi \frac{D^2 S}{4}$ kattalik bo'yicha dvigatelning asosiy o'lchamlari aniqlanadi.

Hisoblash uchun uslubi 2.2.2-bandda qisqacha bayon qilingan indikator ko'rsatkichlaridan foydalanilsa, o'xshashligi bo'yicha dvigatelning o'lchamlari berilishi kerak. Siklning hisobi p_i va η_i qiymatlarini beradi. So'ngra p_m va $p_e$lar aniqlanadi. (4.12) tenglama bo'yicha silindrning ish hajmi va keyinchalik S/D nisbat berilib, dvigatelning asosiy o'lchamlari aniqalanadi. Agar ular qabul qilingan o'xshashligidan jiddiy farq qilsa, u holda sikl hisobi takrorlanadi.

Turli omillarning dvigatelni samarali ko'rsatkichlariga ta'siri. Samarali ko'rsatkichlarning har birini miqdori mos kelgan indikator ko'rsatkichlarining miqdori va mexanik FIK bilan aniqlanadi. Mexanik isrof bo'lishining o'rtacha bosimi $p_{m.i}$ ni quyidagilar bilan kamaytirish mumkin:

– dvigatel ishi issiqlik rejimini to'g'ri tanlash va ushbu rejimni foydalanish jarayonida saqlab turish;

– dvigatel va uning agregatlarini eng maqbul konstruksiyalash.

Kiritish va chiqarish tizimlari konstruksiyasi va o'lchamlarining to'g'ri tanlash gaz almashinuvida isrof bo'lishni eng kam bo'lishiga olib keladi. Foydalanish davomida tizimning qarshiligi o'zgarmasligi kerak. Ishonchli suyuq ishqalanishning ta'minlash uchun ishqalanadigan juft sathlarini eng kamiga keltirish maqsadga muvofiq hisoblanadi, ishqalanish kuchi esa kichik qiymatga ega bo'lishi kerak.

Porshen halqalarining soni ham iloji boricha kamaytiriladi. Detallarning bikrligi va shaklini tanlash, ularning tayyorlashda texnik talablarga rioya qilish ham ishonchli suyuq ishqalanish va eng kam mexanik isrof bo'lishga erishish uchun muhim hisoblanadi. Ventilator, suv va moy nasoslari kabi yordamchi mexanizmlarning konstruksiyasi, o'lchamlari va aylanishlar chastotasini maqbullashtirish muhim ahamiyatga ega;

— detallarning ashyolari va tayyorlash texnologiyasini ratsionalini tanlash, bu ishqalanuvchi juftlarning moylanishini yaxshilaydi va ishqalanishga isrof bo'lishni kamaytiradi;

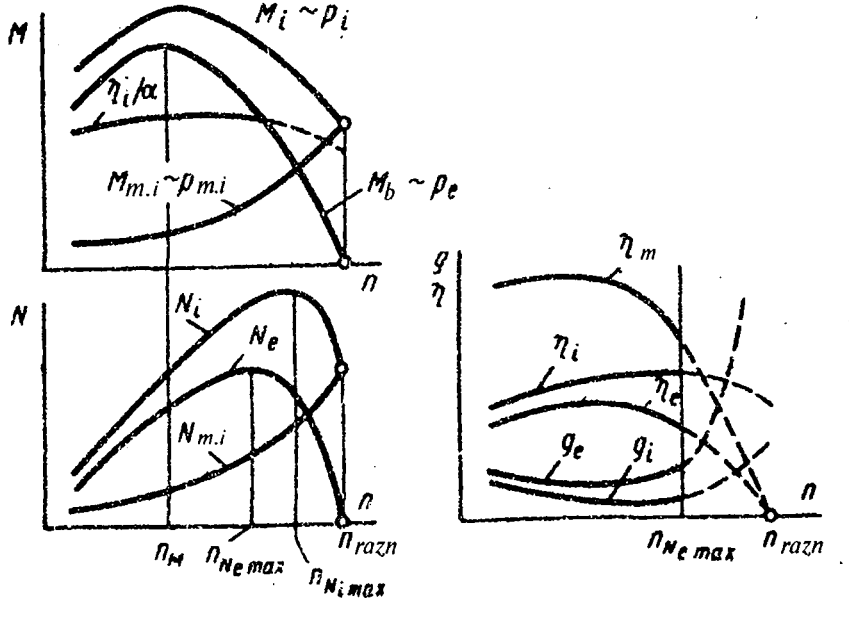
* Bu yerda parametrlarning qiymati — nominal rejim uchun. Indeks «i» tushirib qoldirilgan.

— moylaydigan moyni to'g'ri tanlash. Ishonchli suyuq ishqalanishni, moyni almashtirishni mumkin bo'lgan eng ko'p ishlash muddatida va eng kam quyishida dvigatelning barcha uzellarini uzoq ishlashini ta'minlaydigan eng kam qovushqoqli moyni ishlatishga intilinadi;

— dizellarda ajratilgan yonish kameralari o'rniga bir bo'shliqlik kameralardan foydalanish. Bu bilan zaryadning oqib chiqishida isrof bo'lishni bartaraf etilishi natijasida mexanik isroflarni kamayishiga erishiladi.

Gazning sarfi va bosimning ortish darajasini berilishiga mos ravishda kompressorning tavsiflarini maqbullashtirish bilan p_{komp} ning kamayishiga erishiladi. Bu yerda maqbullashtirish deb, dvigatelning barcha ish rejimlari oralig'ida $\eta_к$ ning iloji boricha eng yuqori qiymatiga erishish tushuniladi. Kompressorning yuritishga sarfni kamaytirish, ayniqsa kam yuklanishli rejimlarda havoning chiqarib yuborilishini yoki rostlanadigan mexanik yuritma yordamida dvigatel bilan ulangan kompressorning aylanishlar chastotasini kamaytirish orqali ta'minlanishi mumkin.

Bosim ostida kiritishning qo'llashda, ayniqsa gaz turbinalida, p_i ga nisbatan $p_{m.i}$ ning kam darajada ortishi tufayli mexanik FIK ko'payadi. Shuning uchun p_e p_i ga nisbatan ko'p darajada ortadi. η_m ning ko'payishi natijasida bosim ostida kiritishda η_i ni birmunchaga kamayishiga qaramasdan samarali FIK ortadi.



4.7-rasm. **Dvigatelning indikator, samarali ko'rsatkichlarini va mexanik isrof bo'lishlarni xususiyatlaydigan parametrlarining aylanishlar chastotasiga bog'liqligi.**

Gaz turbinali bosim ostida kiritishda gaz turbokompressorning FIK muhim ahamiyatga ega. Uning ortishida gaz almashinuviga isrof bo'lishni kamayishiga erishiladi.

Yuklamaning kamayishida η_m ni kichiklashishi yuklamaning kamayishi bilan $p_{m.i}$ ning kam o'zgarishi va p_i ning esa kichiklashishi bilan tushuntiriladi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda gaz almashinuviga isrof bo'lishni ko'payishi tufayli ayniqsa η_m keskin pasayadi. Dvigatelning salt yurishida $p_i = p_{m.i}$ va $\eta_m = 0$ bo'ladi. Aylanishlar chastotasining ortishi bilan $p_{m.i}$ ni ko'payishi bilan bog'liq holda η_m kamayadi.

4.7-rasmda n ga bog'liq holda indikator va samarali ko'rsatkichlarning asosiylarini o'zgarish xususiyati keltirilgan. Aylanishlar chastotasining ortishida η_m kamayadi, p_e va η_e lar eng katta qiymatga, p_i va η_i larning eng yuqori miqdorga erishgan n dan past aylanishlar chastotasida ega bo'ladi.

(4.15) ifodadan kelib chiqqan holda dvigatelning kuchaytirilgan darajasini baholovchi uning litrli quvvatiga p_i, η_m, n (nominal rejimda) va τ lar ta'sir qiladi. p_i, η_m, η_n larning oshirish imkoni, shuningdek, ikki taktli siklning qo'llash ilgari ko'rib chiqilgan. Ikki taktli dvigatellarda nasosli isroflar mavjud emas, biroq dvigatelning shamollatish — tozalash-to'ldirishni amalga oshirish uchun ishlatiladigan kompressorning yuritishga isrof bo'lishning mavjudligini ko'rsatib o'tish kerak. Ikki taktli dvigatellarda inersiya kuchlariga bog'liq bo'lgan ishqalanishga isrof bo'lish to'rt taktli dvigatellarga qaraganda kam, chunki yordamchi taktlar mavjud emas, shu bilan birga o'rtacha indikator bosimning miqdori ham kam. η_m ning kattaligiga p_i ni kichik miqdori va kompressorning yuritish uchun isrof bo'lish ham ko'p darajada ta'sir qiladi.

4.4-jadvalda avtotraktor dvigatellarining nominal rejimdagi samarali ko'rsatkichlari keltirilgan.

4.4-*jadval*

Dvigatelning turi	η_m	η_e	g_e, g/(kVt·s)	p_e, *MPa*	N_l, kVt/*l*
Uchqundan o't oldiriladigan to'rt taktli dvigatellar (bosimsiz kiritish)	0,75...0,85	0,25...0,35	327...234	0,75...0,85	20...50**
Bosimsiz kiritiladigan to'rt taktli dizellar	0,7...0,8	0,36...0,42	235...202	0,65...0,8	12...20
Bosim ostida kiritiladigan to'rt taktli dizellar	0,78...0,88	0,38...0,45	223...188	2* gacha	16...28**
Ikki taktli dizellar	0,7...0,85	0,33...0,38	257...223	0,5...0,75	15...35

* Hozirgi paytda qo'llaniladigan bosim ostida kiritiladigan avtotraktor dizellari uchun p_e ning chegaraviy miqdori kam. Kelajakda $p_e = 2$ MPa ga erishishi mumkin.

** Yengil avtomobillarning bosim ostida kiritiladigan dizellari uchun N_e 40 gacha, benzinli dvigatellarda esa 65 gacha ega bo'ladi.

Shuning uchun ikki taktli dvigatellarning η_m ini o'rtachasini olganda to'rt taktlilarga qaraganda birmunchaga kam bo'ladi. Bu p_i ning kamayishi bilan bir qatorda to'rt taktli sikldan ikki taktliga o'tganda litrli quvvatni ortish darajasiga ta'sir qiladi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarning litrli quvvati, odatda, nominal aylanishlar chastotasining ko'p bo'lishi tufayli dizellarga qaraganda sezilarli darajada yuqori, bosimsiz kiritiladigan dvigatellarning taqqoslashda esa p_e qiymatini kattaligi bilan yuqori bo'ladi.

4.3. DVIGATEL DETALLARIDA ISSIQLIK YUKLAMALARI VA ULARNING ISSIQLIKDAN ZO'RIQISHI. DVIGATELNING ISSIQLIK BALANSI

4.3.1. DETALLARDA ISSIQLIK YUKLAMALARI VA ULARNING ISSIQLIKDAN ZO'RIQISHI

Issiqlik yuklamasi deganda, ishchi jismdan detallar sathiga uzatiladigan solishtirma issiqlik oqimining miqdori tushuniladi. Issiqlik ishchi jismdan detallar sathiga radiatsiya va issiqlik berish bilan uzatiladi.

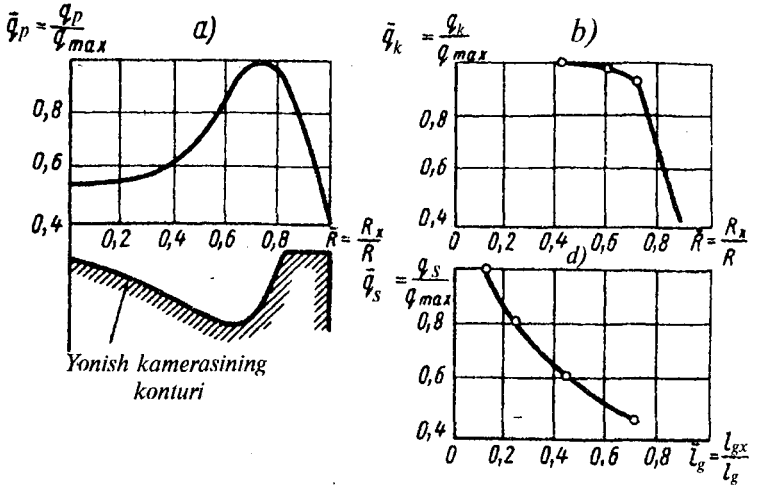
Dizellarda qurumni ko'p hosil bo'lishi va keyinchalik uni qisman yonishi bilan kuzatiladigan diffuzion yonishda sharoit yaratilishida radiatsiyani roli ayniqsa yuqori. Alangada qurumni ishtirok etishi uning qoralik darajasini yuqori bo'lishiga sabab bo'ladi, shuning uchun alanga yuqori nurlanish qobiliyatiga ega. O'lchashlarga muvofiq dizel alangasining harorati termodinamik haroratni hajm bo'yicha o'rtacha qiymatidan yuqori bo'ladi, nominal rejimdagi uning eng katta qiymati yuqorida keltirilgan (3.4-jadvalga qarang).

Alanga harorati va uning qoralik darajasining yuqoriligi umum issiqlik almashinuvida nurlanish orqali issiqlik uzatish ulushi ko'pligini ko'rsatadi (ayrim baholashlar bo'yicha 45% gacha va undan ko'p).

Detallarning ayrim qismlari orqali nurlanish bilan uzatiladigan issiqlik oqimi qismlarning mash'alga nisbatan joylashishiga bog'liq, shuning uchun bir xil emas. Masalan, yonish kamerasi porshenda joylashgan dizellar uchun silindr gilzasi, silindr kallagi va porshenning o'zi kabi detallarning ayrim zonalari, nurlanish jadalligini ko'paygan davrida alangadan porshenning o'zagi bilan ekranlashgan.

Issiqlik ajralib chiqishning jadalligi ko'p jihatdan aralashma hosil qilish va issiqlik ajralib chiqishning sharoitiga bog'liq. Bajarilgan tadqiqotlar, detallar bo'yicha issiqlik yuklamasini taqsimlanishiga kiritishda hosil qilingan silindr va yonish kamerasidagi zaryad harakatining jadalligi va xususiyati ta'sir qilib qolmasdan yonishda aralashmadagi zaryadning harakati, shuningdek, yonilg'i oqimining miqdori va joylashishiga, yonish kamerasining o'lchamlari va shakliga bog'liq bo'lgan yonish kamerasi hajmi bo'ylab yonayotgan yonilg'ining taqsimlanishiga ham bog'liq bo'lishini ko'rsatgan. Oxirgi omillar zaryadning haroratini belgilaydi.

Porshenli dvigatellarda issiqlik almashinuvini nostatsionarligi va detallar bo'yicha issiqlik yuklamasining notekis taqsimlanishi aniqlangan. Issiqlik al-



4.8-rasm. **Dizel detallari bo'yicha issiqlik yuklamasining taqsimlanishi:** *a* — porshen; *b* — silindr kallagi; *d* — silindr gilzasi; R_x — silindr o'qidan o'lchash doirasigacha bo'lgan oraliq $R = D / 2$; l_{gx} — gilzaning yuqori qirrasidan o'lchash doirasigacha bo'lgan oraliq; l_g — gilza uzunligi.

mashinuvining nostatsionarligi radiatsiya va issiqlik berishga ta'sir qiladigan barcha omillarning vaqt bo'yicha o'zgaruvchanligi bilan aniqlanadi (zaryad holatining parametrlari, uning tezligi, shu jumladan uning pulsatsiyali tashkil etuvchilari, alangani tuzilishi va boshqalar).

Issiqlik almashinuvining nostatsionarlik tavsifi uchun solishtirma issiqlik oqimining eng katta qiymati uning vaqt bo'yicha o'rtacha miqdoridan bir necha o'n marta ortishi mumkinligini ko'rsatib o'tamiz. Issiqlikning ko'p qismi jadal yonish davrida uzatiladi. Masalan, siklning 1/10 vaqti davomida (YUCHN ga 10° yetmasdan YUCHN dan 60° o'tgunicha) to'rt taktli avtotraktor dizelini sikli davomida isrof bo'ladigan issiqlikning 70% gachasi zaryaddan detallar devoriga uzatiladi. Agar siklning ayrim taktlaridagi uzatiladigan issiqlik aniqlanadigan bo'lsa, u holda issiqlikning asosiy qismi kengayish taktida (ish yo'li) 90% gacha uzatiladi. Chiqarish takti davomida issiqlik almashinuvining ulushi ko'p hollarda 10% dan ortmaydi.

4.8-rasmda vaqt bo'yicha o'rtacha issiqlik yuklamasini turli detallarning sathlari bo'yicha notekis taqsimlanishi ko'rsatilgan. Muayyan holatda porshenning sathi bo'yicha solishtirma issiqlik oqimi 2,5 marta, silindr kallagining sathi bo'yicha 2,5 marta, silindr gilzasining sathi bo'yicha 2,3 marta (o'lchash doirasi oralig'ida) o'zgaradi. Bosim ostida kiritiladigan avtotraktor dizellarida issiqlik oqimining eng katta qiymati 600 kVt/m^2 va undan ortiq qiymatga erishadi. Odatda, eng ko'p yuklama dvigatel ishining nominal rejimiga to'g'ri keladi.

Yonish kamerasi porshenda bo'lgan dizellarda yonish kamerasining nisbiy diametrini kamayishida issiqlik yuklamasining notekis taqsimlanishi ortadi. Yonish

kamerasi ajratilgan dizellarda solishtirma issiqlik oqimining notekis taqsimlanishi ajratilmagan yonish kamerali dizellarga qaraganda yuqori bo'ladi. Issiqlik yuklamalarining past-balandlik darajasi ko'pincha kuchaytirish darajasi (litrli quvvati) bilan aniqlanadi. U ikki taktli dvigatellarda, odatda, yuqori bo'ladi.

Yuklama, aylanishlar chastotasi, p_k va T_k larning ortishi bilan issiqlik yuklamasi sezilarli darajada ko'payadi. Berilgan tashqi yuklamada issiqlik yuklamasini kamayishiga bosim ostida kiritish tizimini tanlash va bosim ostida kiritiladigan havoning oraliq sovitish orqali α ni mos holda ko'paytirish yo'li bilan erishish mumkin. Purkash (o't oldirish)ning ilgarilatish burchagini oshishi bilan siklning eng yuqori bosimi va haroratini ko'tarilishi oqibatida issiqlik yuklamasi ham ko'payadi.

Yangi yoki ta'mirlangan dvigatelning ishga tushishini boshlanishidan so'ng vaqt o'tishi bilan chala yonish mahsulotlarini detallarda cho'kindi hosil qilishi, moy va yonilg'ining kreking hamda polimerizatsiya bo'lishi tufayli ishchi jismdan detallarga uzatiladigan issiqlik oqimi kamayadi. Keyinchalik uzatiladigan oqimning stabillashish an'anasi kuzatiladi.

O'zgaruvchan (nobarqaror) rejimlarda ishlaganda ishchi jismdan detallarga uzatiladigan issiqlik oqimi faqat har bir sikl davomida o'zgarib turmasdan, sikldan siklga o'tishida ham o'zgaradi. Dvigatelning tezlashishi, yuklanishi, yuklanishining kamayishi, to'xtashi oqibatida vaqt bo'yicha sikldagi o'rtacha issiqlik yuklamasining keskin o'zgarishi *issiqlik zarbasi* nomi bilan ma'lum. Issiqlik zarbalarining xarakteri va chastotasi dvigatel ishining ishonchliligiga ta'sir qiladi.

Issiqlikdan zo'riqish atamasi dvigatel detallarining issiqlik holati bilan bog'liq bo'lgan hodisalar majmuasini ifodalash uchun qo'llaniladi. Detallarning issiqlik holati ular tayyorlangan detallar ashyosining mustahkamlik tavsifiga, detallarda cho'kindi hosil bo'lish jadalligiga, ularning moylash sharoitiga, ishqalanishiga, yeyilishiga, shuningdek, detallardagi zo'riqishlarga ham ta'sir qiladi.

Tajribadan ma'lumki, koks cho'kindisi oqibatida ariqchalarda halqaning harakatlanishini yo'qolishidan holi bo'lish uchun yuqoridagi halqa ostidagi ariqcha yaqinida harorat 220°C dan ortmasligi kerak. To'zitkich teshiklarini jadal kokslanishidan holi bo'lishi uchun uning tumshug'ini harorati 180...200°C dan oshmasligi kerak. Ushbu raqamlarni taxminiy deb qarash kerak, chunki cho'kindilar jadalligi faqat haroratga bog'liq bo'lmasdan detallarning konstruksiyasiga, ular ishlashini boshqa sharoitlariga (haroratdan tashqari), materiallarning sifatiga (shu jumladan yonilg'i va moy), detallarga ishlov berish texnologiyasiga va boshqalarga ham bog'liq.

Detallarning harorati moylarning ishchi haroratiga, demak uning qovushqoqligiga, detallarning ishqalanish juftlarini ajratib turadigan surkov moyi qatlami qalinligiga, ishqalanish xarakteriga ta'sir qiladi. Detallarning issiqlik holatiga bog'liq bo'lgan ishqalanish xarakteri ashyolarning yeyilish tavsifi bilan birgalikda yeyilish sur'atini aniqlaydi. Kritik sharoitlarda suyuq ishqalanish chegaraviy yoki yarim quruq ishqalanishga o'tishi mumkin.

Gazlar bosimi kuchidan kuchlanish o'zgarishining amplitudasi termik kuchlanish amplitudasidan kam, biroq gazlar bosimi kuchidan kuchlanishning o'zgarishi chastotasi sezilarli darajada yuqori. Shuning uchun ular detallarning toliqishi tufayli parchalanishida muhim rol o'ynashi mumkin. Qator detallar uchun aniqlovchi rolni termik kuchlanish o'ynaydi, ularning kritik darajasida detal issiqlik zarbalarini kam miqdoriga bardosh bera oladi, bu uning xizmat muddatini cheklaydi.

Bosim ostida kiritish usuli bilan dizellarning kuchaytirish darajasi ham uning detallarini issiqlikdan zo'riqishida cheklanadi. Silindr kallagi va porshen eng ko'p issiqlikdan zo'riqqan hisoblanadi. Silindr gilzasining issiqlik holati ham muhim hisoblanadi, chunki u porshenning issiqlik holatiga sezilarli ta'sir qiladi.

Bosim ostida kiritish detallarda issiqlik yuklamalarni ortishiga, oqibati esa ularning harorati va gradiyentlari (darajalanishi)ni ko'tarilishiga olib keladi. Silindr kallagining markaziy qismida issiqlik yuklamasi juda ko'p bo'ladi. Porshenda issiqlik yuklama bir qancha kam, silindr gilzasida esa kallakka qaraganda 4...5 marta kam bo'ladi. Bosim ostida kiritiladigan YAMZ dizelining detallaridagi o'lchashlar, detallarning turli zonalaridagi issiqlik yuklamalari 12 martaga va undan ko'pga farqlanishi mumkinligini ko'rsatdi.

Detallarda issiqlik yuklamasining notekis taqsimlanishi bilan birgalikda ularning turli zonalarida termik qarshilikning notekisligi, detallarda haroratning notekis taqsimlanish oqibati hisoblanadi. Masalan, silindr cho'yan kallagining «olovli» sathi yaqinida haroratlar farqi 180°C, aluminiy qotishmali porshenda 100°C, cho'yan gilzada 70°C ga yetishi mumkin. Amaliy sinovlar silindrning cho'yan kallagi va aluminiy qotishmali porshenning eng yuqori harorati 350°C dan, alumin qotishmali silindr kallaginiki 240°C dan, silindr gilzasiniki 160...180°C dan ko'p bo'lmasligi kerakligini ko'rsatdi.

Harorat suv bug'ining kondensatsiyalanishiga ta'sir qilishi tufayli, ayniqsa oltingugurt tashkil etgan yonilg'ilarning ishlatishda, silindr gilzasi uchun eng past harorat ham cheklab qo'yiladi. Albatta, keltirilgan raqamlar taxminiy deb qaralishi kerak, chunki ruxsat etilgan harorat oralig'iga detallarning konstruksiyasi va muayyan ishlash sharoiti ta'sir qiladi. Oxirgisi aluminiy qotishmasidan tayyorlangan porshen va silindrlar kallagi haroratlarining yuqorida keltirilgan ruxsat etilgan eng yuqori haroratlari farqida ko'rsatilishi mumkin. Silindr kallagi uchun yuklanish sharti bo'yicha harorat chegarasi anchaga kam.

Issiqlikdan zo'riqishni boshqarish usullari, tabiiyki uni aniqlaydigan omillar bilan bog'liq. Detallarning konstruksiyasi, ishlatiladigan ashyolari va sovitish sharoitiga issiqlik yuklamalarining aniq ruxsat etilgan past-balandlik darajasi mos keladi. Issiqlik yuklamasini ma'lum past-balandlik darajasiga detallarning issiqlikdan zo'riqishini keltirib chiqaradigan boshqa omillarning mos ravishda to'g'ri tanlanishi kerak deyish ham to'g'ri hisoblanadi.

Oxirgi yillarda silindr gilzasi sathining yuqoriroq bo'lgan haroratida kam issiqlik olish bilan va maxsus suritma moylaridan foydalanib dvigatellarning ishonchli ishlashini ta'minlashga harakat qilinmoqda.

Porshen haroratini sezilarli darajada pasaytirishga, ayniqsa uning kritik zonalarini, sovitiladigan konstruksiyalarni qo'llash yordam beradi. Detallardagi harorat va harorat gradiyentlarini pasaytirishga issiqlikdan himoyalovchi qoplamalar yordam beradi. Bunda qoplamaning harorati va haroratlar gradiyenti yuqori bo'lib qoladi, bundan ularning xususiyatiga katta talab qo'yish kelib chiqadi. Issiqlikdan zo'riqishning sezilarli darajada kamayishiga sovitish tizimini ratsional konstruksiyalash yo'li bilan ham erishish mumkin. Bunda qonunga ko'ra suyuqlik bilan sovitish tizimi havo bilan sovitish tizimiga qaraganda samaraliroq. Bu yerda samarali deb, sovitish tizimi agregatlarini yuritishga eng kam ish sarflab berilgan issiqlik holatini ta'minlash xususiyati tushuniladi.

Sovitish tizimlarining konstruksiyalashda tizimga uzatiladigan issiqlikning umumiy miqdorini ko'paytirmasdan eng ko'p qizigan qismlarini sovitish jadalligini oshirishga intiladi. Xususan, silindr kallagining klapanlar orasidagi bog'liqlik haroratining sezilarli darajada kamayishiga suyuqlik keltirish uchun parmalangan kanaldan foydalanib erishish mumkin.

Foydalanish jarayonida dvigatelning issiqlikdan zo'riqishi quyidagi oqibatlar tufayli o'sishi mumkin:

— dizelning baland tog'li yoki atrof-muhitning haddan tashqari yuqori harorat sharoitida ishlatish;

— suyuqlik bilan sovitiladigan dvigatellarning sovitish g'ilofidagi quyqalar cho'kindisi yoki havo bilan sovitiladigan dvigatellar qovurg'alarining iflosianishi;

— fizik-kimyoviy va motor xususiyatlari dvigatelga mos kelmaydigan yonilg'ilardan foydalanish hamda ta'minlash, purkash va o't oldirish tizimlarining eng maqbul rostlanishiga rioya qilmaslik.

Havo zichligi kam bo'lgan sharoitda dizellarning ishlatish zarurati tug'ilsa, uning ishlab chiqqan zavodning tavsiyasiga muvofiq yonilg'i uzatilishining chegaraviy miqdorini qayta ko'rib chiqish kerak. Foydalanishda bosim ostida kiritiladigan havo sovitkichining issiqlik samarasi va gidravlik qarashligini o'zgarmas holda saqlash eng muhim hisoblanadi.

Foydalanish muddati davomida detallarning sovitilish sharoitini qulay qilib saqlash ham muhim ahamiyatga ega. Buning uchun, xususan, sovitish tizimi elementlarida sezilarli darajada cho'kindilar hosil bo'lishiga yo'l qo'ymaslik kerak.

Bosim ostida kiritish bilan dizelning kuchaytirishning xavfsiz chegara darajasi ko'p jihatdan qabul qilingan aralashma hosil qilish usuliga va yonish kamerasi turiga bog'liq. $d_{yo.k} / D$ nisbatning katta qiymatlarida yonish kamerasi ularning sathi bo'ylab issiqlik yuklamani tekis taqsimlanishini ta'minlaydi, oqibatda haroratlar farqining kamayishiga olib keladi. Bu detallarning ruxsat etilgan eng yuqori haroratini oshirmasdan bosim ostida kiritish bilan yuqori darajada kuchaytirish imkoniga ega bo'lishni ta'minlaydi.

4.3.2. DVIGATELNING ISSIQLIK BALANSI

Dvigatelning issiqlik balansi yoki tashqi issiqlik balansi yonilg'i bilan dvigatelga kiritilgan issiqlikni tajriba yo'li bilan aniqlangan foydali ishlatishga

va ayrim isrof bo'lish turlariga taqsimlanish ko'rinishiga ega bo'lishini ko'rsatadi:

$$Q_0 = Q_e + Q_{sov} + Q_m + Q_{gaz} + Q_{ch.yo.} + Q_{qol},$$

bunda: Q_0 — ma'lum vaqt oralig'ida yonilg'i bilan dvigatelga kiritiladigan issiqlik miqdori, masalan 1 soatda: $Q_0 = G_{yo} H_u$;

Q_e — foydali ishga aylangan issiqlik miqdori; $Q_e = G_{yo} H_u \eta_e$;

Q_{sov} — sovitish suyuqligiga uzatiladigan issiqlik miqdori

$$Q_{sov} = c_{sov} \left(t_{chik} - t_{kir}\right) G_{sov},$$

bunda: c_{sov}, G_{sov} — sovitish suyuqligining solishtirma issiqligi va sarfi;

t_{chiq}, t_{kir} — mos holda sovitadigan suyuqlikning tizimdan chiqishidagi va unga kirishidagi harorati;

Q_m — surkov moyiga uzatiladigan issiqlik miqdori (issiqlik balansining ushbu hadi dvigatelda surkov moyining sovitish uchun avtonom issiqlik almashgich mavjud bo'lganda ajralib chiqadi va Q_{sov} ga o'xshash aniqlanadi, ko'p hollarda Q_m — issiqlik balansining qoldiq tashkil etuvchisiga kiritiladi);

Q_{gaz} — issiqlikning ishlatilgan gazlar bilan isrof bo'lishi,

$$Q_{gaz} = G_{yo} \left[M_2 \left(\mu c''_p\right) t_r - M_1 \left(\mu c_p\right) t_k \right];$$

$Q_{ch.yo}$ — dvigatelda chala yonish oqibatida ajralib chiqmagan issiqlik.

Uni aniqlash uchun yonish mahsulotlari tarkibini bilish va yonilg'ining chala oksidlanish mahsulotlarining har birini yonish issiqligini bilish kerak. $\alpha > 1$ bo'lganda ushbu tashkil etuvchi aniqlanmaydi va issiqlikning unga mos kelgan ulushi Q_{qol} ga kiritiladi; $\alpha < 1$ bo'lganda havoning yetishmasligi tufayli nazariy jihatdan issiqlik ajralib chiqmasligi sababli, uni $Q_{kim} = \Delta H_u G_{yo}$ ifoda bo'yicha aniqlash mumkin. Bunda $Q_{ch.yo}$ va Q_{kim} oralig'idagi farqqa mos keluvchi issiqlik ham Q_{qol} ga kiritiladi. Q_m, $Q_{ch.yo}$ yoki $Q_{ch.yo} - Q_{kim}$ lardan tashqari Q_{qol} ga dvigatel va uning agregatlari tashqi sathlaridan atrof-muhitga tarqaladigan issiqlik, shuningdek, ishlatilgan gazlarning kinetik energiyasiga mos keladigan issiqlik ham kiritiladi. Q_{qol} kattaligiga, tabiiyki issiqlik balansini tashkil etuvchilarining aniqlashdagi xato ham ta'sir qiladi. Q_{sov}, Q_m va Q_{gaz} issiqliklar sovitish, moylash va bosim ostida kiritish tizimlarini hisoblashda ishlatiladi.

$Q_{ch.yo}$ kattalik bo'yicha chala yonish darajasi to'g'risida fikr yuritish va issiqlikdan foydalanishning oshirish yo'llarini belgilash mumkin, Q_{sov} kattalik bo'yicha esa detallarning ratsional sovitish yo'li bilan issiqlikdan foydalanishning oshirish rezervlari to'g'risida faqat taxminiy fikr yuritish mumkin. Oxirgisi, Q_{sov} ga faqat gazlardan silindrga uzatiladigan issiqlik kirmasdan (uning kamaytirish bilan η_i ning oshirish mumkin), chiqarish kanalida gazlardan sovitish suyuqligiga uzatiladigan issiqlik (chiqarish o'tkazish quvuri

sovitiladigan holatda va o'tkazish quvurida), shuningdek, mexanik isrof bo'lishlarning ko'p qismiga to'g'ri keladigan issiqlikning ham kirishi bilan bog'liq (oxirgisining qolgan qismi moy orqali uzatiladi va dvigatelning tashqi sathi bilan tarqaladi).

η_i ning miqdoriga faqat ishchi jism sovitish suyuqligiga bergan issiqlikning umumiy miqdori ta'sir qilib qolmasdan, ushbu isrof bo'lishlarning porshen holatiga bog'liqligi ham ta'sir qiladi. Shuning uchun issiqlik yo'qotishlarning η_i ga ta'sirini tahlil qilish uchun, bu isrof bo'lishlarning dinamikasi to'g'risida tushuncha (tasavvur) beradigan ichki issiqlik balansi va issiqlikning ishga aylanishi (3.6. ga qarang) ham ko'rib chiqiladi.

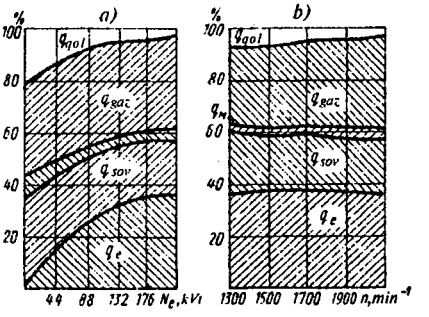
Kiritilgan issiqlikning umumiy miqdoriga nisbatan issiqlik balansini foiz hisobida ham aniqlash mumkin. U holda

$$100 = q_e + q_{sov} + q_m + q_{gaz} + q_{ch.yo.} + q_{qol},$$

bunda: $q_e = Q_e \cdot 100 / Q_0$; $q_{sov} = Q_{sov} \cdot 100 / Q_0$; $q_m = Q_m \cdot 100 / Q_0$ va boshqalar.

Grafikdan ko'rinishiga qaraganda (4.9-a rasm) to'liq yuklamada issiqlik balansining tashkil etuvchilaridan ishlatilgan gazlar bilan isrof bo'lish va foydali ishlatiladigan issiqlik eng ko'p hisoblanadi (bunda $q_{ch.yo.}$ q_{qol} ga kiritilgan). Sovitish suyuqligiga uzatiladigan issiqlikning ulushi kam. Bu obyekt sifatida bosim ostida kiritiladigan dizel ko'rib chiqilganligi bilan qisman bog'liq.

q_e ning ish rejimiga bog'liqligi ilgari ko'rib chiqilgan. q_{sov} isrof bo'lish yuklama va aylanishlar chastotasining ortishi bilan kamayadi. Oxirgisi issiqlik almashinuvi vaqtining kamayishini ustuvorligi bilan bog'liq. IG bilan isrof bo'lishning ulushi yuklamaga kam bog'liq va qoidaga ko'ra n ning ortishi bilan ko'payadi. $q_{gaz} = f(n)$ ning xususiyatiga, tabiiyki n ning o'sishi bilan yonish mahsulotlarining sovitish vaqtini kamayishi ta'sir qiladi. Ish rejimi bilan q_m ning o'zgarish xususiyatini mexanik isrof bo'lishga sarflanadigan indikator ish ulushini o'zgarishi bilan tushuntirish mumkin. Q_{qol} issiqlik ish rejimiga kam bog'liq, shuning uchun aylanishlar chastotasi kamayishida q_{qol} va ayniqsa, dvigatel yuklamasi kamayishida ko'payadi.



4.9-rasm. **Gaz turbinali bosim ostida kiritishda avtotraktor dizelining issiqlik balansi:**
a – $n = const$ bo'lganda quvvat funksiyasida, *b* — yonilg'i nasosining reykasi tirgakda joylashganda aylanishlar chastotasi funksiyasida.

V BOB
TA'MINLASH, BOSIM OSTIDA KIRITISH TIZIMLARI VA AYLANISHLAR CHASTOTASINI AVTOMAT RAVISHDA ROSTLASH

Silindrlarga yonuvchi aralashma yoki havoni uzatish, yangi zaryad miqdori va tarkibini rostlash, ta'minlash, bosim ostida kiritish va avtomat ravishda rostlash tizimlari bilan amalga oshiriladi.

5.1. UCHQUNDAN O'T OLDIRILADIGAN DVIGATELLARNING TA'MINLASH TIZIMLARI

5.1.1. KARBYURATORLI TIZIM

5.1-rasmda ko'rsatilgan ta'minlash tizimining sxemasi yonilg'i sathi (miqdori) ko'rsatkichi 3 ni o'lchagichi (datchik) *2* bilan idish *1* ni, yonilg'i naychalari *7*, *9*, *11* ni, tozalagich 10 ni, idish *1* dan karbyurator *4* ga yonilg'i uzatadigan nasos (odatda, diafragmali) *8* ni o'z ichiga oladi. Karbyuratorga havo bir vaqtni o'zida kiritishda paydo bo'ladigan shovqinni so'ndirgich vazifasini bajaruvchi havo tozalagich orqali kiradi.

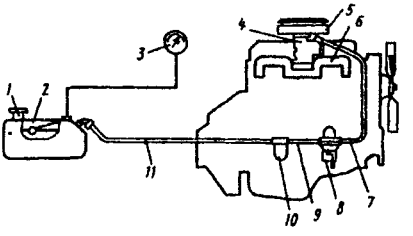
Tizimda bug' tiqinlari hosil bo'lish xavfini pasaytirish maqsadida ba'zan karbyuratorga keltiriladigan yonilg'ining bir qismi qaytadan yonilg'i idishiga o'tkazib yuboriladi. Yonilg'i va havo aralashmasi karbyuratordan kiritish o'tkazuvchi quvur *6* bo'ylab silindrga uzatiladi. Karbyurator tizimning eng muhim qismi bo'lib hisoblanadi, unga quyidagi asosiy talablar qo'yiladi: dvigatel ishlashini barcha rejimlarida, ishlatilgan gazlarni ruxsat etilgan zaharliligida, uning kerakli tejamkorlik va quvvat ko'rsatkichlarini olinishini ta'minlaydigan yonilg'ini aniq dozalashi; dvigatelning ish rejimini tez va ravon o'zgartirish imkoniyati; dvigatelning ishonchli va tez ishga tushirishi; yonilg'ini mayin to'zitilishi.

Oddiy karbyuratorning tavsifi. 5.2-*a* rasmda kiritish patrubogi *1* ni, diffuzor *2* ni, qorishtirish kamerasi *9* ni, drossel to'smaqopqoq *10* ni, ignasimon klapan *6* ni, o'rindig'i *5* va teshigi *3*, qalqovichi *7* bilan qalqovichli kamera *4* ni, yonilg'i jiklyori *8* ni va to'zitkich trubkasi *11* ni o'z ichiga olgan oddiy karbyurator sxemasi keltirilgan. Ishlamayotgan dvigatel qiya holatda turganda to'zitkichdan yonilg'i oqib chiqishining oldini olish uchun $\Delta h = 4...8$ mm oralig'ida bo'ladi (5.2-*a* rasm).

Teshik *3* qalqovichli kamerani kiritish patrubogi 2 bilan va kamdan-kam holda atmosfera bilan bog'laydi. Qalqovichli kamerani kirish patrubogi bilan tutashishi dvigatelning ishlatish jarayonida havo tozalagich qarshiligini ortishida aralashmaning quyuqlashishining oldini oladi. Dvigatel ishlaganda qalqovichli kameradagi bosim har doim diffuzordagi bosimga qaraganda ko'p bo'ladi, shuning uchun bosimlar farqi ta'sirida to'zitkich *11* dan havo oqimiga yonil-

g'i favvora bo'lib chiqadi.

Dvigatel silindriga uzatiladigan yonilg'i-havo aralashmasi miqdori drossel to'smaqopqoq bilan rostlanadi, aralashmaning tarkibi esa bunda avtomat ravishda o'zgaradi.



5.1-rasm. **Karbyuratorli dvigatelning ta'minlash tizimi sxemasi.**

Aralashma tarkibining diffuzordagi siyraklanishga bog'liqligi *karbyuratorning tavsifi* deb ataladi. Ushbu tavsifni tahlil qilib chiqish uchun gidravlikada ma'lum bo'lgan nisbat asosida havoning ortiqlik koeffitsiyenti ifodasi yoziladi:

$$\alpha = \frac{G_h}{\ell_0 G_{yo}} = \frac{1}{\ell_0}\frac{f_d}{f_j}\frac{\mu_d}{\mu_j}\sqrt{\frac{\rho_h}{\rho_{yo}}}\sqrt{\frac{\Delta p_d}{\Delta p_d - \Delta h \rho_{yo} g}}, \qquad (5.1)$$

bunda: G_h va G_{yo} — diffuzor orqali havo va jiklyor orqali yonilg'i sarflari, kg/s;

μ_d va μ_j — diffuzor va jiklyorning sarflash koeffitsiyentlari ($\mu = \beta\varphi$, β — oqimni siqish koeffitsiyenti; φ — tezlik koeffitsiyenti);

f_d va f_j — diffuzorlar va jiklyorning o'tish kesimlari, m^2;

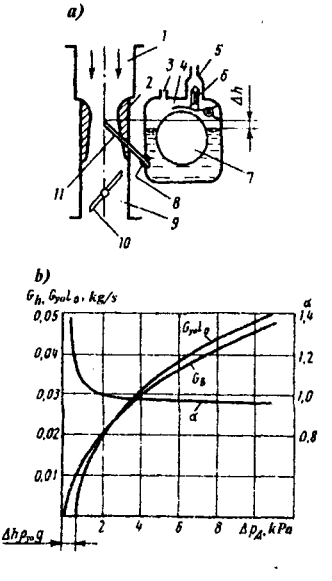
Δp_d — diffuzordagi siyraklanish, Pa; Δh — to'zitkich teshigi balandligi va qalqovichli kameradagi yonilg'i sathi orasidagi farq, m;

ρ_h va ρ_{yo} — havo va yonilg'i zichligi, kg/m^3;

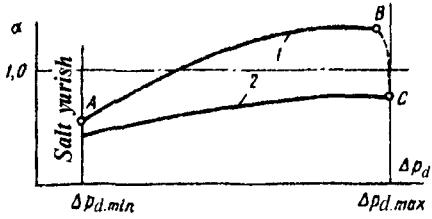
g — erkin tushish tezligi, m/s^2.

(5.1) ifodadagi $(1/l_0)$ (f_d/f_j) ko'paytma o'zgarmas qiymatga ega. $\sqrt{\Delta p_d / (\Delta p_d - \Delta h \rho_{yo} g)}$ va $\sqrt{\rho_h / \rho_{yo}}$ larga kelsak, ular Δp_d ni ortishi bilan kamayadi. Sarflash koeffitsiyenti μ_d Δp_d ga kam bog'liq. μ_j koeffitsiyent jiklyorning teshigini geometrik o'lchamlari, shuningdek uning qirrasining shakli bilan ham aniqlanadi. Bundan tashqari μ_j ga yonilg'ining qovushqoqligi va uning harorati ta'sir qiladi. μ_d / μ_j nisbat Δp_d ni ortishi bilan kamayadi.

Shunday qilib, (5.1) ifodaga kiradigan nisbatlar o'zgarishini tahlilidan havo sarfini ko'payishida siyraklanish Δp_d ning ortishi bilan oddiy karbyurator tayyorlaydigan yonilg'i-havo aralashmasining quyuqlashishi kelib chiqadi (5.2-*b* rasm).



5.2-rasm. **Oddiy karbyuratorning sxemasi (*a*) va tavsifi (*b*).**



5.3-rasm. **Aralashma tarkiblarida karbyuratorning eng qulay tavsifi: 1 — tejamkor; 2 — quvvatli.**

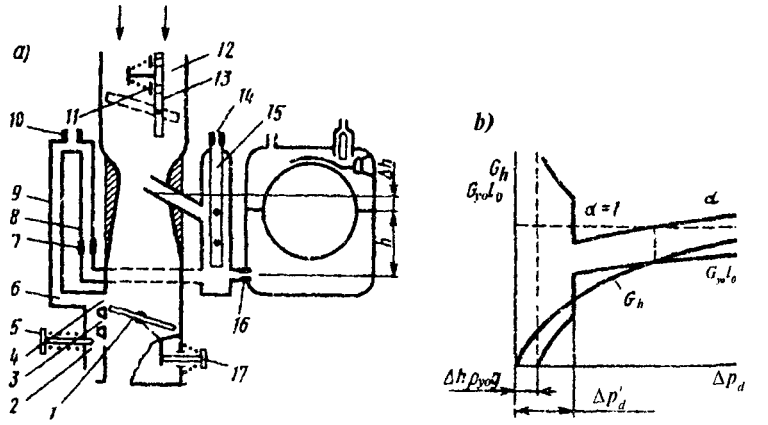
Karbyuratorning eng qulay tavsifi. Karbyuratorli dvigatellarda eng yuqori quvvat quyuq aralashmalardan foydalanilganda, ya'ni $\alpha_q < 1,0$ bo'lganda, eng tejamkorlik esa $\alpha_{tej} > \alpha_q$ bo'lgandagi aralashma yongan holatida olinadi. Berilgan aylanishlar chastotasida Δp_d ning ortishi bilan yonish samaradorligi yaxshilanadi, u holda bu α_q va α_{tej} larni mos holda ortishiga olib keladi (5.3-rasm).

1-tavsif bo'yicha karbyuratorni rostlash, dvigatelning qismiy yuklamalarda ishlashida qaysiki berilgan aylanishlar chastotasida $\Delta p_d < \Delta p_{d\max}$ bo'lganda maqsadga muvofiq bo'ladi. Drossel to'smaqopqoq to'liq ochilganda dvigateldan eng ko'p quvvat talab qilinadi, shuning uchun ushbu holatda aralashma tarkibi 2-egri chiziqdagi nuqta bilan aniqlanadi. Shunday qilib, berilgan aylanishlar chastotasida karbyuratorning eng qulay tavsifi 5.3-rasmda *ABC* chiziq bilan tasvirlanadi. Ushbu tavsiflar turli aylanishlar chastotasida mos tushmaydi, $\Delta p_d = const$ bo'lganda n chastotani ortishi bilan va mos holda drossel to'smaqopqoqni berkilishida aralashmani birmunchaga quyuqlashtirish kerak.

Oddiy karbyuratorning tavsifi eng qulay tavsifi bilan mos kelmaydi, chunki u Δp_d ning ortishi bilan qismiy yuklamalar doirasida aralashmani kerakli darajada suyuqlashishini ta'minlamaydi.

Bosh tizim. Karbyuratorlarning eng qulay tavsifiga mos ravishda α ni avtomat ravishda o'zgarishi *aralashma tarkibini to'g'irlash* (korrektirovka) deb ataladi. U bosh dozalovchi tizim bilan amalga oshiriladi. Aralashma tarkibining to'g'rilashning qator usullari mavjud. Zamonaviy karbyuratorlarning ko'pchiligini bosh tizimi yonilg'i jiklyorida siyraklanishni pasaytirish yo'li bilan aralashma tarkibi farqini kamaytirish usulida ishlaydi (kompensatsiya). U bosh yonilg'i jiklyori *16* dan tashqari emulsiya naycha *15* li quduq va havo jiklyori *14* ga ega, havo jiklyori orqali quduq atmosfera yoki kiritish patrubkasi bilan tutashadi (5.4-a rasm).

Tizim, Δp_d ning miqdori to'zitkichda yonilg'ini balandlikka ko'tarish uchun yetarlicha, ya'ni $\Delta p_d > \Delta h \rho_{yo} g$ bo'lganda ishlay boshlaydi (5.4-b rasm). $\Delta p_d < (h + \Delta h)\rho_{yo} g$ bo'lib turar ekan, quduqdagi bosim atmosfera bosimiga teng bo'ladi va karbyurator oddiy karbyurator kabi ishlaydi. Bunda to'zitkichdan, demak quduqdan yonilg'i jiklyori *16* orqali tushadigan yonilg'iga qaraganda ko'p yonilg'i oqib chiqadi; shunday ekan quduqdagi yonilg'i sathi pasayadi. Sath naycha *15* dagi radial teshikni yuqori qirrasigacha pasayganda $(\Delta p_d = \Delta p'_d)$ to'zitkichga quduqdan yonilg'i bilan ozgina miqdorda



5.4-rasm. **Jiklyorda siyraklanish pasayadigan karbyuratorning sxemasi (a) va bosh tizimi tavsifi (b).**

havo kiradi. Ushbu havo yonilg'i bilan aralashib, emulsiya hosil qiladi, shuning uchun bunday bosh tizimli karbyurator *emulsiyali* deb ataladi. Havo jiklyori *14* emulsiya hosil qiladigan havoni quduqqa kirishini cheklab turadi va unda Δp_k siyraklanish sodir bo'ladi. Endi jiklyordan yonilg'ining oqib chiqishi $h\rho_{yo}g + \Delta p_k$ farq ta'siri ostida ro'y beradi.

Δp_d ni o'sa borishida quduqdagi yonilg'ining sathi pasayadi (emulsiyali naycha *15* dagi ham) va emulsiyali naycha devoridagi yangi teshik ochiladi, bunda Δp_k siyraklanish ham ortaboradi, lekin sekinlik bilan, bu holatda bosh jiklyordan yonilg'ining oqib chiqishi Δp_k qiymat bilan aniqlanadi, bunday holda yonilg'ining sarfi kam darajada ortadi, ya'ni aralashma suyuqlashadi. Shunday qilib, bosh tizimda aralashma tarkibining suyuqlashishi, aralashmaga emulsiya hosil qiladigan havoni qo'shish hisobiga bo'lmasdan (u havoni umumiy sarfiga qaraganda juda oz) jiklyor *16* orqali yonilg'ini oqib chiqishini sodir qiladigan bosimlar farqini kamaytirish hisobiga bo'ladi. Karbyuratorning eng qulay tavsifiga muvofiq ravishda aralashmani kerakli darajada suyultirilishiga *14* va *16* jiklyorlarning o'lchamlarini birgalikda, shuningdek, balandlik *h* ni tanlash bilan ham erishiladi.

Salt yurish tizimi. Bosh tizimdan $\Delta p_d = 80...120\,Pa$ bo'lganda yonilg'ini oqib chiqishi boshlanadi, lekin salt yurish rejimlarda Δp_d miqdori ancha past bo'ladi. Shuning uchun salt yurishda dvigatelning yonilg'i bilan ta'minlash salt yurish tizimi orqali amalga oshiriladi.

Bu tizim bosh tizim bilan bog'langan, salt yurish jiklyori *7* ga yonilg'i bosh jiklyor orqali o'tib keladi (5.4-a rasm). So'ngra *8* va *9* kanallar bo'ylab havo jiklyori *10* orqali kiritiladigan havo bilan aralashib, kanal 6 ga tushadi. Kanal *6* esa *2*, *3* va *4* teshiklar bilan tugaydi. Teshik *4* drossel to'sma-qopqoq qirrasidan yuqorida joylashgan va u orqali yonilg'iga yana birmuncha havo miqdori aralashadi; *3* va *2* chiqish teshiklariga emulsiya tushadi. Vint *5* bilan

emulsiya miqdori rostlanadi va u orqali aralashma tarkibiga ta'sir qilinadi (salt yurishda, odatda, $\alpha = 0{,}85...1{,}0$ bo'ladi). Drossel to'smaqopqoq 1 holati vint *17* bilan rostlanadi, u salt yurish rejimdagi aralashma miqdoriga va aylanishlar chastotasiga ta'sir qiladi. *5* va *17* vintlar holatini tanlab dvigatelning past aylanishlar chastotasida barqaror ishlashiga erishish mumkin. Bunda ehtiyotlik bilan harakat qilish kerak va ishlatilgan gazlarda *CO* va *CH* larning miqdori me'yoridan ortmasligi uchun aralashmani ortiqcha quyuqlashishdan holi bo'lishi kerak (6.1. ga qarang).

To'smaqopqoq 1 ochila boshlaganida teshik *4* yuqori siyraklanish doirasiga tushib qoladi va u orqali ham qorishtirgich kamerasiga emulsiya tushadi, shu bilan dvigatelni kam yuklamalarda ishlashiga o'tishi asta-sekin ta'minlanadi. Keyinchalik drossel to'smaqopqoqni yana ko'proq ochilishida bosh tizim ishga tushadi. Yuklama taxminan to'liq yuklamani 40% va undan ortiq bo'lgunicha salt yurish tizimini yonilg'i uzatishi davom etadi. Ushbu ikki tizimning o'zaro ta'siri natijasida kichik va o'rtacha yuklamalarda karbyuratorning eng qulay tavsifini olishga erishiladi.

Majburiy salt yurish ekonomayzeri. Avtomobil dvigatel bilan tormozlanishida dvigatel drossel to'smaqopqoqni berk holida va avtomobil transmissiyasidan energiya olib, yuqori aylanishlar chastotasida ishlaydi. Bunday rejim *majburiy salt yurish rejimi* deb ataladi. Maxsus tuzilma mavjud bo'lmasa ushbu rejimda ko'p miqdorda zaharli moddalar ajralib chiqadi va moyning sarfi ko'payadi.

Majburiy salt yurish ekonomayzeri salt yurish tizimi orqali yonilg'i uzatishni to'xtatib qo'yadi, buning uchun drossel orti bo'shlig'iga yonilg'i havo emulsiyasini chiqish oldidagi kanalni berkitib qo'yadigan elektr magnit klapani *7* dan foydalaniladi (5.9-rasmga qarang).

Ishga tushirish tuzilmasi. Dvigatelni ishga tushirishda tirsakli val kam chastota bilan aylanadi (50...100 min^{-1}) va salt yurish tizimi bilan uzatiladigan yonilg'i miqdori uni kanallaridagi siyraklanish kam bo'lganligi tufayli yetarlicha bo'lmaydi. Sovuqlayin ishga tushirishda yaxshi to'zitilmagan yonilg'ining ko'p miqdori parda hosil qiladi, faqat uning yengil fraksiyasi bug'lanadi. Aralashma yonilg'i bug'lari bilan juda suyuqlashgan bo'ladi, dvigatellarni ishga tushirish esa qiyinlashadi. Sovuq dvigatelni ishonchli ishga tushirish karbyuratorni qabul qiluvchi patrubkasi *12* da joylashgan havo to'smaqopqog'i *13* yordamida amalga oshiriladi (5.4-a rasm). To'smaqopqoq *13* va *1* lar yuritmasi o'zaro kinematik bog'langan, ishga tushirishda havo to'smaqopqoq berkitiladi, drossel to'smaqopqoq esa aksincha birmunchaga ochiladi va bosh tizimni to'zitkichi yaqinida u orqali yonilg'i uzatish uchun yetarlicha siyraklanish sodir qilinadi.

Ishga tushganidan so'ng avtomatik saqlovchi klapan *11* havo sarfini keskin ortishida aralashmani quyuqlashib ketishining oldini olish uchun xizmat qiladi. To'smaqopqoq *13*, odatda, qo'l orqali boshqariladi, dvigatel ishga tushganidan so'ng uni asta-sekin ochish kerak. Havo to'smaqopqog'ini bun-

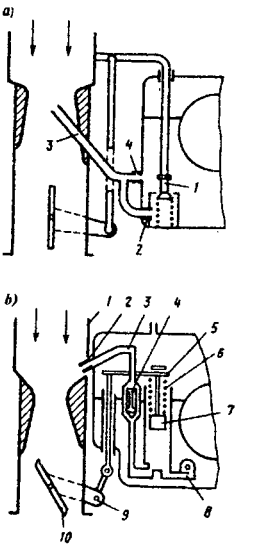
day boshqarish takomillashmagan, shuning uchun zamonaviy karbyuratorlarda ishga tushirilgandan so'ng havo to'smaqopqoqni ochadigan maxsus membranali mexanizm ishlatiladi. Zamonaviy karbyuratorlar ishga tushirish va qizitishni avtomat ravishda boshqarish tizimlari bilan jihozlanadi (masalan, bimetall prujinalar va boshqa issiqqa sezgir tuzilmalarni ishlatib), bu ishga tushirish va qizitish rejimlarida ishlatilgan gazlar zaharliligini anchaga kamaytirishga imkon beradi.

Aralashmani quyuqlashtirish tuzilmasi. Drossel to'smaqopqoqni to'liq ochiq turishida dvigatel eng yuqori quvvatga erishishi uchun aralashmani α = 0,85...0,95 bo'lgunicha quyuqlashtirish kerak (5.3-rasmdagi *BC* egri chiziqqa qarang). Ushbu vazifani aralashmani quyuqlashtirish tuzilmasi *ekonomayzer* va *ekonostat* bajaradi.

5.5-a rasmda mexanik yuritmali ekonomayzerning sxemasi keltirilgan. Klapan *1* ekonomayzer jiklyori *2* ga qalqovichli kameradan yonilg'i kelishini to'sib turadi, drossel to'smaqopqoq holati to'liq ochilishiga yaqinlashganda klapan *1* jiklyor *2* ga yonilg'i o'tishini ochadi. Demak, to'liq va unga yaqin yuklamalarda to'zitkich *3* ga yonilg'i ikki jiklyor orqali keladi: bosh jiklyor *4* va ekonomayzer jiklyori *2* (u orqali uzatiladigan yonilg'i miqdori umumiy yonilg'ini 15...20% gacha yetadi). Klapan *1* ning o'z vaqtida ochilishi uning yuritmasini drossel to'smaqopqoq yuritmasi bilan mos holdagi kinematik bog'liqligini ta'minlaydi.

Ekonomayzer yuritmasi uchun karbyuratorni drossel orti bo'shlig'i bilan bog'langan porshen yoki diafragma mexanizmi *15* yordamida murakkabroq bo'lgan pnevmatik yuritmalardan ham foydalaniladi (5.9-rasmga qarang). Bunday ekonomayzer aylanishlar chastotasi qancha kam bo'lsa, shuncha tez ishga tushadi. Bu avtomobilning shig'ov olishini yaxshilanishiga yordam beradi.

Ekonostat havoni ko'proq sarfida bosh tizim bilan aralashmani o'ta suyuqlashishining oldini oladi; ayrim karbyuratorlarda ekonostat ekonomayzersiz, quvvatli tarkibga o'tishda aralashmani talab qilingan miqdorda quyuqlashishini ta'minlaydi. Masalan, 5.9-rasmda ko'rsatilgan ekonostat diffuzordan ancha yuqorida o'rnatilgan to'zitkich *10* ga ega. Yonilg'i unga qalqovichli kameraga tushirilgan naychasimon jiklyor *12* orqali keltiriladi. Faqat havo sarfi ko'p bo'lgan rejimlarda to'zitkich *10* ni atrofida yetarlicha siyraklanish barpo qilinadi va u orqali yonilg'i kiradi.



5.5.-rasm. **Ekonomayzer (*a*) va tezlatish nasosining sxemasi (*b*).**

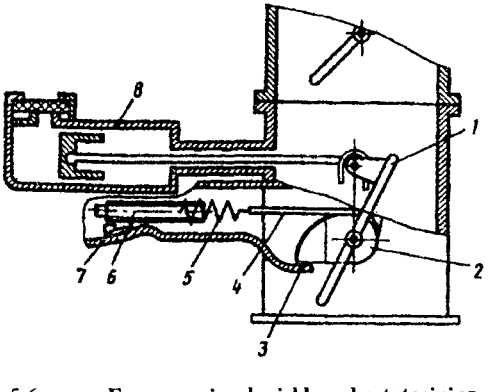
Tezlatish nasosi. Drossel to'smaqopqoq keskin ochilgan holatida silindrga kirayotgan aralashma, bosh tizim kanallarini to'lishi, shuningdek, yonilg'ini pardaga tushib qolishini jadallashishi tu-

fayli vaqtincha suyuqlashadi. Tez tezlashish davrida aralashma hosil qilish, kiritish tizimida o'tish issiqlik rejimi sharoitida sodir bo'ladi, shuning uchun unga kiritish *o'tkazuvchi quvurini issiqlik inersiyasi* deb ataladigani ta'sir qiladi. Ushbu sababga ko'ra silindrga kiradigan aralashmaning tarkibi alangalanish chegarasidan chiqib ketishi mumkin, bu ayrim sikllarda alangalanishni bo'lmasligini keltirib chiqaradi va dvigatel «buzilish» bilan ishlaydi, ya'ni yuklama va aylanishlar chastotasi sekinlik bilan ortadi.

Keltirilganlarga o'xshash buzilishlarning oldini olish uchun drossel to'smaqopqoq *10* ning o'qiga mahkamlangan richag *9* dan mexanik yuritma oladigan tezlatish nasosi bilan karbyurator ta'minlanadi (5.5-b rasm). Drossel to'smaqopqoq berk bo'lganda nasos porsheni *7* yuqorida joylashadi va uni ostidagi bo'shliq yonilg'i bilan to'lgan bo'ladi. To'smaqopqoq 10 keskin ochilganida plastina *5* prujina 6 ni siqadi. Uni ta'siridan porshen pastga tushadi va yonilg'ini haydash klapani *4* va jiklyor *2* ga ega bo'lgan to'zitkich *3* orqali karbyuratorni chiqish patrubogi *1* doirasiga siqib chiqaradi. Prujina *6* yonilg'ini vaqt bo'yicha purkalishini birmunchaga cho'zilishiga yordam qiladi. Agar to'smaqopqoq *10* sekinlik bilan ochilsa, porshen *7* ni asta-sekin tushishida yonilg'i klapan *8* ni yuvib o'tib, qaytadan qalqovichli kameraga kiradi. Porshen *7* ni yuqoriga siljishida haydovchi klapan *4* berkiladi, klapan *8* esa ochiladi va yonilg'i porshen osti bo'shlig'iga kiradi. 5.9-rasmda membrana turidagi tezlatish nasosi *3* ko'rsatilgan.

Eng yuqori aylanishlar chastotasini cheklagichi. Eng yuqori aylanishlar chastotasini cheklash uchun yuk avtomobillarining karbyuratorli dvigatellari maxsus rostlagich (cheklagich)lar bilan ta'minlanadi.

Soddaroq cheklagichlarda karbyurator va kiritish o'tkazuvchi quvuri oralig'ida joylashgan drossel yoki maxsus to'smaqopqoqdan foydalaniladi. Oxirgi holatda (5.6-rasm) to'smaqopqoq *1* oqimga nisbatan ekssentrik holatda va kichik burchak ostida o'rnatiladi. Prujina *5* ni ta'siridan to'smaqopqoqni to'liq ochilishiga tirak *3* xalaqit qiladi. Aralashma oqimining tezligini bosimi to'smaqopqoqni yopishga intiladi, bunga esa prujina 5 qarshilik qiladi. Aylanishlar chastotasi berilgan qiymatga erishganda oqim bosimi prujina kuchini yengadi va to'smaqopqoq *1* val burchak tezligini haddan tashqari ortib ketishining oldini olib berkila boshlaydi. Cheklagich vint *6* va gayka *7* yordamida sozlanadi. Cheklagichning ravon ishlashiga prujina *5* ta'sir qiladigan, to'smaqopqoqni burilishida yelkasini o'zgartiradigan elastik tortqi *4* va profillangan kulachok *2* larning o'zaro ta'siri bilan



5.6-rasm. **Eng yuqori aylanishlar chastotasining pnevmatik cheklagich sxemasi.**

erishiladi. Barqaror ishlashiga so'ndirgich tuzilmasi *8* yordam beradi.

Ko'rib chiqilgan cheklagichning kamchiligi havoni kamroq sarfida sezgirligining pastligi hisoblanadi, ya'ni kichik yuklamalarda ishlaganda, shuning uchun aniq va barcha yuklamalar oralig'ida ishlaydigan murakkab pnevmomarkazdan qochma cheklagichlar keng miqyosda ishlatilmoqda.

Ko'p kamerali karbyuratorlar. Bir kamerali karbyurator diffuzori havo sarfi hatto kam bo'lganda ham quyidagilarni ta'minlashi kerak: birinchidan, yonilg'ini mayda sochilishi bilan to'zitilishini, ikkinchidan esa to'liq drossel rejimida silindrlarni yaxshi to'ldirilishini. Birinchi talabga muvofiq diffuzorning o'tish kesimini kamaytirish afzalroq, ikkinchisiga muvofiq esa uni ko'paytirish lozim.

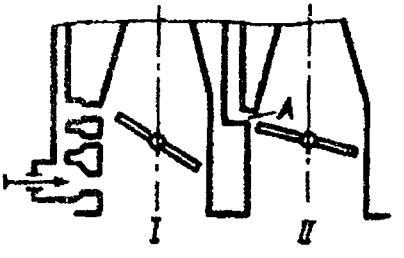
Ko'rsatilgan qarama-qarshilik drossel to'smaqopqoqlari ketma-ket ochiladigan ko'p kamerali karbyuratorlardan foydalanib tugatilishi mumkin (5.7-rasm). Konstruksiyasi bo'yicha ular qalqovchi kamerasi umumiy bo'lgan diffuzorlarini o'tish kesimlari turlicha yoki bir xil bo'lgan ikki aralashtirgich kamerasiga ega, drossel to'smaqopqoqlarini yuritish bilan havoning kichik va o'rtacha sarfida dvigatelni ta'minoti faqat birlamchi kamera orqali, havoni ko'p sarfida esa bir vaqtning o'zida ikkala kamera bilan ta'minlanadi.

Ikkilamchi kameraning drossel to'smaqopqog'ini ochilishida kiritish o'tkazuvchi quvuriga qo'shimcha havo massasini kirishi kuzatiladi. Ikkilamchi kamerani bosh tizimining to'zitkichidan yonilg'ini oqib chiqishini boshlanishi drossel to'smaqopqoqni ochilishini boshlanishidan vaqt bo'yicha birmunchaga kechikadi, ikkilamchi kamerani ishga tushishida aralashmani suyuqlashib ketishi keltirib chiqaradigan dvigatel ishlashini buzilishi bilan kuzatilish mumkin. Ikkala kameraning bosh tizimlarini tutashtirish va buzilishlarni tuzatish uchun o'tish tizimidan foydalaniladi (5.7- rasm). O'tish tizimini chiqish teshigi *A* berk drosselning qirrasi ustida joylashgan. Ikkilamchi kamerani drossel to'smaqopqog'ining ochilishini boshlanishida o'tish tizimi teshigi drossel qirrasi qarshisida turgan zamon, ya'ni yuqori siyraklanish doirasida, undan benzinni oqib chiqishi boshlanadi. Drossel to'smaqopqoqni keyinchalik ochilishida ikkilamchi kamerani bosh tizimi ishga tushadi.

Birlamchi kamera bir kamerali karbyurator uchun xarakterli bo'lgan barcha tizimlarga, ikkilamchi kamera esa — bosh va o'tish tizimlariga, shuningdek, aralashmani quyuqlashtirish tuzilmasiga va tezlatish tizimiga ega.

Ikkilamchi kameraning drossel to'smaqopqog'ini yuritmasi mexanik va pnevmatik bo'lishi mumkin.

Birinchi holatda ikkilamchi kamera ko'pincha quyuq rostlanishga ega bo'ladi



5.7-rasm. **Drossel to'smaqopqoqlari ketma-ket ochiladigan ikki kamerali karbyuratorning prinsipial sxemasi:** *I* va *II* — birlamchi va ikkilamchi kameralar.

va mohiyati bo'yicha ekonomayzer tuzilmasi bo'lib xizmat qiladi. Agar birlamchi kamera ekonomayzerga ega bo'lsa, u holda ikkilamchi kamera suyuqlashgan rostlanishga va ekonostatga ega bo'ladi.

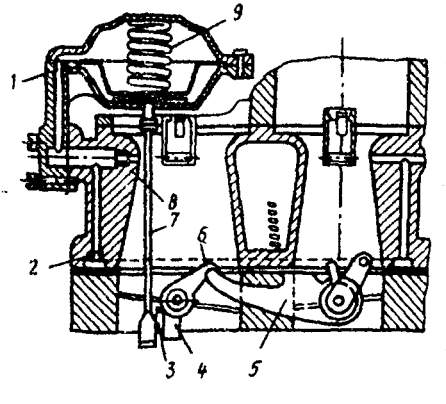
Ikkilamchi kameraning drossel to'smaqopqog'i mexanik yuritmali bo'lganida uning ochilishini boshlashi birlamchi kamera drosselini ma'lum burilish burchagiga (45...60%) muvofiq keladi. Ushbu holat kamchilik deb hisoblanadi, chunki ikkilamchi kamerani bosh tizimidan keladigan yonilg'ini sifatli to'zishiga erishish uchun uning drosseli kam aylanishlar chastotasida keyinroq, katta aylanishlar chastotasida esa ilgari ochilishi kerak.

Bunga birlamchi kamerada ma'lum siyraklanish sodir bo'lganda (havo sarfi) ikkilamchi kameraning ishga tushishini ta'minlaydigan pnevmatik yuritmadan foydalanib erishish mumkin.

Masalan, «Ozon» karbyuratorini drossel to'smaqopqog'i yuritmasi mexanizmining membranasi ustidagi bo'shliq ikki kamerani katta diffuzorlari bilan kanal orqali bog'langan (5.8-rasm). Membrana ikkilamchi kameraning to'smaqopqog'i bilan richaglar tizimi 3...7 orqali ulangan. Membrana ustidagi natijaviy siyraklanish havo jiklyorlari *2* va *8* ni o'tish kesimi bilan aniqlanadi. Tirsakli val aylanishlar chastotasini ortishi bilan membrana ustidagi bo'shliqda siyraklanish ko'payadi.

Deblokirovkadan so'ng va birlamchi kamera diffuzorida siyraklanish ma'lum miqdorga erishganidan so'ng prujina *9* qarshiligini yengib o'tadigan membranani yuqoriga siljishi tufayli ikkilamchi kamerani drossel to'smaqopqog'i ochila boshlaydi. Siyraklanish pasayganda prujina membranani va ikkilamchi kamera drosselini boshlang'ich holatiga qaytaradi. Drossel to'smaqopqoqlari holatini o'zgarishida siyraklanishni mumkin bo'lgan keskin tebranishlarini tekislash uchun so'ndiruvchi jiklyor *1* xizmat qiladi.

Ikkilamchi kameraning drossel to'smaqopqog'i tezlik tavsifi bo'yicha 1400...1600 min^{-1} da ochilaboshlaydi, 1400 min^{-1} dan past aylanishlar chastotasida oddiy bir kamerali karbyurator sifatida ishlaydi.



5.8-rasm. **Ikkilamchi kamera drossel to'smaqopqog'ining pnevmatik yuritmasi.**

Silindrlar soni 8 va undan ortiq bo'lganda kameralari parallel ishga tushadigan ikki kamerali karbyuratorlar ishlatiladi, bunda ularning har biri bir xil konstruksiyaga ega bo'lib, o'zining silindrlar guruhini ta'minlaydi. Ushbu karbyuratorlarning drossel to'smaqopqoqlari sinxron ravishda ochiladi. Bunday karbyuratorlar aralashmani silindrlararo bir tekis taqsimlanishini yaxshilashga imkon beradi.

To'rt kamerali karbyurator parallel ravishda ishlaydigan, ikkita ikki kamerali drossel to'smaqopqoqlari ket-

ma-ket ochiladigan, konstruktiv yagona korpusga birlashtirilgan karbyurator ko'rinishiga ega.

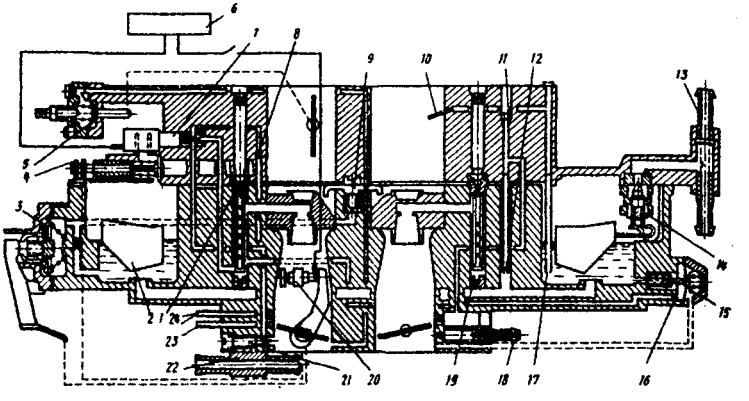
Karbyuratorning konstruktiv sxemasi. Karbyuratorlarning tuzilishi murakkabligi va konstruktiv sxemalarini turliligi bilan farqlanadi. Misol sifatida VAZ-2108 yengil avtomobili dvigateli karbyuratorining sxemasini ko'rib chiqamiz (5.9-rasm).

Karbyurator — ikki kamerali, drossel to'smaqopqoqlari mexanik yuritmali. Ikkilamchi kameraning to'smaqopqog'i birlamchi kameraning to'sma qopqog'i 57° ochilganida ochilaboshlaydi, ikkala to'smaqopqoq ochilishini nihoyasiga yetishi bir vaqtda sodir bo'ladi.

Qopqog'iga ikkita shtutser *13* bosib o'rnatilgan: qalqovich *2* li kameraga benzinni keltirish va benzinni qisman idishga o'tkazib yuborish uchun. Qopqog'iga yana prujina bilan jihozlangan ignasimon berkitish klapani *14* ham mahkamlangan. Karbyuratorning korpusi ikkala aralashtirgich kamerasi bilan yaxlit qilib tayyorlangan. Bosh dozalovchi tizim yonilg'i jiklyori *19* ni va emulsiya naychasiga havo keltiradigan havo jiklyori *1* ni o'z ichiga oladi. To'zitkichlar kichik diffuzorlar markaziga chiqarilgan. O'tish tizimining yonilg'i jiklyori *12* ni pastki qismi kalibrlangan teshikli naycha shakliga ega, u havo jiklyori *11* bilan birgalikda yonilg'ini dozalaydi. O'tish tizimidan aralashtirgich kamerasiga yonilg'i ikki teshik orqali keladi.

Salt yurish tizimini yonilg'i jiklyori, majburiy salt yurishda benzin yo'lini to'sib qo'yadigan elektromagnit klapani *7* da joylashgan. Havo jiklyori 8 orqali benzinga havo qo'shiladi, drossel orti bo'shlig'iga emulsiya sifat vinti *21* bilan rostlanadigan teshik orqali keladi. O'tish rejimlari, salt yurish tizimidan drossel to'smaqopqoq yonidagi tik tirqish orqali keladigan emulsiya miqdorini o'zgarishi bilan ta'minlanadi.

Salt yurishda aralashma miqdori vint *20* bilan rostlanadi. Elektromagnit klapan *7*, elektron blok *6* va drossel to'smaqopqoq holatini kontaktli datchigi bilan boshqariladi. Ushbu klapan faqat majburiy salt yurishda emas, o't oldirish uzib qo'yilganda, aralashmani o'z-o'zidan alanga olishi bilan dvigatel ishlashini



5.9-rasm. **VAZ-2108 karbyuratorining konstruktiv sxemasi.**

oldini olish uchun ham yonilg'i uzatishni to'xtatib qo'yadi.

Ekonomayzerni, ikkilamchi kamerani drossel orti bo'shlig'i bilan kanal orqali ulangan membranali klapan *15* boshqaradi. Qo'shimcha yonilg'ining miqdori jiklyor *16* bilan dozalanadi, yonilg'i undan o'tganidan so'ng karbyuratorning birlamchi kamerasini bosh tizimiga keladi.

Ekonostat *10* ni to'zitkichiga (ikkilamchi kamera) yonilg'i jiklyor *17* orqali keladi. Membranali turiga mansub bo'lgan mexanik yuritmali tezlatish nasosi *3* karbyuratorning ikkala kamerasini katta va kichik diffuzorlari orasidagi tirqishiga yonilg'ini purkaydi.

Havo to'smaqopqog'i dvigatel ishga tushganidan so'ng membranali mexanizm *5* orqali ozgina, keyinchalik dvigatelni isiyboshlashida u qo'l orqali ochiladi. Issiq dvigatelni ishga tushirishni osonlashtirish uchun nomuvozanatlash klapani *4* dan foydalaniladi, u salt yurishda va dvigatel ishlashdan to'xtaganidan so'ng qalqovichli kamerani atmosfera bilan tutashtiradi, benzin bug'lari ushbu kameradan atmosferaga chiqarib tashlanadi.

Aralashtirgich kamerasi dvigatelning sovitish tizimidagi suyuqlik bilan isitiladi (22 kanal), bu salt yurish tizimi kanallarini isitish uchun qurilgan. *18*, *23* va *24* naychalar mos holda karterni shamollatish, vakuum korrektorni boshqarish uchun siyraklanishni olish va antitoksik tizimlar uchun xizmat qiladi.

Karbyuratorli tizim faqat eskirgan konstruksiyali dvigatellarda saqlanib qolgan. Dunyodagi yetakchi avtomobil firmalarining birortasi ham IYOD da bunday tizimni ishlatmaydi.

5.1.2. BENZINNI PURKASH TIZIMI

Benzinning purkash tizimini karbyuratorliga qaraganda asosiy afzalligi quyidagilardan iborat:

— havo va yonilg'ini alohida-alohida dozalash natijasida havoning bir xil uzatilishiga yonilg'ini turlicha uzatilishi mos kelishi mumkinligi;

— ko'p omillar bo'yicha dozalashni asosiy dasturini tuzatishi;

— λ — zondli tizimlarda ishlatilgan gazlarni neytrallash uchun aralashmani aniq dozalash mumkinligi (6.1.4 - bandga qarang);

— dvigatelning quvvat va tejamkorlik ko'rsatkichlarini 5...15% ga yaxshilashi; o'rnatilgan diagnostikasi.

Purkash tizimining narxi, tuzilishini va foydalanishda xizmat qilishni murakkabligi bo'yicha karbyuratorli tizimga yon bosishini ko'rsatib o'tish kerak.

To'rt taktli dvigatellarda 0,15...0,4 MPa bosim ostida elektromagnit forsunka bilan kiritish traktiga benzinni purkash tizimi keng miqyosda tarqalgan. Avtomobil dvigateli silindriga benzinni bevosita purkash forsunkaning ishlash sharoitini noqulayligi, uning yonish kamerasida joylashtirishni qiyinligi, shuningdek, yuqori bosim ostida purkash (2,5...10,0 *MPa*) talab qilinishi tufayli amaliy qo'llanilishiga ega emas.

Purkash tizimini ko'p belgilar bo'yicha tasniflash mumkin, ular ichida

ko'proq quyidagilari muhim hisoblanadi:

Benzinning dozalanishini boshqarish usuli bo'yicha:

— sikllik purkash davomiyligini o'zgartirish yo'li bilan yonilg'i uzatishni rostlaydigan *elektronli*;

— forsunka orqali benzinni uzluksiz uzatadigan mexanikli, bunda uzatish maxsus dozator bilan o'zgartiriladi.

Forsunkalar soni bo'yicha:

— har bir silindr uchun shaxsiy forsunkali (taqsimlangan purkash);

— har bir silindr uchun shaxsiy forsunkali va barcha silindrlarga umumiy bo'lgan bitta ishga tushirish forsunkali;

— barcha silindrlar uchun bir forsunkali (markaziy purkash).

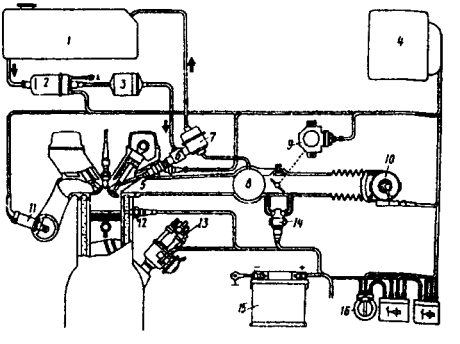
Benzinni taqsimlanish usuli bilan purkalishida* yonilg'i idish *1* dan (5.10-rasm) elektr benzin nasosi *2* bilan tortib olinadi, so'ngra esa mayin tozalagich *3* orqali magistral *6* ga haydaladi, u yerda bosim stabilizatori *7* yonilg'ini forsunkaga kirishida va undan chiqishida o'zgarmas bosimlar farqini saqlab turadi. Ortiqcha yonilg'i stabilizator *7* dan qayta idishga qaytariladi.

Yonilg'i haydovchi magistraldan taqsimlagich orqali kiritish klapani doirasiga uzatadigan shaxsiy elektromagnit forsunkaga keltiriladi.

Havo silindrga uning sarfini o'lchagichi *10* va kiritish o'tkazuvchi quvuri *8* orqali keladi. Havoning miqdori drossel to'smaqopqoq bilan rostlanadi. Yonilg'i dozalanishini boshqaradigan elektron tizim akkumulator *15* dan ta'minlanadi va o't oldirish qulfi *16* ni tutashishida tarmoqqa ulanadi.

Havo sarfi o'lchagichi *10* ni va o't oldirish taqsimlagichi *13* ni (signallarini) ishoralarini (valning aylanishlar chastotasini signali) boshqarish elektron bloki *4* ishlab chiqadi, unga kiritilgan dasturga muvofiq forsunkalar klapanlarini bir vaqtda ochilishini boshqaradigan va dvigatel ishini har bir rejimida ma'lum davomiylikka ega bo'lgan elektr impulsini beradi. Muvofiqlashtirish bilan (fazalashtirilgan) purkash tizimi ishlab chiqilgan, ya'ni har bir silindrga purkash siklni bir xil fazasida amalga oshiriladi. Bu turli silindrlarda aralashma hosil qilish sharoitini jiddiy darajada tenglashtiradi.

Bosim stabilizatori *7* kiritish o'tkazuvchi quvurdagi havo bosimiga nisbatan yonilg'ini o'zgarmas ortiqcha bosimini ±2 kPa aniqlik bilan saqlab turadi, u holda forsunka *5* ni sikllik yonilg'i uzatishi uning klapanini ochiq turish vaqtiga bog'liq bo'ladi.



5.10-rasm. **Benzinni purkab taqsimlash tizimining sxemasi.**

*Markaziy purkash tizimi o'xshash sxemaga ega, lekin bitta forsunka bilan hamma silindrlarga benzin uzatishni ta'minlaydi.

Purkash davomiyligi sovitish suyuqligini haroratiga bog'liq holda boshqarish bloki bilan to'g'rilab turiladi (datchik 12). Tezlashish rejimida ekonomayzer samarasi va aralashmani quyuqlashishi drossel to'smaqopqoq o'qi bilan mexanik tutashgan datchik *9* ni signali bo'yicha ta'minlanadi. Datchikda majburiy salt yurish rejimida yonilg'i uzatishni uzib qo'yish uchun signal beradigan tutashish jufti ham ko'zda tutilgan. Uzatishni uzib qo'yish aylanishlar chastotasi taxminan 1500 min^{-1} dan ortganda drossel to'smaqopqoq yopiq bo'lganda ro'y beradi, aylanishlar chastotasi 900 min^{-1} dan kam bo'lganda uzatish qaytadan ulanadi.

Dvigatelning harorat rejimiga bog'liq holda yonilg'i uzatishni uzib qo'yilishi ham mumkin. Ko'rsatilgan aylanishlar chastotasi bilan salt yurishda dvigatelning barqaror ishlashini ta'minlash uchun sovitish suyuqligi haroratiga bog'liq holda dvigatelga kirayotgan havo miqdorini avtomat ravishda rostlab turish ko'zda tutilgan. Qizimagan dvigatelni salt yurishida drossel to'smaqopqoq yopiq bo'ladi, havo esa yuqoridagi va pastdagi baypas kanallar orqali kiradi. Dvigatelning qiziy boshlashi bilan suyuqlik harorati 50...70°C ga ko'tarilishidan boshlab qo'shimcha havo regulatori 14 havo berishni to'xtatib qo'yadi. Bundan so'ng havo faqat salt yurishda aylanishlar chastotasini rostlaydigan vint bilan kesimini o'zgartirilishi mumkin bo'lgan yuqoridagi baypas orqali kiradi.

Tizim λ — zond *11* signali bo'yicha aralashmani stexiometrik tarkibini saqlanishini ta'minlab ishlashi mumkin.

Bosim stabilizatori *7* va forsunka *5* ni buzilmasdan ishlashi uchun yonilg'ini sifatli tozalash katta ahamiyatga ega.

Havo sarfini o'lchash yuqori ishonchlilik bilan termoanemometrda amalga oshiriladi va havo zichligi o'zgarganda aralashma tarkibini doimiyligini saqlashga imkon beradi. Sezgir element qalinligi 70 mkm bo'lgan platinali sim, kiritish o'tkazuvchi quvurning ko'ndalang kesimi bo'yicha joylashgan, qarshilik mosti tarmog'iga ulangan. Sim elektr toki bilan 150°C doimiy haroratgacha isitiladi. Havo sarfi qancha ko'p bo'lsa, simdan issiqlik olish shuncha kuchli bo'ladi, isitish toki esa o'sadi. Havo sarfiga proporsional bo'lgan tok kuchi most sxemasi bilan uzluksiz o'lchanadi va havo sarfi miqdorini aniqlaydi.

Dvigatel ishlashdan to'xtaganidan so'ng boshqarish bloki buyrug'i bo'yicha termoanemometr ipi qisqa vaqt davrida havo sarfi to'g'risidagi signalni buzishi mumkin bo'lgan ifloslanishdan tozalash (kuydirish) maqsadida yuqori haroratgacha qizdiriladi.

Termoanemometrni sezgir sim elementidan tashqari plyonkaligi ham ishlatiladi.

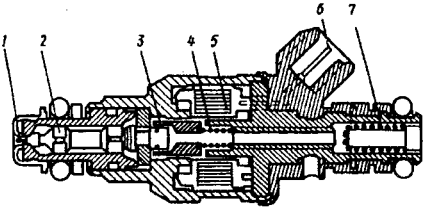
Elektromagnit forsunka. Silindrlar bo'yicha aniq dozalash va bir tekis yonilg'i uzatish ko'p jihatdan forsunkalarning sifatiga bog'liq. 5.11-rasmda elektromagnit forsunkaning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan.

Forsunkaning korpusiga yonilg'i shlang bo'ylab tozalagich *7* orqali keltiriladi. Forsunkaning korpusida to'zituvchi uchlikli *1* klapan *2*, tez ta'sir

qiluvchi elektromagnit *5*, korpusdan himoyalanib tashqariga chiqarilgan kontakt *6* chulg'amini uchlari joylashgan. Elektromagnit toksizlantirilganda prujina *4* klapanni o'rindiqqa siqadi. Forsunkani kontaktlariga boshqaruvchi elektr impulsi berilganida magnit *5* igna *2* bilan tutashgan yakor *3* ni o'ziga tortadi va klapan taxminan 0,1 mm ga ochiladi. Biroq klapan boshqaruvchi impulsni kelishini boshlanishi va tugashi bilan bir vaqtda ochilib yopilmasdan birmunchaga kechikadi.

Ishga tushish vaqti (ochilishining kechikishi) va qo'yib yuborishi vaqti (berkilishining kechikishi) boshqaruvchi impulsni davomiyligiga bog'liq bo'lmasdan, forsunkani konstruksiyasiga, birinchi galda magnit o'tkazuvchini konstruksiyasiga va ashyosiga, harakatlanuvchi detallarning massasiga va boshqalarga ham bog'liq. Qo'yib yuborish vaqti qancha qisqa bo'lsa, forsunkani tezkorligi shuncha yuqori va yonilg'i dozalash xatoligi kam bo'ladi. Forsunkalarning bir komplektini sikllik uzatishini sochilishi kam uzatishlarda 4% ga va ko'p uzatishlarda 1,5% ga yetishi mumkin.

5.1.3. GAZDA ISHLAYDIGAN DVIGATELLARNING TA'MINLASH TIZIMLARI



5.11-rasm. **Elektromagnit forsunka.**

Gazda ishlaydigan dvigatellarning ta'minlash tizimlarining o'ziga xosligi suyuqlantirilgan neft va siqilgan tabiiy gazlarning fizik-kimyoviy xususiyati bilan bog'liq.

Ushbu tizimlar ballonlarda gaz ko'p bosim ostida turishida ishlaydi, shuning uchun tizimda gazni uzatish uchun hech qanday nasoslar mavjud emas, boshqa tomondan ular gaz bosimini kamaytirish uchun reduktorlar va gazda sodir bo'lgan suv bug'lari kondensatining muzlashini oldini olish uchun isitkichlarga ega bo'ladi. Odatda, gazda ishlaydigan dvigatellarning ta'minlash tizimi ikki yonilg'ili bo'ladi, rezerv sifatida benzin bilan ta'minlash tizimi ham bo'ladi, bunday dvigatellarda siqish darajasi eng maqbul emas va mos holda yonilg'i tejamkorligi ham yomonlashgan.

Suyuqlantirilgan gaz bilan ta'minlash tizimi. Ballon *16* da (5.12-rasm) gaz suyuq va gazsimon (suyuq faza ustida) holatlarda bo'ladi. Ballondagi gazning bosimi gazni tarkibiga va uning haroratiga bog'liq bo'lib, 1,6 MPa dan ortmaydi.

Dvigatelning sovitish tizimidagi suyuqlik harorati 60°C dan past bo'lgan haroratda ishga tushirishda ballondan gaz gazsimon fazasini sarflash jo'mragi (ventili) *15* orqali olinadi, suyuq gaz jo'mragi *18* esa bu paytda yopiq bo'ladi. Sovitish suyuqligi 60°C gacha isigandan so'ng, jo'mrak *15* yopilib, jo'mrak *18* esa ochiladi.

Gaz elektromagnit klapan *29* ga kelib, yuqori bosimli gaz naychasi orqali isitkich *12* ga yo'naltiriladi, u yerda ilonizisimon shaklli isitkichda qizdiriladi

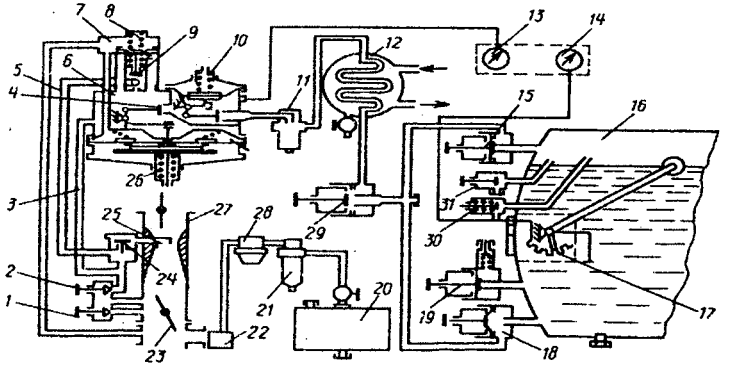
va dvigatelning sovitish tizimidagi suyuqlik issiqligi hisobiga bug'lanadi. So'ngra tozalagich *11* dan keyin gaz ikki bosqichli reduktor *6* ga keladi, u yerda bosim deyarli atmosfera bosimigacha pasayadi. Gazni sarfi va bosimi reduktordan chiqishida diffuzordagi va drosseldan keyingi bo'shliqdagi siyraklanishga bog'liq holda prujina va diafragma tizimi bilan boshqariladigan klapanlar holatini o'zgartirish yo'li bilan avtomat ravishda rostlanadi. Dvigatel ishdan to'xtaganda reduktor unga gaz uzatishni avtomat ravishda to'xtatib qo'yadi.

Reduktorning ikkinchi bosqichidan so'ng gaz karbyurator-qorishtirgichga yo'naltiriladi: gaz nayi *3* orqali salt yurish tizimiga va dozalovchi ekonomayzer tuzilmasi *7* ga, u yerdan gaz nayi *5* orqali teskari klapanga, so'ngra esa forsunka *25* ga keladi.

Salt yurishda ekonomayzer klapani *9* va teskari klapan *24* yopiq bo'ladi. Drossel to'smaqopqoqni ochila borishi bilan diffuzordagi siyraklanish ta'siridan klapan *24* ochiladi va forsunka *25* orqali gaz uzatish boshlanadi. Yuklamani keyinchalik oshishida klapan *9* ochiladi va ekonomayzer tuzilmasi orqali qo'shimcha gaz uzatish amalga oshiriladi. Tuzilma karbyuratorni tezlatish nasosiga o'xshash tizimni talab qilmaydi, chunki reduktorning o'zi ishlashni buzilishisiz tezlashishni ta'minlay oladi.

Gazning sarfi reduktorni ikkinchi bosqichi klapanlarini ochilish darajasiga va bosimiga bog'liq.

Tizimning ishlashi haydovchi kabinasiga o'rnatilgan monometr *13* ni ko'rsatishi bo'yicha nazorat qilinadi.



5.12-rasm. **Suyuqlantirilgan gaz bilan ta'minlash tizimi sxemasi:**
1, 2 — rostlovchi vintlar; 3, 5 — gaz naychalari; 4 — reduktor ikkinchi bosqichi klapani; 6 — gaz reduktori; 7 — dozalovchi ekonomayzer tuzilmasi; 8, 10 — prujinalar; 9 — klapan; 11 — magistraldagi tozalagich; 12 — isitkich; 13 — birinchi bosqich gaz bosimi manometri; 14 — ballondagi gaz sathini ko'rsatkichi; 15 — gazsimon fazani sarflash jo'mragi; 16 — ballon; 17 — sath ko'rsatkich datchigi; 18 — suyuq fazani sarflash jo'mragi; 19 — to'ldirish jo'mragi; 20 — benzin baki; 21 — tozalagich; 22 — karbyurator; 23 — drossel to'smaqopqoq; 24 — teskari klapan; 25 — gaz forsunkasi; 26 — ikkinchi bosqich prujinasi; 27 — qorishtirgich; 28 — benzin nasosi; 29 — magistral jo'mrak; 30 — saqlovchi klapan; 31 — ballonning eng ko'p to'lishini nazorat qilish jo'mragi.

Birinchi va ikkinchi bosqichlardagi gazning bosimi mos holda *8* va *26* prujinalar cho'zilishini o'zgartirish bilan rostlanadi. Salt yurishda rostlash *1* va 2 vintlar bilan, shuningdek, drossel to'smaqopqoq *23* ni yopilishini cheklaydigan tirak vint bilan ham amalga oshiriladi.

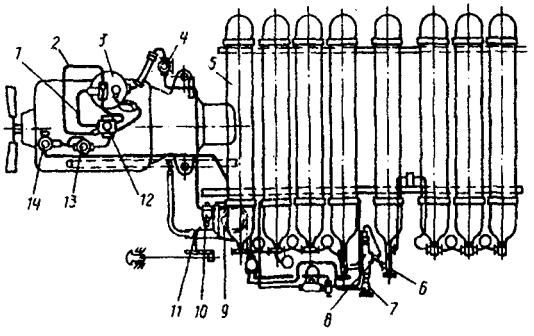
Benzin bilan ta'minlaydigan rezerv tizim qisqa vaqt ichida ishlashga mo'ljallangan va dvigatelning 50% dan ortmagan nominal quvvatini olishni ta'minlaydi.

Siqilgan gaz bilan ta'minlash tizimi. Siqilgan va suyuqlantirilgan gazni uzatish tizimlari ko'p umumiylikka ega. Siqilgan gaz to'ldiriladigan ballonlar (20 *MPa* gacha) 5 ikki to'plam (batareya)ni birlashtiradi (5.13-rasm). Ishlatilgan gazlar bilan isitiladigan gaz isitkich *9* dan va yuqori bosimli reduktordan so'ng (p_{chiq} = 0,8...1,2 *MPa*) dvigatelni ishga tushirish tizimini yopib-ochadigan dozalovchi tuzilmasi vazifasini bajaruvchi tozalagichli elektr magnit klapan *4* ga keladi. So'ngra gaz bosimni deyarli atmosfera bosimigacha pasaytiradigan, kerakli tarkibdagi aralashmani tayyorlash uchun uzatilayotgan gazni dozalaydigan va dvigatel ishlashdan to'xtaganda gaz magistralini uzib qo'yadigan past bosimli ikki bosqichli reduktor *3* ga yo'naltiriladi (suyuqlantirilgan gazga o'xshash).

Karbyurator-qorishtirgich *12* ni va benzinni uzatish uchun rezerv tizimini tuzilishi asosan suyuqlantirilgan gazda ishlagandagiga o'xshash.

Dozalashni talab qilingan aniqligiga va tizimni ishonchli ishlashiga erishish uchun gaz uchlamchi: yuqori bosimli reduktorga kirishda, ekonomayzer klapanida va past bosimli reduktorga kirishda tozalashdan o'tadi.

Tizimning holatini nazorat qilish uchun haydovchi kabinasida ikkita: ballondagi gaz bosimi (zaxirasi)ni ko'rsatadigan yuqori bosimli va past bosimli reduktorni to'g'ri rostlanganligini baholaydigan past bosimli manometr mavjud.



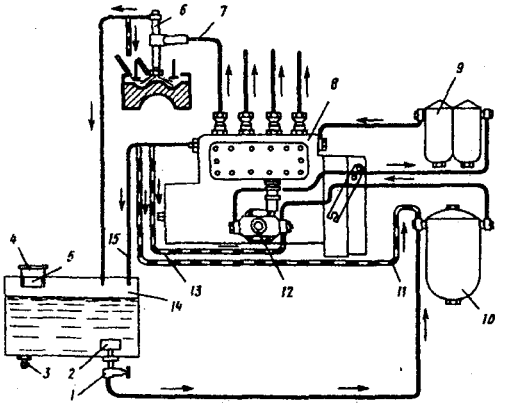
5.13-rasm. **Siqilgan gaz bilan ta'minlash sxemasi:**
1 — salt yurish naychasi; 2 — asosiy gazni uzatish uchun naycha;
3 — past bosimli reduktor; 4 — elektr magnit klapan; 5 — ballon; 6 — sarflash jo'mragi;
8 — saqlovchi klapan; 9 — isitkich; 10 — yuqori bosimli reduktor;
11 — isitkich to'smaqopqog'i; 12 — karbyurator-qorishtirgich;
13 — benzin klapan-tozalagich; 14 — benzin nasosi.

5.2. DIZELLARNING YONILG'I TIZIMLARI

5.2.1. DIZELLARNING YONILG'I TIZIMLARI KONSTRUKSIYASI VA ISH JARAYONLARINING O'ZIGA XOSLIGI

Dizellarning yonilg'i tizimlarini asosiy funksiyalari va turlari. Dizellarning yonilg'i tizimlari yonilg'i zaxirasini saqlashni va uni silindrlarni ishlash tartibiga mos holda ularga uzatishni amalga oshiradi. Dizellarda yonilg'ini purkash va to'zitish jarayonlari parametrlariga talab 3.5.1-bandda bayon qilingan. Yonilg'i tizimiga dvigatelga qo'yiladigan barcha talablar ham kiradi.

Dizellarning yonilg'i tizimlarini bevosita purkash va akkumulator yonilg'i tizimlariga ajratish qabul qilingan. Yonilg'i tizimlarini ikkala turi odatdagi mexanikaviy boshqarish tuzilmasiga, shuningdek, elektron bilan boshqariladigan elektr tuzilmaga ega bo'lishi mumkin. Bevosita ishlaydigan yonilg'i tizimlari, o'z navbatida yuqori bosimli nasos seksiyalari va forsunkalari alohida-alohida qilib tayyorlangan hamda yuqori bosimli yonilg'i o'tkazuvchi naychalar bilan tutashtiriladigan ajratilgan turiga va nasos — forsunkalarga bo'linadi. Ajratilgan turidagi yonilg'i tizimilari keng tarqalgan. Nasos — forsunkalarda nasos seksiyasi va forsunka bir korpusda tayyorlangan, yuqori bosimli yonilg'i o'tkazuvchi naycha mavjud emas.



5.14-rasm. **Ajratilgan turdagi yonilg'i tizimining sxemasi (uzluksiz chiziq 15 va uzilgan chiziq 11 va 13 lar bilan yuqori bosimli nasosdan ortiqcha yonilg'ini olib ketish sxemalari keltirilgan):**
1 — jo'mrak; 2 — tozalagich; 3 — to'kish jo'mragi; 4 — quyish bo'g'zi; 5 — quyish bo'g'zi tozalagichi; 6 — forsunka; 7 — yuqori bosimli yonilg'i o'tkazuvchi naycha; 8 — yuqori bosimli nasos; 9 — mayin yonilg'i tozalagich; 10 — dag'al yonilg'i tozalagich; 11 — dag'al tozalagichga ortiqcha yonilg'ini eltuvchi naycha; 12 — yonilg'i haydovchi nasos; 13 — yonilg'i haydovchi nasosga elituvchi naycha; 14 — yonilg'i baki; 15 — bakka ortiqcha yonilg'ini eltuvchi naycha.

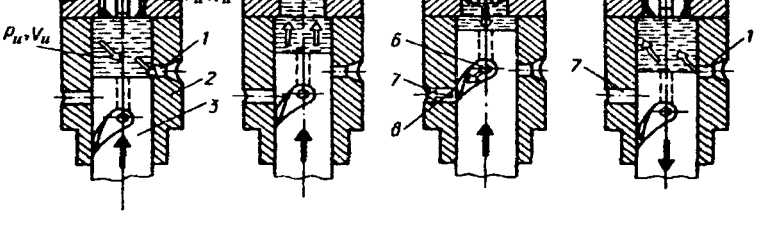
5.14-rasmda ajratilgan turidagi yonilg'i tizimining sxemasi keltirilgan. Yonilg'i bak *14* dan yonilg'i haydash nasosi *12* yordamida past bosimli yonilg'i o'tkazuvchi naychalar bo'yicha dag'al *10* va mayin *9* tozalagichlar orqali 0,05...0,15 MPa bosim ostida yuqori bosimli nasos *8* ga uzatiladi. Ajralib chiqqan havoni ishonchli darajada chiqarib tashlash maqsadida past bosim yo'lida yonilg'i yuqori bosimli nasos orqali haydaladi va ortiqcha yonilg'i naycha *15* bo'ylab bakka quyiladi, ayrim dvigatellarda esa *11* yoki *13* yonilg'i o'tkazuvchi naychala-

ri bo'ylab kam bosimli qismini boshqa nuqtalariga keladi (5.14-rasm). Yonilg'i nasosi *8* ni, yuqori bosimli yonilg'i o'tkazish naychasi *7* ni va forsunka 6 ni o'z ichiga oladigan yuqori bosim yo'lini agregatlari dizel silindriga 30...150 MPa bosim ostida yonilg'i dozalash va purkashni ta'minlaydi.

Ajratilgan turidagi yonilg'i tizimi ish jarayonlarini o'ziga xosligi. Plunjerli mexanik yuritmali va dozalashi keskin uzib qo'yiladigan yuqori bosimli yonilg'i nasosi seksiyasi ishlashini ko'rib chiqamiz. 5.15-rasmda millar bilan seksiya ishlashini turli fazalarida plunjer *3* ni, haydovchi klapan *5* ni va yonilg'ini harakat yo'nalishi ko'rsatilgan. Plunjer *3* ni ko'tarilishini boshlanish davrida vtulka *2* da yonilg'ini plunjer usti bo'shlig'i V_u dan nasos korpusida joylashgan past bosimli kanalga chiqarish darchasi *1* orqali siqib chiqarish sodir etiladi. Plunjer qirrasi (yon yuzasi) bilan kiritish darchasi berkitilganidan so'ng plunjerning faol yo'li boshlanadi. V_u bo'shliqdagi yonilg'ining bosimi ta'siridan haydash klapani *5* ochiladi va yonilg'i shtutser *4* ni hajmi V_u' ga uzatiladi (5.15-b rasm). Haydash klapani *5* ni nasosli ta'siri va shtutser *4* ga yonilg'ini kelishi tufayli yuqori bosimli yonilg'i o'tkazish naychasini kirish qismida bosim keskin ko'tariladi. Hosil bo'lgan bosim to'lqini yonilg'i o'tkazuvchi naycha bo'ylab yonilg'ida tovush tezligi bilan siljiydi. Forsunkaga kelgan to'g'ri to'lqin forsunka korpusidagi yonilg'i bosimini ko'tarilishini keltirib chiqaradi, natijada forsunkani berkituvchi tuzilmasini ochilishi ro'y berib, dizel silindriga yonilg'ini purkash boshlanadi.

Forsunka va dastavval to'zitish teshigi kichik o'tish kesimiga ega bo'ladi, shuning uchun forsunkadan energiyani qisman qaytarilishi ro'y beradi va bosimning teskari to'lqini shakllanib forsunkadan nasosga siljiydi. To'g'ri va teskari bosim to'lqinlarini ustma-ust tushishi yonilg'i o'tkazuvchi naychada bosim tebranishlarini murakkab xarakterligini tushuntiradi.

Plunjerni faol yo'lini tugashidan so'ng teskari to'lqinni nasosdan qaytishida hosil bo'lgan to'g'ri to'lqin qaytadan forsunkaga kelib, forsunkani berkituvchi tuzilmasini ikkinchi marta ochilishini keltirib chiqarishi mumkin. Natijada istalmagan yonilg'i qayta purkalishi ro'y beradi. Shunday qilib, ajratilgan



5.15-rasm. **Yuqori bosimli nasos seksiyasining ishlash sxemasi (a...e).**

yonilg'i tizimlarida yonilg'ini uzatishni haydash yo'lida suyuqlikni to'lqinsimon siljish xarakteriga o'rin bo'ladi.

Plunjerning faol yo'lini tugashi uning keskin uzib qo'yish qirrasi *8* keskin uzib qo'yish darchasi *7* ni ochishi bilan aniqlanadi (5.15-d rasm). Ushbu jarayon keskin uzib qo'yish deb ataladi: yonilg'i teshik *6* va darcha *7* orqali past bosimli yo'lga oqib o'tadi; plunjer ustidagi bo'shliqda bosim tez pasayadi va haydovchi klapan prujina ta'siridan pastga siljiydi (1.15-d rasm). Qayta purkashga yo'l qo'ymaslik uchun haydash klapani balandligi h_{ko} bo'lgan yuksizlantirish belbog'li qilib tayyorlangan (5.17-a rasmga qarang).

Klapanning yuksizlantirish belbog'ini nasosli ta'siri tufayli shtutserni hajmi V_u' dan yonilg'ining bir qismi tortib olinadi. Shtutserdagi bosim kamayadi va odatga ko'ra yaxlitlikni uzilishi va yonilg'ida havo eritmasi ajralishi ro'y beradi. Bu shtutser nasosiga yetib kelgan teskari to'lqinni so'nishini ta'minlaydi va qayta purkashning oldini olishga imkon beradi.

Plunjerning pastga qarab siljishida kiritish darchasi *1* orqali plunjer usti bo'shlig'ini to'lishi sodir bo'ladi (5.15-e rasm). Bu vaqtda haydash klapani yopiq bo'lganligi uchun yuqori bosimli yo'ldan yonilg'ini qaytadan plunjer usti bo'shlig'iga oqib o'tishiga imkon bermaydi. To'lish vaqti va kiritish darchasini o'tish kesimi yonilg'i tizimini barcha ish rejimlari oralig'ida plunjer usti bo'shlig'ini to'liq to'lishini ta'minlaydigan darajada qilib tanlanadi.

Yuqori bosimli yonilg'i nasoslarining tasnifi. Yonilg'i nasoslari bir qator belgilari bo'yicha farqlanadi. **Yonilg'i nasoslari plunjerlarini soni bo'yicha** har bir silindrga bittadan plunjer to'g'ri keladigan ko'p plunjerli va taqsimlovchi turlariga ajratilishi mumkin. Taqsimlovchi nasoslarning seksiyasi bir nechta silindrlarga yonilg'i uzatadi. Plunjerni yuritish usuli bo'yicha bikrli (mexanik) yuritmali va elastik (gazsimon, gidravlik yoki prujinali) yuritmali yonilg'i nasoslariga ajratiladi.

Yuqori bosimli yonilg'i nasoslari **yonilg'i miqdorini dozalash usuli bo'yicha** ham farqlanadi. Silindrlarga uzatiladigan yonilg'i miqdorini dozalash yonilg'i tizimini muhim vazifasi hisoblanadi, chunki ishlash rejimiga bog'liq holda sikllik uzatish 6...15 martagacha o'zgaradi, eng kam miqdori 5...7 mm^3 ga teng bo'lishi mumkin. Avtotraktor dvigatellarida uzatishni keskin uzib qo'yish (5.15- va 5.19-rasmlarga qarang) va kiritishda drossellash bilan sikllik uzatishni rostlaydigan nasoslar ishlatiladi.

Kiritishda drossellanadigan yonilg'i nasoslarida sikllik uzatish plunjer usti hajmining yonilg'i bilan to'lishini o'zgartirish orqali rostlanadi. Buning uchun kiritish darchasiga yonilg'i keltiradigan kanalda drossellash tuzilmasi o'rnatilgan. Dozalashni bunday usuli, odatda, taqsimlash nasoslarida qo'llaniladi, chunki ko'p seksiyali nasoslarda drossellashdan foydalanishda plunjerlar usti hajmlarining to'lishini bir xilligini ta'minlashda qo'shimcha qiyinchiliklar tug'iladi.

Taqsimlash nasoslarini ikki asosiy guruhlarga ajratish qabul qilingan:

plunjerli (ko'proq bir plunjerli) va *rotorli*. Taqsimlash nasoslari plunjerlarini yuritish sxemasi bo'yicha ham ajratish mumkin: tashqi silindrsimon shaklli kulachok bilan, yon tomon shaklli kulachok bilan va ichki silindrsimon shaklli. Oldingi ikki sxema plunjerli nasoslarda, oxirgi sxema - rotorli nasoslarda qo'llaniladi.

Akkumulatorli yonilg'i tizimlarida foydalaniladigan yuqori bosimli nasoslar ikki variantda bajariladi: yonilg'i bir yoki bir nechta plunjer bilan o'zgarmas bosimli akkumulatorga haydaydigan va akkumulatordan boshqariladigan forsunkaga keladigan ko'p sig'imli akkumulatorli nasoslar va kam sig'imli akkumulatorli nasoslar. Nasoslarning ushbu variantlarida plunjerni haydash yo'lini boshlanishida yonilg'i akkumulatorga keladi, so'ngra akkumulatorda ko'p bosim hosil qilinganidan keyin forsunkalarga uzatiladi. Akkumulatorli yonilg'i tizimlari hozirgi paytda kam qo'llaniladi, biroq yonilg'i uzatishni elektron rostlashni keng qo'llanilishi ularni kelajak sifatida qarashga imkon beradi.

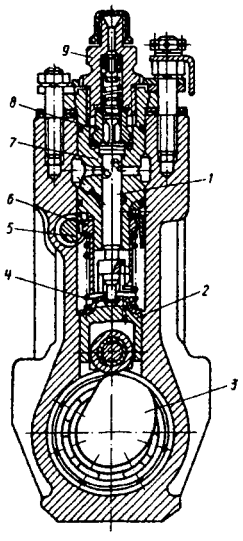
Mexanik yuritmali va keskin uzib qo'yish bilan rostlanadigan ko'p plunjerli yonilg'i nasoslari. Yuqori bosimli nasoslarning ushbu turi avtotraktor va teplovoz dizellarida keng miqyosda tarqalgan.

Yonilg'i nasosini plunjeri *1* turtki *2* bilan birgalikda yonilg'i nasosi valida joylashgan kulachok *3* va prujina *4* ta'siri natijasida qaytma-ilgarilanma harakat sodir qiladi (5.16-rasm). Sikllik uzatishni o'zgarishi 5.15-rasmda ko'rsatilgan holatdagi kabi plunjerni burilishi bilan amalga oshiriladi, uni keskin uzib qo'yish qirrasi vintsimon chiziq ko'rinishida bajarilgan.

Plunjerni burilishida uni faol yo'li o'zgaradi, natijada yonilg'ini sikllik uzatilishi ham o'zgaradi. Sikllik uzatishni o'zgarishi, tishli uzatma va burish vtulkasi 6 yordamida plunjerni o'qi atrofida buradigan reyka 5 ni siljitish yo'li bilan amalga oshiriladi. Sikllik uzatishni o'zgarishi bilan bir vaqtda purkash fazasi ham o'zgaradi: uzatishning boshlanish payti deyarli o'zgarmaydi, uzatishni oxiri oldin yoki keyin sodir bo'ladi.

Plunjerning vtulkasi *7* (5.16-rasm) 5.15-rasmda keltirilgan vtulkaga nisbatan yuqori bosimda purkashga hisoblanganligi, bikrliroq konstruksiyaga ega bo'lishi bilan farqlanadi. Nasosning korpusiga mahkamlanishi uchun u flanes bilan birgalikda yaxlit qilib tayyorlangan. Haydash klapani *8* va shtutser *9* plunjer vtulkasi 7 da joylashgan.

Yuqori bosimli yonilg'i nasoslariga o'rnatiladigan haydash klapanlari, konstruksiyasining turliligi bilan farqlanadi. Haydash klapani purkashlar oralig'ida yonilg'i nasosini yuqori va past bosimli yo'lini ajratib turadi. Shu bilan yonilg'ini yuqori bosim yo'lidan orqaga oqib o'tishiga yo'l qo'ymaydi. Yuqorida bayon qilinganidek, haydash klapani qayta purkashni bartaraf qilinishini ta'minlaydi, shuningdek qoldiq bosimni barqaror ravishda saqlab turadi. Qoldiq bosim deb, navbatdagi purkashni boshlanishigacha nasos



5.16-rasm. **Yuqori bosimli ko'p plunjerli yonilg'i nasosi.**

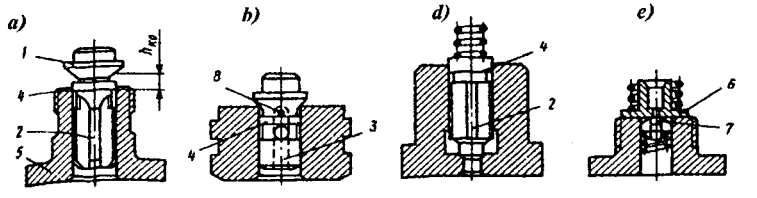
shtutseri, yonilg'i o'tkazuvchi naychalar va forsunkalar bo'shliqlaridagi bosim qabul qilingan. Haydash klapani yordamida yonilg'i uzatishni tezlik tavsifini to'g'rilash mumkin, bu keyinchalik ko'rsatib o'tiladi.

Hajmiy usulda ishlaydigan haydovchi klapanlar (5.17- *a*...*d*-rasm) u yoki bu ko'rinishda yuksizlantirish hajmiga ega bo'ladi. Yuqori qismida qo'ziqorincha *1* ga, balandligi h_{ko} bo'lgan yuksizlantirish hajmga, pastki qismida yonilg'ini o'tishi uchun to'rtta ariqchali quyruq *2* ga (5.17-*a* rasm) yoki pastki qismi naychali bo'lib teshik *3* ga (5.17-*b* rasm) ega bo'lgan qo'ziqorinsimon turidagi klapanlar keng tarqalgan (5.17-*a, b* rasm). Zolotnikli turidagi klapanni ishlash prinsipi qo'ziqorinsimonga o'xshash (5.17- *d* rasm).

Haydovchi klapanni tusha borishda yuksizlantirish belbog'ining pastki qirrasi o'rindiq *5* ni yo'naltiruvchi kanaliga kirish paytidan nasos shtutseridagi o'rindig'iga o'tirgunicha haydovchi klapanning yuksizlantirish hajmiga teng bo'lgan bo'shliq bo'shatiladi. Bu mumkin bo'lgan qayta purkashni bartaraf qilishni va yuqori bosim yo'lida qoldiq bosimni stabilligini ta'minlaydi. Yuksizlantirish belbog'i yonida yonilg'ini o'tishi uchun teshik 8 ga ega bo'lgan hajmiy ta'sir qiluvchi klapan tuzatuvchi deb ataladi (5.17-*b* rasm).

Hajmiy ta'sir qiluvchi klapanlardan tashqari ikki yoqlama ta'sir qiluvchi haydash klapanlari ham ishlatiladi. 5.17-*e* rasmda ikki klapandan tashkil topgan ikki vazifali klapan keltirilgan: asosiy 6 va teskari *7*. Yonilg'ini haydash paytida prujinalar orqali bir-biriga qisilgan ikkala klapan ko'tarilib plunjer usti bo'shlig'idan nasos shtuseriga yonilg'ini o'tkazadi.

Keskin uzib qo'yganidan va klapan *6* o'rindiqqa o'rnashganidan so'ng, teskari klapan *7* nasos shtutseridagi yonilg'i bosimi ostida ochiladi va yonilg'ining bir qismini plunjer usti bo'shlig'iga o'tkazib yuboradi. Bu qayta purkashni



5.17-rasm. **Haydovchi klapanlarning konstruksiyalari:**
a — qo'ziqorinsimon; *b* — qo'ziqorinsimon naychali (tuzatish kiritgichli); *d* — zolotnikli; *g* — ikki yoqlamali; 1 — qo'ziqorin; 2 — quyruq; 3 — markaziy teshik; 4 — yuksizlantirish belbog'i; 5 — o'rindiq; 6 — asosiy klapan; 7 — qo'shimcha klapan; 8 — tuzatish teshigi.

tuzatish maqsadida nasosdan bosim to'lqinini qaytarilishini kamaytirishga imkon beradi va qo'shimcha klapan prujinasini siqish bilan rostlanadigan yuqori bosim yo'lidagi berilgan qoldiq bosimni ta'minlaydi.

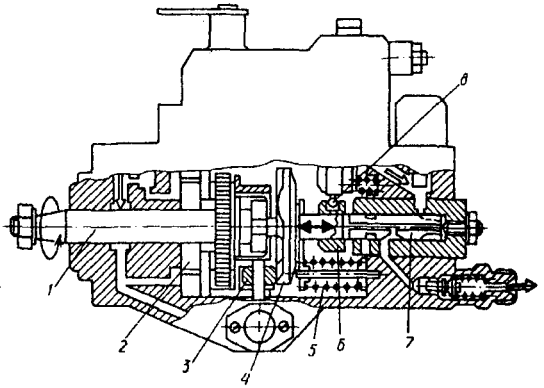
Taqsimlash turidagi yonilg'i nasosi. Taqsimlash nasoslarini qo'llash yuqori bosimli nasoslarni metall sig'imi va tashqi o'lchamlarini birmunchaga (1,5...2 martaga) kamaytirish imkonini beradi. Yengil avtomobillarning dizellarini ko'pchiligi taqsimlash turidagi yonilg'i nasoslariga ega. Ular kam quvvatli traktorlarda ham keng miqyosda qo'llaniladi.

Hozirgi paytda taqsimlash nasoslari orasida yon yuza kulachok shaklli (profilli) bir plunjerli nasoslar ko'proq tarqalgan. Bunday nasoslarning yurituvchi valini o'q chizig'i plunjerni o'q chizig'iga mos keladi va plunjer yurituvchi valning burchak tezligiga teng tezlik bilan aylanadi.

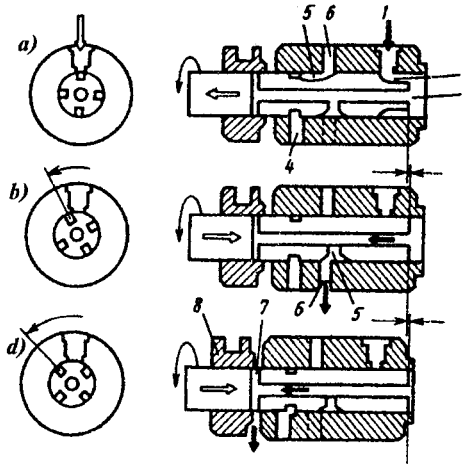
Yonilg'i haydovchi nasos *2* (5.18-rasm) taqsimlash nasosining korpusida 0,2 dan 0,8 *MPa* gacha bo'lgan bosimini ushlab turadi. Ortiqcha yonilg'i korpusni yuqori qismida joylashgan jiklyor orqali oqizib yuboriladi. Plunjer *7* yurituvchi val *1*, o'qlari mahkamlangan to'rtta g'o'lachalar (roliklar) *3* va to'rtta chiqiqli plunjer bilan birga harakatlanadigan kulachokli shayba *4* yordamida aylanma va qaytma-ilgarilanma harakat qiladi. Ushbu chiqiqlar roliklarning ustiga chiqib ketishida kulachokli shayba va plunjer prujina *5* ning qarshiligini yengib, o'ng tomonga siljiydi va haydash yo'lini amalga oshiradi. Yonilg'i uzatishni dozalash uchun rostlagichning richagi *8* bilan boshqariladigan dozator 6 dan foydalaniladi.

Ko'rib chiqilayotgan nasosni ish sikli ilgari ko'rib chiqilgandan faqat bitta plunjer to'rtta forsunkaga xizmat qilishi bilan farqlanmasdan, to'ldirish darchasidan yonilg'ini qayta o'tkazib yuborishni mavjud emasligi bilan ham farqlanadi.

Plunjer ustidagi bo'shliq *3* ni to'lishi (5.19-a rasm) plunjer pastki chekka nuqta tomon siljishida (chapga) va u PCHN da bo'lganda ro'y beradi. Yonilg'i kiritish darchasi *1* va plunjerdagi o'yiq *2* orqali plunjer ustidagi bo'shliqqa keladi. 5.19-a rasmdan ko'rinishicha haydovchi kanallardan biri *6* ushbu davrda ariqcha *5*, plunjerdagi o'yiq va darcha *4* orqali past bosimli bo'shliq bilan tutashgan. Plunjerni aylanma harakati tufayli u PCHN turganida to'ldirish darchasi astasekin berkila boshlaydi va



5.18-rasm. **Bir plunjerli taqsimlash nasosi.**

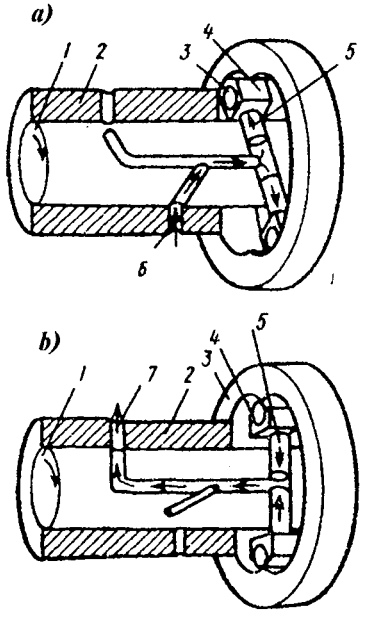


5.19-rasm. **Bir plunjerli taqsimlash nasosi seksiyasining ishlash sxemasi.**

PCHN dan boshlab plujerni faol yo'li boshlanadi (5.19-b rasm). Yonilg'i plunjerning markaziy kanali va taqsimlash ariqchasi 5 orqali haydash kanali 6 ga va keyinchalik haydash kanali va yonilg'i o'tkazuvchi naycha orqali forsunkaga keladi. Plunjerni faol yo'li ilgari dozator *8* bilan berkitib turilgan radial kanal *7* orqali yonilg'ini keskin uzishda tugaydi (5.19-*d* rasm). Shunday qilib, nasosni yuritma valini 1/4 burilishida to'rtta silindrlardan biriga yonilg'i uzatishni ish sikli to'liq nihoyasiga yetadi.

Sikllik uzatishni o'zgarishi nasos korpusining yuqori qismida joylashgan rostlagichni boshqaruv richagi yordamida dozator 8 ni plunjer o'qi bo'ylab siljitish bilan amalga oshiriladi. Dozatorni, masalan, o'ng tomonga siljitishda faol yo'l ko'payadi va yonilg'ini sikllik uzatilishi ham ortadi.

Rotorli taqsimlash nasoslari bir plunjerli nasoslardan massasini va tashqi o'lchamlarini kamligi bilan farqlanadi,biroq pastroq purkash bosimini ta'minlaydi. Yonilg'i taqsimlanishini amalga oshiradigan rotor *1* (5.20-rasm) nasos korpusiga mahkamlangan vtulka *2* da aylanadi.



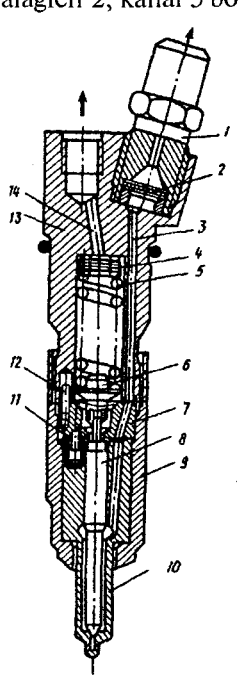
5.20-rasm. **Rotorli taqsimlash nasosi.**

Plunjer bo'shlig'ini to'lishi (5.20-a rasm) qo'zg'almas kulachokli shayba *3* ga markazdan qochma kuchlar bilan qisib qo'yilgan ikki plunjer *5* va ikki turtkich 4 ajralishi tufayli yonilg'i kiritish darchasi 6 orqali plunjer usti bo'shlig'iga tushadi. So'ngra shayba *3* dagi kulachokli chiqiq ta'sirida plunjerlar yaqinlashadi (5.20-b rasm). Ushbu davrda kiritish darchasi yopiq va yonilg'i darcha *7* orqali bosim ostida haydash klapaniga tushadi va keyinchalik yonilg'i o'tkazuvchi naycha bo'ylab forsunkaga keladi. Kiritishda drossellash bilan yonilg'ini dozalash amalga oshiriladi. Bunday nasoslarning ishonchli ishlashi uchun yonilg'ini mayinroq tozalash talab qilinadi.

Forsunkalar. Yonilg'i forsunka orqali dvigatel silindriga tushadi. Forsunka dizelning yonish kamerasi bo'yicha yonilg'ini to'zitish va taqsimlashni amalga oshiradi. Forsunkalar ochiq va yopiq turlariga ajraladi. Yopiq forsunkalar purkash davri oralig'ida to'zitkichning o'tish kesimini berkitadigan ignaga ega.

Avtotraktor dizellarida gidravlik usulda boshqariladigan berk forsunkalar ishlatiladi. Bunday forsunkalarda igna yoki klapan prujina bilan yuklantirilgan bo'lib, yonilg'i bosimi ostida ochiladi. Prujina o'rniga ignani gidravlik berkitilishidan foydalanish mumkin. Bunday holatda forsunka gidroberkitkichli deb ataladi.

5.21-rasmda KamAZ dizellarining forsunkasi keltirilgan. Yonilg'i uzatuvchi naychadan yonilg'i shtutser *1* va himoyalovchi tozalagich *2*, kanal *3* bo'ylab to'zitkich *10* ni korpusiga tushadi, buning natijasida to'zitkichda yonilg'i bosimi ko'tariladi. Yonilg'i bosimi ta'siridan igna *8* prujina *5* ning kuchini yengib ko'tariladi va yonilg'ini to'zitish teshiklariga o'tkazib yuboradi va u orqali dizelning silindriga tushadi. Yonilg'i berishni keskin uzib qo'yish davrida forsunkadagi yonilg'i bosimini pasayishi ignani prujina ta'siridan pastga tushishiga va forsunkani berkilishiga olib keladi.



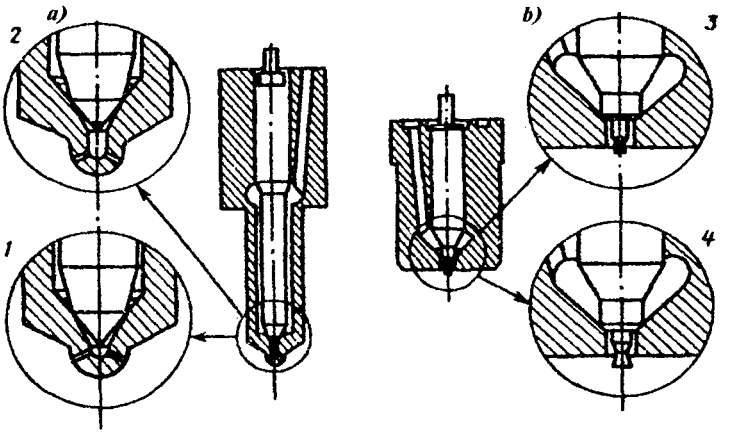
5.21-rasm. **Prujina bilan berkitiladigan bekik forsunkaning konstruksiyasi:**
1 — shtutser; 2 — himoyalovchi tozalagich; 3, 14 — keltirish va olish yonilg'i kanallari; 4 — rostlovchi shaybalar; 5 — prujina; 6 — prujinaning pastki likopchasi; 7 — prostavka; 8 — to'zitkich ignasi; 9 — tortuvchi gayka; 10 — to'zitkich korpusi; 11, 12 — shtiflar; 13 — forsunkaning korpusi.

To'zitkichning yonish kamerasiga chiqib turgan tumshug'i qiyinroq sharoitda joylashgan, u yerda yuqori harorat ta'sirida bo'ladi. 5.22-a rasmda korpus va ignadan tashkil topgan bekik ko'p oqimli to'zitkichning konstruksiyasi ko'rsatilgan. Yonilg'i to'zitkich kanallarida siljib ikkita drossellash kesimdan: igna ostidagi va to'zitish teshiklaridan o'tadi.

Ko'p oqimli to'zitkichdar ajratilmagan yonish kamerali dizellarda ishlatiladi. Yonish kamerasini turiga qarab to'zitish teshiklarining soni 1 dan 10 gacha o'zgaradi, ularning diametri esa 0,15 mm dan 0,6 mm gacha oraliqda bo'ladi.

To'zitish teshiklari oldidagi kanali qisqa bo'lgan to'zitkichlar (5.22-a rasmda) ishlatilgan gazlardagi uglevodorodlar otqinini kamaytiradi.

To'zitkichni xarakterlaydigan muhim bog'liqlik uni gidravlik tavsifi hisoblanadi. To'zitkichning gidravlik tavsifi uni samarali o'tish kesimini ignani siljishiga bog'liqligini ko'rsatadi: $(\mu f)_f = f(y)$. Ommaviy ishlab chiqarishda tayyorlangan to'zitkichlarning sifati etalon va ommaviy to'zitkichlarning gidravlik



5.22-rasm. **Berk forsunkalarning to'zitkichlari:** *a* — ko'p oqimli; *b* — shtiftli.

tavsiflarini bir xilligi (o'xshashligi) bo'yicha nazorat qilinadi. $(\mu f)_f$ ning miqdoriga ketma-ket joylashgan barcha drossellash kesimlari ta'sir qiladi. $(\mu f)_f$ yonilg'ini to'zitkich orqali siljishida sarfining va bosimlar farqining umumiysini tenglik sharti bilan topiladi.

Ushbu shartni e'tiborga olgan holda to'zitkichning samarali o'tish kesimini hisoblash uchun quyidagi tenglikdan foydalaniladi:

$$(\mu f)_f = 1/\sqrt{\Sigma(\mu_i f_i)^{-2}}, \qquad (5.2)$$

bunda: μ_i va f_i — i drossellash kesimni sarflash koeffitsiyenti va yuzasi. Ko'p oqimli to'zitkichlarni tavsifi (5.23-rasmdagi 1 egri chiziq) igna yo'lini boshlanish qismida igna konusi ostidagi o'tish kesimi bilan aniqlanadi. Igna tiralgan holatda bo'lganda drossellashni, asosan, to'zitish teshiklarini o'tish kesimi bajaradi. Shtiftli to'zitkichlar (5.22-b rasm) ignasining oxirida shtift bo'lib, to'zitkich korpusidagi teshik va shtift orasidagi halqasimon tirqish orqali yonilg'i purkaladi.

Shtift, odatda, yuqorisi silindrsimon bo'lgan qismdan va kichik asoslari tutashtirilgan ikkita kesilgan korpuslardan tashkil topgan. Shtiftning konstruksiyasi bir tomondan purkalgan yonilg'i oqimi geometriyasini, boshqa tomondan esa o'z navbatida purkash tavsifini shakllantirishda ishtirok etuvchi purkagichni gidravlik tavsifini belgilaydi. Shtiftli to'zitkichlar ajratilgan yonish kamerali dizellarda ishlatiladi.

Shtiftli to'zitkichlarning gidravlik tavsiflari 5.23-rasmda keltirilgan. 2-tavsif drossellovchi silindrsimon qismi kattalashtirilgan va pastki konusini burchagi nolga teng bo'lgan to'zitkichga muvofiq keladi (5.22-b rasmdagi 3). Drossellovchi qismi uzaytirilgan to'zitkichlar sikllik uzatish kam bo'lganida to'zitilishni yaxshi bo'lishini ta'minlaydi. Shtiftning pastki konusini burchagi to'zitilgan yonilg'i oqimi yo'nalishini belgilaydi. Agar ushbu burchak yetarlicha katta qilib tayyorlangan bo'lsa (5.22-b rasmda 4), igna eng yuqori balandligiga

yaqin balandlikkacha ko'tarilganda forsunkani o'tish kesimini kamaytirishi mumkin (5.23-rasmda 3).

Nasos-forsunkalar. Yuqori bosimli yonilg'i o'tkazuvchi naychalarini mavjud bo'lmasligiga va purkashda siqiladigan eng kam hajmli yonilg'i nasos fosunkalar yordamida yuqori purkash bosimini (120—160 MPa gacha) olishga imkon berishiga qaramasdan nasos-forsunkalar keng miqyosda ishlatilmaydi. Mexanik yuritmali va keskin uzish orqali dozalaydigan nasos-forsunkalarning ishlatilishini cheklaydigan sabablardan biri, nasos-forsunkalarni yuritish uchun qo'shimcha kulachokli valning zarurligi hisoblanadi.

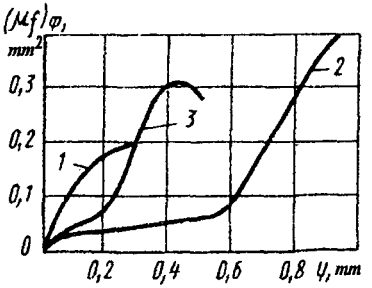
Bundan tashqari nasos-forsunkalar reykalarining holatini bir xil bo'lmasligi tufayli qo'yiladigan kuchning (reykalarni siljitish uchun talab qilingan kuch) yuqorililigi va foydalanishda barqaror emasligi aylanishlar chastotasi rostlagichini ishlashini jiddiy qiyinlashtiradi. Aylanishlar chastotasi rostlagichi ishlashini qiyinlashishini elektron rostlagich boshqaradigan elektr magnitli dozalovchi klapanga o'tish bilan bartaraf qilish mumkin.

5.24-rasmda klapan bilan rostlanadigan nasos-forsunka ko'rsatilgan. Kulachok ta'siridan plunjer *1* pastga qarab siljishida dozalash klapani *4* orqali yonilg'ini past bosim bo'shlig'iga siqib chiqaradi. Silindrga yonilg'i faqat elektr magnit bilan boshqariladigan klapan berk bo'lgan davrda uzatiladi. Shunday usul bilan sikllik uzatishni va purkashni ilgarilatish burchagini rostlash amalga oshiriladi.

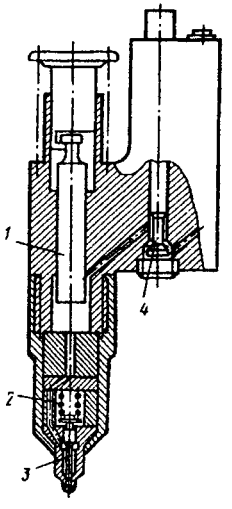
Dozalashni va purkashni ilgarilatish burchagini elektron usulda boshqarish, dvigatelni ekologik ko'rsatkichlariga va uni yonilg'i tejamkorligini oshirishga qo'yilgan qat'iy talablarni bajarish uchun ushbu parametrlarni elastikroq va eng maqbul tuzatilishini amalga oshirishga imkon beradi. Elektronli boshqarish ajratilgan yonilg'i tizimlarida ham tarqala boshlagan.

Taqsimlash nasoslarida sikllik uzatishni va purkashni ilgarilatish burchagini o'zgartirish uchun qayta qo'yiladigan kuch ko'p plunjerli nasoslarga qaraganda kam bo'lishi talab qilinadi. Bu taqsimlash nasoslari o'rnatiladigan dizellarda elektron boshqarishni tezroq va samarali qo'llashga sharoit yaratadi.

Ko'p plunjerli nasosli va elektron bilan boshqariladigan yonilg'i tizimlarida sikllik uzatishni o'zgarishi elektr, elektr magnit yoki elektr gidravlik usulda ijro etuvchi mexanizm orqali reykani boshqarish bilan amalga oshirilishi mumkin, purkashni ilgarilatish burchagini o'zgarishi esa purkash ilgarilatishini gidravlik yoki gidromexanik muftalari yordamida amalga oshiriladi. Ko'p plunjerli yonilg'i nasoslarini elektron bilan boshqariladigan, ikkita reyka bilan jihozlangan konstruksiyasi ishlab chiqilgan, ulardan biri sikllik uzatishni,



5.23-rasm. **To'zitkichlarning gidravlik tavsiflari:** 1 — ko'p oqimli; 2, 3 — shtiftli.



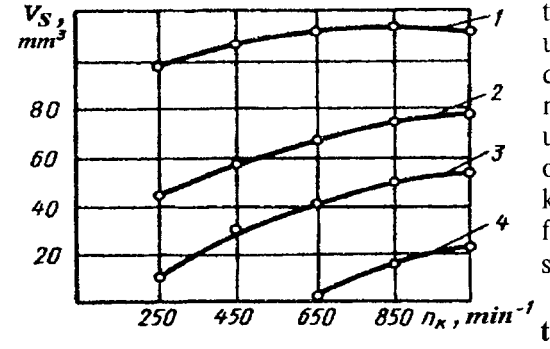
5.24-rasm. **Mexanik yuritmali va dozalashni hamda purkashni ilgarilatish burchagini elektron boshqaradigan nasos-forsunka**: 1 — plunjer; 2 — prujina; 3 — to'zitkich ignasi; 4 — klapan.

ikkinchisi purkashni ilgarilatish burchagini boshqaradi. Uzatishni boshlanishi va oxiri klapanlar bilan boshqariladigan, 5.24-rasmda keltirilgan nasos-forsunka prinsi pi bo'yicha ishlaydigan, yonilg'i nasoslarini qo'llash boshlanmoqda.

Yonilg'i uzatish tavsifi. Yonilg'i uzatish yuklama va tezlik tavsiflarga ajratiladi. Yuklama tavsifi — bu yonilg'i nasosi valining aylanishlar chastotasi doimiy bo'lganida sikllik uzatishni plunjer faol yo'liga bog'liqligi. Ko'p hollarda bunday tavsif chiziqli bog'liqlik ko'rinishiga ega bo'ladi.

Yonilg'i uzatishning tezlik tavsifi deb, plunjer faol yo'li h_{akt} ni o'zgarmas holatida, sikllik uzatishni nasos valini aylanishlar chastotasiga bog'liqligiga aytiladi (5.25-rasm). Yonilg'i uzatishni tashqi tezlik tavsifini tuzatishda plunjerni faol yo'li o'zgarishi mumkin. Keskin uzib qo'yish bilan dozalashda yonilg'i nasosini sikllik uzatishi nasos vali aylanishlar chastotasini o'sishi bilan sezilarli darajada ortadi. Bu ayniqsa plunjerni faol yo'li kam bo'lganda namoyon bo'ladi (5.25-rasm). $V_s = f(n_k)$ ni oqib chiqishiga asosan plunjer vtulkasini darchalarida yonilg'ini drossellanishi ta'sir qiladi.

Plunjerning tezligi qancha yuqori bo'lsa, gilza darchalarida drossellanish tufayli u ko'p qo'shimcha yonilg'i uzatadi. Drossellanish tufayli uzatilgan yonilg'ini nisbiy miqdori plunjerning faol yo'lini kamayishi bilan oshadi. Shuning uchun aylanishlar chastotasini ortishi bilan sikllik uzatishni ko'payishi ayniqsa plunjerning faol yo'lini kam qiymatlarida sezilarli darajada bo'ladi.



5.25-rasm. **Reykaning turli to'rt holatida yonilg'i uzatishning tezlik tavsifi:**

$$h_{akt1}(1) > h_{akt2}(2) > h_{akt3}(3) > h_{akt4}(4).$$

Yonilg'i uzatishning tezlik tavsifini tuzatish (korrektirovkalash). Tirsakli val aylanishlar chastotasini oshishi bilan sikllik uzatishni keskin ko'payishi dizelning ish rejimini barqarorligiga noqulay ta'sir qiladi

(5.4- bandga qarang). Dvigatel rejimlarini barqarorligini oshirish uchun tuzatuvchi haydash klapanlaridan foydalaniladi (5.17-b rasmga qarang). Bunday klapanni konstruksiyasi qo'shimcha teshigi *8* ni mavjudligi bilan farqlanadi.

Aylanishlar chastotasini pasayishi bilan haydash vaqti ko'payadi va teshik 8 orqali plunjer ustidagi hajmdan nasos shtutserining hajmiga ko'p qo'shimcha yonilg'i oqib o'tishga ulguradi. Buning natijasida aylanishlar chastotasini pasayishi bilan sikllik uzatish kam jadallik bilan kamayadi yoki taxminan doimiy bo'lib qoladi. Faol yo'l kam bo'lganda tuzatish teshigini ta'siri ayniqsa sezilarli bo'ladi. Ushbu holatda yuksizlantirish belbog'i uyasi (o'rindig'i)dan chiqmaydi, biroq aylanishlar chastotasini pasaya borishida klapanni ko'tarilishi, demak uni yuksizlantirish ta'siri kamayadi. Bu dizelni barqarorroq ishlashiga yordam beradi.

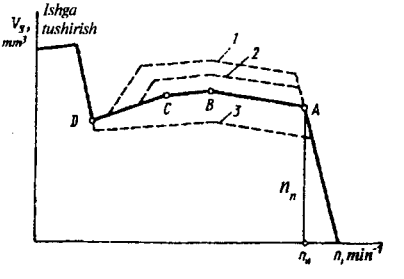
Yonilg'i uzatishning tashqi tezlik tavsifini tuzatish eng muhim ahamiyatga ega. *Yonilg'i uzatishni tashqi tezlik tavsifi* deb, rostlagichni boshqarish a'zosi (qismi)ni o'zgarmas eng yuqori yuklamaga mos keladigan holatida sikllik uzatishni aylanishlar chastotasiga bog'liqligiga aytiladi. Yonilg'i nasosining reykasiga, demak, plunjerni faol yo'liga ta'sir qiladigan qo'shimcha tuzilma bilan tuzatishga erishiladi. Burovchi momentni kerakli zaxirasini ta'minlash uchun (5.4- band qarang) aylanishlar chastotasini pasayishi bilan plunjerning faol yo'lini ko'payishidan iborat bo'lgan tashqi tezlik tavsifini nominal rejimidan eng yuqori burovchi momenti rejimigacha (5.26-rasm, *AB*) bo'lgan qismida bevosita tuzatish amalga oshiriladi. Past aylanishlar chastotasida va katta yuklamada tutab chiqishini ko'payishi tuzatishni aksi zarurligini, ya'ni *CD* qismida sikllik uzatishni kamaytirishni keltirib chiqaradi (5.26-rasm)

Reykaning yo'li va sikllik uzatish bosim ostida kiritish bosimini, absolut atmosfera bosimini va balandlikni tuzatkichlari yordami bilan ham o'zgartiriladi (mos holda 5.26-rasmdagi 1, 2 va 3). Tashqi tezlik tavsifining elastik va samaraliroq tuzatilishi kelajak hisoblangan boshqarishni elektronli tizimlari yordamida amalga oshiriladi.

5.2.2. DIZELNING YONILG'I TIZIMINING GIDRODINAMIK HISOBI

Talab qilingan sikllik uzatishni aniqlash. Yonilg'i tizimini konstruktiv qismlari va rostlash parametrlari dizelning asosiy ish rejimlarida talab qilingan sikllik uzatish va purkash tavsifini ta'minlash sharoitidan kelib chiqqan holda tanlanadi.

Nominal quvvat rejimda va boshqa asosiy rejimlarda talab qilinadigan sikllik uzatish quyidagi tenglama orqali aniqlanishi mumkin:



5.26-rasm. **Yonilg'i uzatishning tashqi tezlik tavsifini tuzatish.**

$$G_s = g_e N_e \tau / (120 ni), \tag{5.3}$$

bunda: i — silindrlar soni.

Talab qilingan sikllik uzatish aniqlanganidan so'ng statik ma'lumotlar va o'xshashligi bo'yicha yonilg'i tizimining bir yoki bir nechta variantlarini konstruktiv va rostlash parametrlari tanlab olinadi va loyihalanayotgan yoki takomillashtirilayotgan yonilg'i tizimini qiyosiy gidrodinamik hisobi bajariladi.

Hisoblashning asosiy qoidalari. Hisoblash modeli (5.27-rasm) past bosim yo'li elementlarini o'z ichiga olmaydi, chunki hisoblashni boshlanishida plunjer usti bo'shlig'i V_u yonilg'i bilan to'lgan, bosim p_u esa past bosim yo'lidagi bosim (p_{bs}) ga teng deb yo'l qo'yish qabul qilinadi. Yonilg'i tizimida jarayonlar izotermik, yonilg'i zichligi ρ_{yo} va tovush tezligi doimiy deb hisoblanadi. V_u, V_n' (nasos shtutseri) va V_f (forsunka) hajmlarda jarayonlar muvozanatlangan sifatida ko'rib chiqiladi (berilgan hajm oralig'ida yonilg'idagi g'alayonlanish lahzada tarqaladi). Uzunligi L va yuzasi f_p bo'lgan yonilg'i naychada harakat bir o'lchamli, gidravlik ishqalanish omili k doimiy deb qabul qilinadi. So'nggi hajmlarni va yonilg'i naychani bo'ysunuvchanligi ham inobatga olinmaydi.

Hisob usuli yonilg'i tizimidagi gazsimon fazani quyidagi yo'l qo'yishlar bilan inobatga oladi:

— yaxlitlilikning uzilishlarini hosil bo'lishida ajralib chiqqan havo va yonilg'i bug'larini gidrodinamik jarayonlarga ta'siri hisobga olinmaydi;

— yonilg'i egallamagan bo'sh hajmlar bosimi nolga teng;

— qoldiq bo'sh hajmlar V_{qol} purkashni boshlanishidan oldin yuqori bosim yo'lining hajmi bo'yicha bir tekis taqsimlangan;

— purkashning oxirgi fazasida ortiqcha bosim noldan past bo'lganida nasos shtutseridagi va forsunkadagi bo'sh hajmlar (V_{pn} va V_{pf}) hajmiy balans bo'yicha hisoblanadi, purkashni oxirida yonilg'i naychadagi yaxlitlikni uzilishi manfiy bosim bilan modellashtiriladi.

Yonilg'i naychada yonilg'ining nobarqaror harakatini hisobi. Yuqorida ko'rsatilgan yo'l qo'yishlarni hisobga olgan holda yonilg'ining nobarqaror harakati differensial tenglamasini quyidagi ko'rinishida yozish mumkin:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{dp}{dx} + \rho_{yo}\frac{dc}{dt} + 2\rho_{yo}kc = 0 \\ &\frac{dc}{dx} + \frac{1}{a^2\rho_{yo}} \cdot \frac{dp}{dt} = 0 \end{aligned}\right\} \tag{5.4}$$

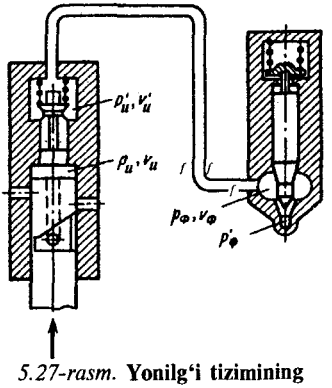
bunda: x — yonilg'i naycha uzunligini joriy koordinatasi; t — vaqt; c — yonilg'ining tezligi; a — yonilg'idagi tovush tezligi.

Tenglama boshlang'ich sharoitni hisobga oluvchi, nasos va forsunkadagi jarayonlarni yorituvchi chegaraviy shartlar tenglamasi bilan birgalikda yechiladi. Boshlang'ich shartlar deb, hisoblashni boshlanishida yonilg'i naychadagi tezlik c_0 (odatda, $c_0 = 0$) va qoldiq bosim p_0 yoki $p_0 < 0$ bo'lgan bosimdagi qoldiq b o ' s i V_{qol} tushuniladi. $V_{qol} > 0$ bo'lganda $p_0 = 0$ deb qabul qilinadi, V_{qol} miqdor esa haydashni asosiy yo'li (magistral) bo'yicha V_u', V_{yo} (yonilg'i naycha) va V_f hajmlarga proporsional ravishda taqsimlanadi (5.27-rasm).

Boshlang'ich shart $p_0(V_{qol})$ taxminan beriladi va so'ngra purkashning bir qancha jarayonlarini hisoblash natijasida oydinlashtiriladi.

Yonilg'i naychadagi yonilg'ini nobarqaror harakati tovush tezligi bilan bir-biriga qarama-qarshi harakatlanuvchi to'g'ri va teskari bosim to'lqinlari bilan modellashtiriladi. Sonli integrallashni har bir qadamidagi hisoblashlarda to'lqinni Δt miqdori $\Delta x = a\Delta t$ uzunlik bo'yicha bir qadamga siljitiladi.

Forsunkaga keladigan to'g'ri to'lqin $F\left(t - L/a\right)$ miqdori va nasosga keladigan teskari to'lqin $W\left(t\right)$ miqdori gidravlik ishqalanishdagi yo'qotishlarni hisobga oladigan $e^{-k(L/a)}$ miqdorga ko'paytiriladi. Keladigan to'lqinlarni shunday usul bilan olingan miqdori yonilg'i naychani kirish va chiqish kesimlaridagi yonilg'i tezliklari c va c' ni hisoblash uchun (differensial tenglamalar tizimini yechilishiga mos holda) va nasosda $\left[F\left(t\right)\right]$ va forsunkada $\left[W\left(t + L/a\right)\right]$ shakllanadigan bosimlar to'lqinini hisoblash uchun foydalaniladi.



5.27-rasm. **Yonilg'i tizimining hisoblash sxemasi.**

Yonilg'i naychani kirish kesimi

$$c = \frac{1}{a\rho}\left[p'_u - p_0 + 2W(t)e^{-k(L/a)}\right]; \tag{5.5}$$

$$F(t) = p'_u - p_0 + W(t)e^{-k(L/a)}, \tag{5.6}$$

bunda: p'_n — nasos shtutseridagi bosim.

Yonilg'i naychani chiqish kesimi

$$c' = \frac{1}{a\rho}\left[p_0 - p_f + 2F(t - L/a)e^{-k(L/a)}\right]; \tag{5.7}$$

$$W(t + L/a) = p_0 - p_f + F(t - L/a)e^{-k(L/a)}, \tag{5.8}$$

bunda p_f — forsunkadagi bosim.

Shunday qilib, yonilg'i o'tkazuvchidagi jarayonni modellashtirish uchun sonli integrallashni har bir qadamida bosim to'lqinini siljishini amalga oshirish va c, c', F_f, va $W(t + L/a)$ miqdorlarni hisoblash kerak.

Nasosdagi ish jarayonining hisobi. Umuman hisoblashga taalluqli bo'lgan va yuqorida keltirilgan yo'l qo'yishlardan tashqari o'rindiq — haydash klapanini tutashishidagi ishqalanish kuchini, plunjer yuritmasining elastikligini, haydash klapani prujinasidagi to'lqin hodisasini hisobga olmaslik to'g'risida yo'l qo'yishlar qabul qilinadi.

Nasosdagi jarayonlarni yorituvchi tenglamalar tizimi hajmiy balans tenglamalaridan va haydash klapanining dinamik muvozanatlanganlik tenglamalaridan tashkil topgan:

$$\alpha_u V_u 6n \frac{dp_u}{d\varphi_k} = f_p c_p - \sigma_0 (\mu f)_0 \sqrt{\frac{2}{\rho_{yo}}} \sqrt{|p_u - p_{bc}|} -$$

$$- \sigma_k \mu_t f_t \sqrt{\frac{1}{1+k_k^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho_{yo}}} \sqrt{|p_u - p_u'|} - f_k c_k - z_p; \qquad (5.9)$$

$$\alpha_u' V_u' 6n \frac{dp_u'}{d\varphi_k} = \left(\sigma_k \mu_t f_t \sqrt{\frac{1}{1+k_k^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho_{yo}}} \sqrt{|p_u - p_u'|} - f_k c_k - f_{yon} c \right) \sigma_1;$$

$$6n \frac{dV_{pn}'}{d\varphi_k} = - \left(\mu_t f_t \sqrt{\frac{1}{1+k_k^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho_{yo}}} \sqrt{|p_u - p_u'|} - f_k c_k - f_{yon} c \right) \sigma_1';$$

$$M \cdot 6n \frac{dc_k}{d\varphi_k} = \left[f_k (p_u - p_u') + \frac{f_k - f_k'}{1+k_k^2} (p_u - p_u') - f_k p_{ko} - \delta h_k \right];$$

$$6n \frac{dh_k}{d\varphi_k} = c_k.$$

(5.9) tizimning birinchi tenglamasi plunjer usti bo'shlig'idagi hajmiy balans tenglamasi hisoblanadi. Vaqt birligida V_u hajmda, siqish koeffitsiyenti α bilan baholanadigan siqiluvchanligi tufayli to'plangan yonilg'ining miqdori gilza darchasini samarali o'tish kesimi μf_0, haydash klapani tirqishini samarali o'tish kesimi $\mu_t f_t$, plunjer-gilza birikmasi tirqishi (z_p — tirqish orqali hajmiy sarf) orqali va haydash klapanini nasosli ta'siri natijasida (f_k — yuza, c_k — klapanning tezligi) sarflangan yonilg'i miqdorini vaqt birligida plunjer siqib chiqargan (f_p — yuza, s_p — plunjerni tezligi) yonilg'i miqdori (hajmi)dan ayrilganligiga tenglashtiriladi. σ_0 va σ_k larni bosqichli funksiyasi bu yerda yonilg'i oqimi yo'nalishini belgilaydi:

$p_u \geq p_{bc}$ bo'lganda $\sigma_0 = 1$ bo'ladi,

$p_u < p_{bc}$ bo'lganda; $\sigma_0 = -1$ bo'ladi.

$p_u \geq p'_u$ bo'lganda, $\sigma_k = 1$ bo'ladi,

$p_u < p'_u$ bo'lganda, $\sigma_k = -1$ bo'ladi.

Koeffitsiyent k_k klapan qanotlari bo'ylab oqib o'tishdagi drossellashni hisobga oladi (f'_k — klapan qanotlarining yuzasi; μ_t — klapan tirqishi orqali oqish koeffitsiyenti):

$$k_k = \mu_t f_t / \left(f_k - f'_k\right). \tag{5.10}$$

Keyingi ikki tenglama nasos shtutseri V'_u bo'shlig'idagi hajmiy balans tenglamasi hisoblanadi. Agar V_u hajmda yaxlitlikni uzilishi mavjud bo'lmasa, hisoblashda tizimning ikkinchi tenglamasi ishtirok etadi, agar yaxlitlik tiklanmagan bo'lsa — uchinchi tenglama. Ushbu ikki tenglamani hisoblashlarda ishtirok etish navbati bosqichli funksiya σ_1 va σ'_1 lar bilan aniqlanadi:

$V^1_{Pu} \geq 0$ va $P^1_u = 0$ bo'lganda $\sigma_1 = 0$ va $\sigma^1_1 = 1$ bo'ladi;

$P^1_u \geq 0$ va $V^1_{pu} = 0$ bo'lganda $\sigma_1 = 1$ va $\sigma^1_1 = 0$ bo'ladi.

Ikkinchi tenglamada nasos shtutserini hajmida vaqt birligida to'plangan yonilg'ining miqdori haydash klapani orqali sarflangan yonilg'iga va klapanni nasosli ta'siri tufayli vaqt birligida hajmni o'zgarishiga $\left(f_k c_k\right)$ tenglashtiriladi, bundan tashqari yonilg'i naychani $f_{yon}\left(f_{yon}c\right)$ yuzali chiqish kesimi orqali sarflangan yonilg'i ayirib tashlanadi.

Uchinchi tenglamaning chap qismida vaqt birligida erkin hajm V'_{pu} ni o'zgarishi yozilgan. Ushbu tenglamaning o'ng qismi ikkinchi tenglama o'ng qismiga o'xshash, lekin nasosning shtutseri bo'shlig'ida yonilg'i miqdorini ko'payishi erkin hajm V'_{pu} ni kamayishiga olib kelishini ko'rsatadigan teskari belgili.

(5.9) tizimning to'rtinchi va beshinchi tenglamalari haydash klapanini dinamik muvozanatlanganligini yoritadi. To'rtinchi tenglamaning chap qismida M massali klapanni inersiya kuchi, chap qismida esa klapanga ta'sir qiluvchi yonilg'i va prujina kuchlarining yig'indisi yozilgan. Yonilg'ining bosim kuchi klapan qanotlarida yonilg'i drossellanishini inobatga olgan holda (5.10) klapanning qanotlari orasidagi yuza $\left(f_k - f'_k\right)$ ga bosimlar farqi $\left(p_u - p'_u\right)$ ning ta'sirini hisobga oladi. Bunda p_{ko}— klapanni qo'zg'alish paytida uni ostidagi bosim ($p'_{uo} = 1$ bar bo'lganda), δ — prujina bikrligi, h_k — klapan yo'li. Beshinchi tenglama klapanning yo'li h_k va uning tezligi orasidagi bog'liqlikni yoritadi.

Nasosning chegara shartlari tenglamalar tizimi (5.9) yonilg'i o'tkazuvchini kirish kesimidagi jarayonlarni yorituvchi (5.5) va (5.6) tenglamalar bilan birgalikda sonli integrallash usuli orqali hisoblanadi.

Sonli integrallash usuli sifatida Eylerning usuli qo'llaniladi, unga mos

tenglamalar tizimi (5.9)ni j-o'zgaruvchisini $(i+1)$-qadamda hisoblash uchun quyidagi ifodadan foydalaniladi:

$$f_{j,i+1} = f_{j,i} + \Delta t\left(df / dt\right)_{j,i}. \qquad (5.11)$$

Forsunkadagi ish jarayonining hisobi. Nasosning chegaraviy shartlari tenglamalarini tuzishda qabul qilingan yo'l qo'yishlar forsunkani chegaraviy shartlari tenglamasini tuzishda ham o'z kuchini saqlab qoladi. Forsunkadagi jarayonlarni yorituvchi tenglamalar tizimi hajmiy balans va ignani hamda u bilan birga harakatlanuvchi detallarni dinamik muvozanatlanganlik tenglamalaridan tashkil topgan:

$$\left.\begin{aligned}
&\alpha_f V_f 6n \frac{dp_f}{d\varphi_k} = \left[f_{yon}c' - (\mu f)_f \sqrt{\frac{2}{\rho_{yo}}} \sqrt{p_f - p_s} - f_i c_i - z_f \right] \delta_2;\\
&6n \frac{dV_{pf}}{d\varphi_k} - \left[f_{yon}c' - f_i c_i \right] \sigma_2';\\
&M' 6n \frac{dc_i}{d\varphi_k} \left[(f_i - f_i')\left(p_f - p_{f0}\right) + f_i p_i' - \delta_y' \right];\\
&6n \frac{dy}{d\varphi_k} = c_i.
\end{aligned}\right\} \qquad (5.12)$$

(5.12) tizimning birinchi tenglamasi forsunka bo'shlig'idagi hajmiy balans tenglamasi hisoblanadi. Siqiluvchanligi tufayli V_f hajmda to'planadigan yonilg'i miqdori forsunkani samarali o'tish kesimi $(\mu f)_f$ (bunda: p_s — silindrdagi bosim), igna-to'zitkich korpusi birikmasining tirqishi (z_f — tirqish orqali hajmiy sarf) orqali sarflarni va ignani siljishi tufayli V_f hajm o'zgarishini (f_i — igna yuzasi, c_i — ignani tezligi) ayirish bilan yonilg'i naychani chiqish kesimi orqali sarflangan yonilg'isi $f_{yon}c'$ ga tenglashtiriladi. Bu tenglama yaxlitlikni uzilishi mavjud bo'lmaganda hisoblanadi. Agar yaxlitlik tiklanmagan bo'lsa, ikkinchi tenglama ishlatiladi. Ushbu ikki tenglamani ishlatish tartibi bosqichli funksiya σ^2 va σ_2' lar bilan aniqlanadi:

$V_{pf} \geq 0$ va $p_f = 0$ bo'lganda $\sigma_2 = 0$ va $\sigma_2' = 1$ bo'ladi;

$p_f \geq 0$ va $V_{pf} = 0$ bo'lganda $\sigma_2 = 1$ va $\sigma_2' = 0$ bo'ladi.

(5.12) tizimning ikkinchi tenglamasini chap qismi vaqt birligida erkin hajm V_{pf} ni o'zgarishini, o'ng qismi — yonilg'i nayini o'tish kesimi orqali va teskari ishora bilan olingan ignani nasosli ta'siridagi yonilg'i sarfi farqini tashkil etadi.

(5.12) tizimning uchinchi va to'rtinchi tenglamalari ignani va M' massaga ega bo'lgan u bilan birga harakatlanuvchi qismlarni dinamik muvozanatlanganligini yoritadi. Bunda: p_f' — soplo teshigi oldidagi bosim; p_{f0} — forsunka ignasini qo'zg'alish bosimi; f_i' — ignani o'tiradigan belbog'i

diametri bo'yicha hisoblanadigan yuza; δ' — igna prujinasini bikrligi. Uchinchi tenglamani chap qismida yozilgan ignani inersiya kuchi yonilg'i va prujina tomonidan ignaga ta'sir qiluvchi kuchlarni teng ta'sir etuvchisiga tenglastiriladi. To'rtinchi tenglama ignaning yo'li va tezligi orasidagi bog'liqlikni yoritadi.

To'zitkich teshiklari oldidagi bosim, to'zitish teshiklari yuzasi f_s ni va to'zitish teshiklari orqali oqib o'tish koeffitsiyenti μ_s ni hisobga olgan holda hisoblanadi:

$$p_f' = \frac{(\mu f)_f^2}{(\mu_s f_s)^2}(p_f - p_s) + p_s. \qquad (5.13)$$

Purkash tavsifi to'zitkich orqali sarflash tenglamasi bo'yicha hisoblanadi:

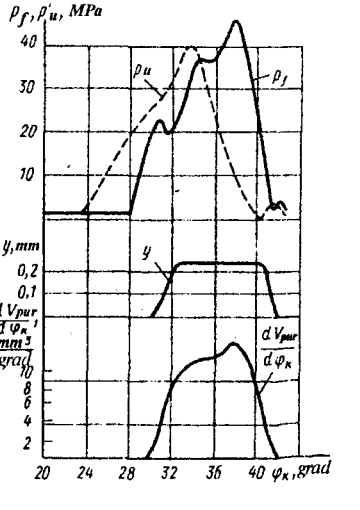
$$\frac{dV_{pur}}{d\varphi_K} = (\mu f)_f \sqrt{\frac{2}{\rho_{yo}}} \sqrt{p_f - p_s / (6n_K)}. \qquad (5.14)$$

(5.12) tenglamalar tizimi yonilg'i naychani chiqish kesimidagi jarayonlarni yoritadigan (5.7) va (5.8) tenglamalar bilan birgalikda yechiladi. (5.12) tizimni sonli integrallash Eyler usuli bilan olib boriladi.

Eyler usuli bo'yicha sonli integrallashning har bir qadamida nasosning chegaraviy shart tenglamalari tizimi (5.9) ni o'zgaruvchisi (5.5) va (5.6) tenglamalar bilan birgalikda hisoblanadi. So'ngra yonilg'i nayida bosim to'lqinlarini siljishi amalga oshiriladi, shundan keyin forsunkani chegaraviy shart tenglamalari tizimi (5.12) ni o'zgaruvchisi (5.7) va (5.8) tenglamalar bilan birgalikda aniqlanadi.

Sikl hisobining oxirida purkashni butunligicha xarakterlaydigan parametrlari hisoblanadi: sikllik uzatish, purkashning o'rtacha va eng yuqori bosimi va boshqalar.

5.28-rasmda yonilg'i purkash jarayoni kechishini xarakterlaydigan va bayon qilingan usul bo'yicha hisoblab olingan asosiy parametrlar keltirilgan.



5.28-rasm. **Yonilg'i tizimining gidrodinamik hisobi natijalari.**

5.3. BOSIM OSTIDA KIRITISH TIZIMI

Bosim ostida kiritish uchun yuritmali haydovchi (YUH) (1.9-rasmga qarang) va turbokompressor (TK) (1.10-rasmga qarang) keng miqyosda ishlatiladi. Bosim ostida kiritishni kombirlangan tizimida yuritmali haydovchidan bir bosqich, turbokompressordan esa boshqa bosqich sifatida foydalanish mumkin.

Bosim ostida kiritish turbinali (turbonadduv) bo'lgan holatda, turbina

gazni siljish yo'li tomon o'rnatilishi sababli haydash ishi ortadi, bunda TK ni yuritish uchun ishlatilgan gazlar energiyasidan foydalanilishi, uning tejamkorligini yuritmali haydovchiga nisbatan yaxshilashga imkon beradi. TK ning yuritmali haydovchiga nisbatan afzalligi bosim ostida kiritish tizimini ixchamligi, o'rtacha va yuqori aylanishlar chastotasida kiritish bosimini yuqoriligi hisoblanadi va bular bosim ostida kiritish usuli bilan dvigatelni kuchaytirishga, shuningdek, shovqin darajasini pasaytirishga imkon beradi. Yuritmali haydovchi tirsakli val bilan bikrli bog'liqlikka ega bo'lganligi uchun past aylanishlar chastotasida kiritishni yuqoriroq bosimini ta'minlab, transport vositalarini dinamikaviy sifatini yaxshilaydi va kam aylanishlar chastotasida va tezlashishda dizellarni chiqarib tashlaydigan qurumini kamaytiradi. Faqat yuritmali haydovchi dvigatelni barcha ish rejimlarida silindrga kiritishdagi bosimni chiqarishdagi bosimga qaraganda yuqoriligini ta'minlaydi, bu esa ikki taktli dvigatellarda puflab tozalashni amalga oshirish uchun zarur hisoblanadi.

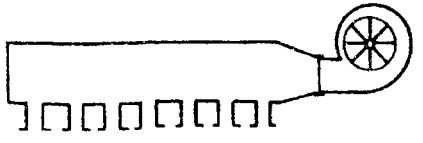
Sanab o'tilgan afzalliklari tufayli TK IYODda bosim ostida kiritish uchun keng miqyosda foydalaniladi, yuritmali haydovchilar esa, asosan, ikki taktli dizellarda o'rnatiladi.

Gazni silindrdan turbinaga keltirish usuli bo'yicha bosim ostida kiritish uch ko'rinishga ajratiladi:

1. Turbina oldida gazni o'zgarmas bosimiga yaqin bo'lgan *izobar tizim.* Ushbu tizimda barcha silindrlardan gazlar, bosim pulsatsiyasini ko'p darajada tekislaydigan katta hajmli umumiy chiqarish kollektoriga chiqadi (5.29-rasm). Silindrdan ushbu hajmga oqib chiqayotgan gazlarning kengayishi natijasida ega bo'lgan ishining bir qismi ichki energiyani ortishiga yordamlashishi tufayli yo'qoladi. Tizimning afzalligi gazni statsionar oqimida turbinani yuqori FIK bilan ishlashi hisoblanadi.

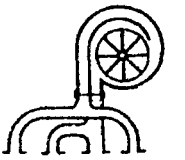
2. Gazning pulsatsiyalanadigan oqimida ishlaydigan turbinali *impulsli tizim.* Bu yerda gaz turbinaga bir necha silindrlar guruhini birlashtirgan o'tkazuvchi quvur qismidan keltiriladi (5.30-rasm). Bunday usulda, odatda, gazni parsial bilan keltiradigan turbinalardan foydalaniladi, ya'ni silindrlarni har bir guruhidan gaz g'ildirak aylanasining bir qismiga keltiriladi. Bir guruhga kiritish fazalari imkoni boricha yetarlicha ko'p oraliq bilan ishlaydigan silindrlar birlashtiriladi (odatda, ikki-uch silindr).

Kiritish kollektorini kesimi va uzunligi ishlatilgan gazlar energiyasidan turbinada to'laroq foydalanish uchun eng kam bo'lishiga harakat qilinadi. Bunda gaz taqsimlash fazalari va chiqarish kollektorining konstruksiyasi to'g'ri tanlaganda har bir silindrni chiqarish takti davomida chiqarish kollektorida qarshi bosim darajasini pastligini ta'minlaydigan bosim pulsatsiyasi sodir qilinadi, bu haydash ishini kamaytiradi. Puflab tozalashni yaxshilash uchun chiqarish kollektoridagi qarshi bosimni eng kam miqdori



5.29-rasm. **Bosim ostida kiritishning izobar tizimi.**

klapanlarning baravariga ochiq turish davriga to'g'ri kelishi maqsadga muvofiq hisoblanadi. Impulsli turbinani ishi bir xil sharoitda izobarga qaraganda ko'p bo'ladi, chunki silindrdan gazni turbinaga oqib o'tishida energiyani yo'qolishi kam, ega bo'lingan issiqlikni farqi esa ko'p (siklda gazni oniy ega bo'lgan ishlari yig'indisi) bo'ladi. Impulsli bosim ostida kiritishda, turbinaga kirishda bosimni pulsatsiyalanishi tufayli turbinaning FIK kamayadi. Faqat kirishning ma'lum burchagida energiyani yo'qolishi eng kam bo'ladi (zarbsiz kirish deb ataladiganda). Gazni parsial bilan keltirishda turbinaning sektorlari orasidan gazni oqib o'tishida ham FIK kamayadi, chunki ularda bosim turlicha va sikl davomida doimo o'zgarib turadi.



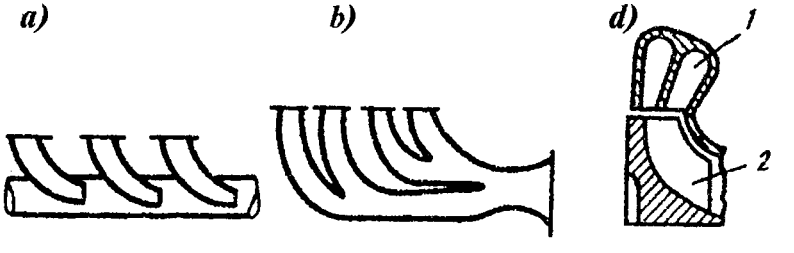
5.30-rasm. **Gaz parsial ravishda keltiriladigan turbinali bosim ostida kiritishni imlulsli tizimi.**

Katta aylanishlar chastotasida va chiqarish kollektorida bosim ko'p bo'lganida bosim pulsatsiyasi tekislanadigan izobar tizim samaraliroq (turbonadduv bilan yuqori darajada kuchaytirilganda), impulsli tizim esa kam aylanishlar chastotasida va chiqarish kollektorida nisbatan past bosim bo'lganda (odatda,0,16 MPa va kam) hisoblanadi.

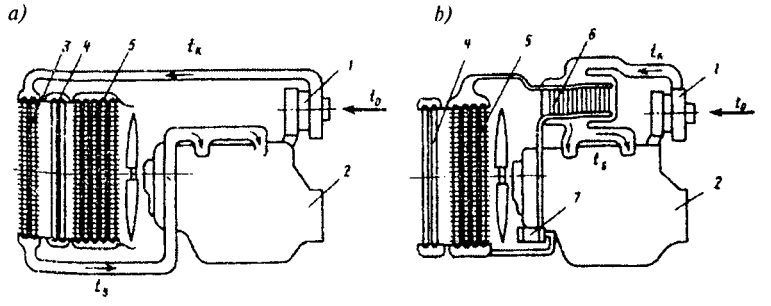
3. Impulslarni o'zgartiruvchili tizim oraliq hisoblanadi (5.31-rasm) va turbina oldidagi bosim pulsatsiyalarini kamayishidan yutish bilan chiqarish kollektoridagi pulsatsiyalaridan foyda (haydash ishini kamayishi va silindrni puflab tozalanishini yaxshilanishi) bo'lishini birgaligida uning FIK ortadi.

Kompressorda havoni siqishda bosimni ortish darajasi qancha ko'p va kompressorni FIK kam bo'lsa, havoning harorati shuncha yuqori bo'ladi, bu miqdor avtotraktor dvigatellari uchun, odatda, 70...130°C ni tashkil etadi. Kompressor bilan dvigatelning kiritish kollektori oralig'ida bosim ostida kiritiladigan havo oraliq sovitilsa, silindrlarni massali to'lishini oshishiga yordam beradi, bu tadbir quvvatni orttirish, yonilg'i tejamkorligini yaxshilash, detallarni issiqlikdan zo'riqishini kamaytirish va turbina oldidagi gaz haroratini pasaytirish uchun qo'llaniladi.

5.32-rasmda bosim ostida kiritiladigan havoning havo-havoli va suv-havoli sovitkichlarining tizimlari keltirilgan. Havo-havoli sovitkichlar, odatda, dvigatelning moy va suv radiatorlarini oldi tomoniga o'rnatiladi. Bosim ostida



5.31-rasm. **Impulslar o'zgartiruvchisi joylashtirilgan tizim:** ***a, b*** **— chiqarish kollektorida;** ***d*** **— turbina korpusida:** 1 — turbina korpusi, 2 — ishchi g'ildirak.



5.32-rasm. **Havoni sovitish tizimlari:**
a — havo-havoli; b — suv-havoli. 1 — turbokompressor; 2 — dvigatel; 3 — havo bilan sovitadigan sovitkich; 4 — dvigatelning moy radiatori; 5 — dvigatelning suv radiatori; 6 — suv bilan sovitiladigan sovitkich; 7 — suv nasosi.

kiritiladigan havoni sovishi qarama-qarshi yo'nalgan va ventilator orqali hosil qilingan havo oqimi sovitkichni puflab o'tishi hisobiga amalga oshiriladi.

Bosim ostida kiritiladigan havoni suv-havoli sovitilishida dvigatelning sovitish tizimidagi suyuqlikdan foydalaniladi. Bunday usulda qo'shimcha suv nasosi o'rnatilishi, shuningdek, sovitish tizimini asosiy suv nasosi ham ishlatilishi mumkin.

Issiq havodan sovitish suyuqligiga issiqlik almashinuvi sovitish havosiga qaraganda jadalroq ro'y beradi, shuning uchun suv-havoli sovitkichlar ixchamroq, bundan tashqari u bosim ostida kiritiladigan havo haroratini atrofidagi havo haroratiga kam bog'liqligini ta'minlaydi. Havo-havoli sovitkichlar sovitish darajasini yuqoriroq bo'lishini ta'minlaydi, chunki atmosfera havosining harorati sovitish tizimidagi suyuqlik haroratidan past bo'ladi.

Bosim ostida kiritiladigan havoning haroratini pasayish darajasi $\left(T_k^{'} - T_k\right)$ bosim ostida kiritish havosi sovitkichini samarali koeffitsiyenti bilan baholanadi:

$$E_{sov} = \frac{T_k^{'} - T_k}{T_k^{'} - T_{sov}}.$$

bunda: $T_k^{'}, T_k$ — mos holda havoni kompressor va sovitkichdan chiqishidagi haroratlari; T_{sov} — sovitish agentining harorati.

Bosim ostida kiritiladigan havoni havo-havoli sovitkichlari uchun ishlash rejimlarini keng oralig'ida samarali koeffitsiyenti $E_{sov} = 0,64...0,77$, suv-havoli sovitkichlari uchun $E_{sov} = 0,45...0,48$ bo'ladi.

Bosim ostida kiritiladigan havo sovitkichlarini takomillashganligi gidravlik qarshiliklar Δp_{sov} ni yengib o'tishidagi bosimni yo'qolish miqdori bilan ham baholanadi. Havo-havoli sovitkichlar uchun nominal rejimda $\Delta p_{sov} = 0,003...0,005 MPa$, suv-havoli sovitkichlarda esa $\Delta p_{sov} = 0,002...$ $...0,004 MPa$ bo'ladi.

Havo-havoli sovitkichlar turbonadduv (bosim ostida kiritadigan turbina)

bilan yuqori bo'lmagan darajada kuchaytirishda va qarama-qarshi yo'nalishda havo oqimi mavjud bo'lgan sharoitda ishlatiladi, odatda, bu avtomobillarga taalluqli, turbonadduv bilan yuqori darajada kuchaytirilgan traktorlarda va qurilish texnikalarida suv-havoli sovitkichlar ko'proq o'rnatiladi.

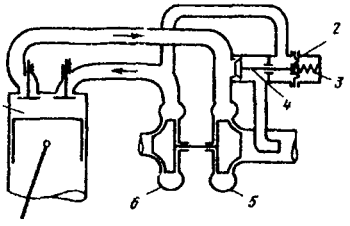
Bosim ostida kiritishni rostlash. Porshenli va kurakli mashinalar tavsiflarini turliligi sababli dvigatelning aylanishlar chastotasini oshishida turbokompressor (TK) rotorini aylanishlar chastotasi 1,3...1,5 darajada ortadi, bu esa kam aylanishlar chastotasida bosim ostida kiritishni yetarlicha bo'lmagan bosimini, yuqori aylanishlar chastotasida esa haddan tashqari yuqori bosimni olishga olib keladi. Buning natijasida kam aylanishlar chastotasida havoni yetishmasligi tufayli quvvat pasayadi, dizellarda esa bosim ostida kiritishning bosimi bo'yicha yonilg'i uzatishni antikorrektori mavjud bo'lmasa, tejamkorligi yomonlashadi va qurumni chiqarib tashlashi ko'payadi.

Yuqori aylanishlar chastotasida bosim ostida kiritish bosimini yuqori bo'lishida ishqalanishdagi va gaz almashinuvidagi yo'qotishlarni ko'payishi tufayli tejamkorligi yomonlashadi va yonishning eng yuqori bosimi ko'tariladi, bu dvigatelni ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin. Bundan tashqari transport dvigatellarining TK lari, odatda, oraliq aylanishlar chastotasiga rostlanadi, chekka aylanishlar chastotasida uning FIK pasayadi, bu ushbu rejimlarda tejamkorligini qo'shimcha ravishda yomonlashtiradi.

Ish rejimlarining keng oralig'ida bosim ostida kiritish bosimining qulayroq o'zgarishini va dvigatelning yuqori tejamkorligini ta'minlash uchun turli usullar bilan kam aylanishlar chastotasida bosimni ortishiga va (yoki) yuqori aylanishlar chastotasida bosimni kamayishiga erishadigan turbonadduvni rostlanishi qo'llaniladi. Kam yuklamalarda bosim ostida kiritish bosimini pasaytirish ham maqsadga muvofiq hisoblanadi. Dvigatelning nominal aylanishlar chastotasi va uning turbonadduv orqali kuchaytirish darajasi ortishida turbonadduvni rostlanishiga bo'lgan zarurat ortadi.

Rostlash ichki va tashqi bo'lishi mumkin. Tashqi rostlash TK dan tashqarida amalga oshiriladi. Bu kompressor va turbinaga kirish hamda ulardan chiqishida gazni yoki havoni drossellash (bosim ostida kiritish bosimini cheklashga imkon beradi, lekin bunda tejamkorlik sezilarli darajada yomonlashadi). TK ni dvigatelning nominal ish rejimiga sozlash mumkin, past aylanishlar chastotasida va kam yuklamalarda esa maxsus turbinaga beriladigan moy oqimi bilan yoki turbinadan oldin qo'shimcha yonish kamerasiga yonilg'i va havo uzatish yo'li bilan rotor sun'iy ravishda aylantiriladi («Giperbar» tizim).

Bunday rostlash usuli dvigatelning ish rejimlarida qo'llanilsa, uni tejamkorligi yomonlashadi. Kompressordan keyin havoning bir qismini va turbinani chetlab gazning bir qismini o'tkazib yuborishlar ham qo'llaniladi. Rostlashning oxirgi usuli kengroq qo'llaniladi (5.33-rasm). Gazni o'tkazib yuborish konstruktiv jihatidan sodda, ishonchli, rostlash talab qilinmaydigan rejimlarda dvigatelning tejamkorligini yomonlashishiga olib kelmaydi (o'tkazib yuborish klapani yopiq bo'lganda.

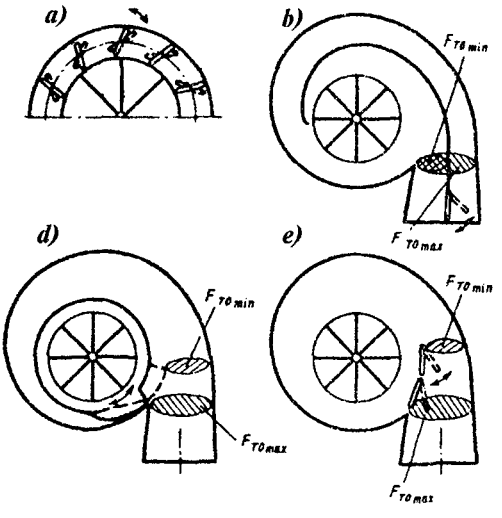


5.33-rasm. **Gazni o'tkazib yuborish sxemasi:** 1 — silindr; 2 — membrana; 3 — prujina; 4 — o'tkazib yuboruvchi klapan; 5 — turbina; 6 — kompressor.

O'tkazib yuborish klapanining ochiq turish vaqtida tejamkorlikning eng yaxshi ko'rsatkichiga to'liq erishib bo'lmaydi, chunki bunda turbinani chetlab o'tilishida ishlatilgan gazlar energiyasining bir qismi yo'qoladi.

Kompressor va turbinaning oqib o'tadigan qismlaridagi harakatlanuvchi elementlaridan foydalanishga asoslangan ichki rostlash usuli qo'llanilganda gaz energiyasini yo'qolishidan qutilish mumkin.

Kompressorni diffuzorida va turbinani yo'naltiruvchi apparatida buriladigan kuraklar o'rnatish samaraliroq hisoblanadi (5.34-a rasm), biroq bunday usul g'ildiraklarining diametri 110 mm dan ortiq bo'lgan TK larda muvaffaqiyat bilan qo'llanilishi mumkin, u avtomobil va traktor dvigatellarining ko'pchiligida bosim ostida kiritish uchun foydalanilmayapti. Katta bo'lmagan TK lar uchun turbinaning gaz keltiradigan chig'anog'ini eng kichik kesimi F_{TO} ni o'zgartirishni turli usullari taklif qilingan. F_{TO} kamayishi bilan turbina g'ildiragi kuraklariga gazni kirish tezligi ortadi, bu aylanishlar chastotasini ortishiga va mos holda bosim ostida kiritish bosimini o'sishiga olib keladi. Biroq bunda haydab chiqarish ishini ko'payishiga olib keladigan chiqarish kollektoridagi gazning qarshi bosimini ortishi ro'y beradi. Past aylanishlar chastotasida haydab chiqarish ishi kam bo'lganligi uchun F_{TO} ni kamaytirish foydali, katta aylanishlar chastotasida va kam yuklamalarda ko'paytirish kerak.



5.34-rasm. **Turbinaning ichki rostlash usuli:** *a* — kompressor diffuzorida va turbinani yo'naltiruvchi apparatidagi burilma kuraklar; *b* — bir yoki ikki kanal bo'ylab g'ildirakka gaz keltirish; *d* — tilli burilma disk; *e* — kiritish patrubkasidan chiqishdagi burilma to'smaqopqoq.

5.34-b rasmda gaz keltiradigan chig'anog'ini eng kam kesimi bosqichli rostlanadigan turbina ko'rsatilgan. To'smaqopqoq ochiq turganida

g'ildirakka gaz ikki kanal bo'ylab keltiriladi $(F_{TO\ max})$, berk turganda esa faqat bir kanal bo'ylab (F_{min}). 5.34-d, e rasmda bosqichsiz rostlash ko'rsatilgan. 5.34-d rasmda F_{TO} ni kamayishiga tilli diskni burish yo'li bilan 5.34-e rasmda kiritish patrubkasidan chiqishdagi ikki to'smaqopqoqni berkitish bilan erishiladi.

Ichki rostlashni keng miqyosda qo'llanilishiga konstruksiyasini murakkabligi va yuqori harorat sharoitida harakatlanuvchi qismlarining ishlashini ishonchliligi yetarlicha emasligi va turbinada uchraydigan qurum cho'kindilarini bo'lishi to'sqinlik qiladi. Bundan tashqari, kompressorni va turbinani oqib o'tadigan qismlarida qo'shimcha burilish elementlarini mavjudligi barcha ish rejimlarida ularning FIKni kamayishiga olib keladi.

5.4. AYLANISHLAR CHASTOTASINING BARQARORLIGI VA UNI AVTOMAT RAVISHDA ROSTLASH

5.4.1. DVIGATEL ISH REJIMINING BARQARORLIGI

Barqarorlashgan rejimlar va dvigatel ish rejimini barqarorligi. Dvigatel ish rejimi barqarorlashgan va nobarqaror bo'lishi mumkin. *Barqaror rejim* deb, vaqt o'tishi bilan dvigatel ishini baholovchi parametrlari (M_b, n va boshqa) ni o'zgarmasligiga aytiladi. Barqaror ish rejimida dvigatelning burovchi momenti M_b energiya iste'molchisini qarshilik momenti M_q ga teng:

$$M_b = M_q, \tag{5.15}$$

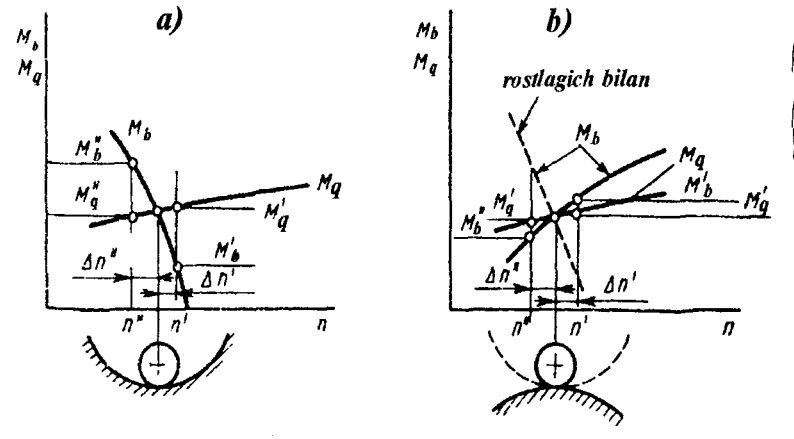
Tashqi yuklama mavjud bo'lmaganda

$$M_i - M_{m.i} = 0;\ p_i - p_{m.i} = 0. \tag{5.16}$$

Dvigatel ishini xarakterlovchi (5.15) va (5.16) tenglamalar va ularga o'xshash boshqa parametrlar *statik muvozanatlangan tenglama*lar deb ataladi.

Nobarqaror rejimda tashqi yuklamani yoki salt yurish holatida mexanik isroflarni yengib o'tishi uchun zarur bo'lgan energiyadan ko'p yoki kam energiyani dvigatel ishlab chiqaradi.

Ish rejimini barqarorligi deb, dvigatel-iste'molchi tizimini, aylanishlar chastotasi o'zgarganda ularning burovchi momentlari tengligini tiklash qobiliyatiga aytiladi. Barqaror va nobarqaror rejimlar misollarini ko'rib chiqamiz (5.35-a, b rasm). Dvigatel barqarorlashgan rejimda ishlab turgan vaqtda, qandaydir sabablarga ko'ra aylanishlar chastotasi $\Delta n'$ miqdorga o'sishi sodir bo'ldi deb faraz qilaylik. Dvigatelni barqaror rejimda ishlashida (5.35-a rasm) $M'_q > M'_b$ bo'ladi va dvigatel dastlabki holatiga qaytib aylanishlar chastotasini pasaytiradi. Dvigatelni nobarqaror rejimda ishlashida (rostlagichsiz) (5.35-b rasm) yuqoridagiga o'xshash aylanishlar chastotasi $\Delta n'$ miqdorga ortsa,



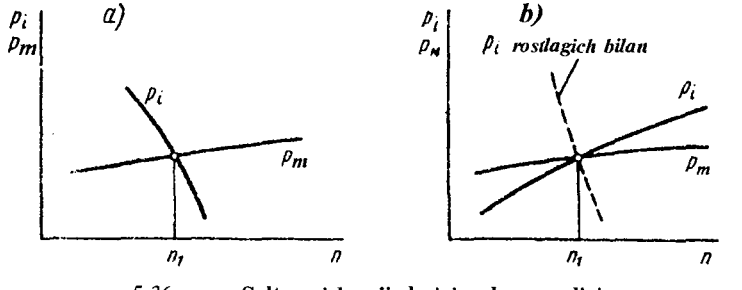
5.35-rasm. **Yuklama ostida dvigatel ish rejimlarining barqarorligi:**
a — barqaror; *b* — beqaror (rostlagichsiz).

$M_b' > M_q'$ bo'lishiga olib keladi va dvigatel aylanishlar chastotasini orttiradi (dvigatel «o'ta tezlanishga o'tadi»). Aylanishlar chastotasi $\Delta n''$ miqdorga pasaygan holatida, $M_b = f(n)$ tavsifni tikkaligiga bog'liq holda dvigatel aylanishlar chastotasini kamaytirishda davom etib, ishdan to'xtaydi (5.35-b rasm) yoki boshlang'ich holatiga qaytadi (5.35-a rasm).

5.36-rasmda salt yurish rejimida dvigatelning barqaror (a) va nobarqaror (b) ishlashini yuqoridagiga o'xshash misoli keltirilgan. Dvigatelning ishlash rejimlari barqarorligini miqdoriy baholash mumkin. U dvigatelning tirsakli vali aylanishlarini burchak chastotasi $\Delta\omega$ ni ma'lum miqdorda chetlashishi keltirib chiqargan qarshilik momenti va burovchi momentlarini farqiga bog'liq (5.37-rasm) va miqdoriy jihatdan barqarorlik omili bilan baholanadi:

$$F_d = \left(\Delta M_q - \Delta M_b\right) / \Delta\omega.$$

M ni ω ga bog'liqligini chiziqlashtirish to'g'risidagi yo'l qo'yishni hisobga



5.36-rasm. **Salt yurish rejimlarining barqarorligi:**
a — barqaror; *b* — beqaror (rostlagichsiz).

olib, quyidagini yozish mumkin:

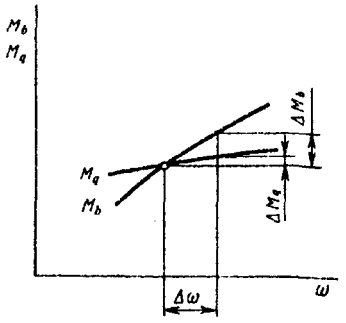
$$\Delta M_q = \frac{dM_q}{d\omega}\Delta\omega;\ \Delta M_b = \frac{dM_b}{d\omega}\Delta\omega.$$

Ushbu ifodalarni F_d formulaga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$F_d = \frac{dM_q}{d\omega} - \frac{dM_b}{d\omega}. \qquad (5.17)$$

Rejim barqarorligi F_d ning miqdori va belgisi bilan aniqlanadi.

Ko'rib chiqilgan misolda (5.37-rasmga qarang) $F_d < 0$ va rejim nobarqaror.



5.37-rasm. **Dvigatelning barqarorlik omilini aniqlash.**

Dvigatellarga aylanishlar chastotasini avtomat ravishda rostlaydigan rostlagichlarni o'rnatish zarurligi. Rejimni barqarorligi 5.35- va 5.36-rasmlardagi ko'rinishga qaraganda burovchi momentni aylanishlar chastotasiga bog'liq bo'lgan egri chizig'ini shakli bilan aniqlanadi. M_b ni aylanishlar chastotasiga bog'liqlik xarakteri $(\eta_i / \alpha)\eta_v\rho_k\eta_m$ majmua bilan aniqlanishi ma'lum. Uchqundan o't oldiriladigan karbyuratorli dvigatellarda drosselni o'zgarmas holatida M_b ga ko'proq ta'sir qiladigan omil bo'lib η_v hisoblanadi.

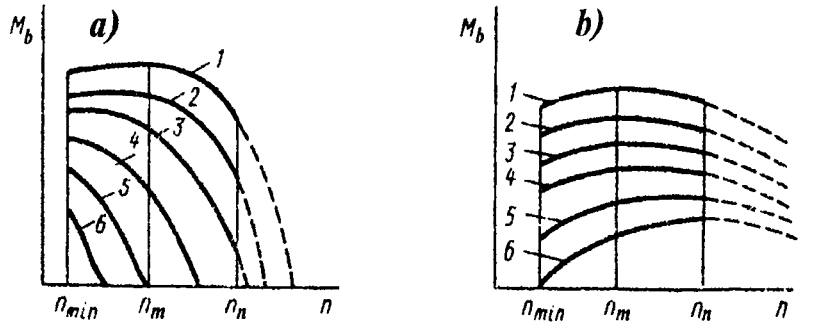
Ayniqsa, 5.38-a rasmda ko'rsatilganidek, drossel to'smaqopqoq ko'proq yopilishida n ni o'sishi bilan dvigatelni to'lishi va M_b keskin kamayadi.

Dizellarda n ni o'sishi bilan M_b ning ortishini aniqlaydigan asosiy omil bo'lib, sikllik uzatish V_s ni ko'payishi tufayli α ni kamayishi hisoblanadi. n ni ortishi bilan dizelning M_b ini kamayishi ayniqsa plunjerni kam faol yo'lida sezilarli darajada bo'ladi (5.38-b rasm).

Shunday qilib, M_b ni aylanishlar chastotasiga bog'liqligini taqqoslash uchqundan o't oldiriladigan dvigatelning tezlik tavsifi dizelga qaraganda barqarorligini ko'p bo'lishini ta'minlaydi. Aralashmani yoki yonilg'ini kam uzatilishidagi rejimlarda farqi ayniqsa ko'p.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelda tashqi yuklamani to'satdan olinishida n ni nisbatan kam ortishi kuzatiladi (5.38-a rasm). Aylanishlar chastotasi n_n dan yuqori bo'lganda uchqundan o't oldiriladigan dvigatelda aralashma hosil bo'lish va issiqlik ajralib chiqish jarayonlari dizelga qaraganda kam yomonlashadi. Ushbu holatga bog'liq holda uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar yoki rostlagichsiz yoki aylanishlar chastotasini cheklagichi (chegarali rostlagich) bilan ishlatiladi.

Rostlash qismini barcha holatlarida dizellarni tashqi yuklamasi to'satdan olinsa, aylanishlar chastotasini nisbatan ko'p ortishiga olib keladi. Ayla-



5.38-rasm. **Tezlik tavsiflari:** *a* — drossel to'smaqopqoqni turlicha ochilish miqdorida uchqundan o't oldiriladigan dvigatel: $Dr_1 > Dr_2 > Dr_3 > Dr_4 > Dr_5 > Dr_6$;
b — plunjer faol yo'lining turli miqdorida dizel (h_{faol}): $h_{faol1} > h_{faol2} > h_{faol3} > h_{faol4} > h_{faol5} > h_{faol6}$.

nishlar chastotasi n_n dan ortsa, faqat mexanikaviy va issiqlik yuklanishlari ko'payib qolmasdan aralashma hosil qilish va yonish jarayonlari yomonlashadi, shuningdek tutab chiqishi ham ortadi. Salt yurish va kam yuklamali rejimlar barqarorligi past darajada $(F_d \geq 0)$ yoki umuman nobarqaror bo'lishi mumkin $(F_d < 0)$ (5.35-b- va 5.36-b-rasmlarga qarang). Shuning uchun transport dizellarida kamida ikki tezlik rejimda ishlaydigan regulatorlarni o'rnatish kerak: eng yuqori va eng past aylanishlar chastotasini.

Dvigatelning barqarorligi tashqi tezlik tavsifi bo'yicha ishlashida ham zarur. Eng yuqori burovchi moment M_{bmax} qiymati nominal quvvat rejimidagi moment M_{bn} dan berilgan qiymatgacha oshishi muhim hisoblanadi. M_b ning tashqi tezlik tavsif bo'yicha o'zgarishini miqdoriy baholash uchun burovchi moment zaxirasini nominal koeffitsiyenti $\mu_n = (M_{b\,max} - M_{nb}) \cdot (100 / M_{nb})$, moslanuvchanlik koeffitsiyenti $k_m = M_{b\,max} / M_{nb}$ va tezlik koeffitsiyenti $k_p = n_m / n_n$ dan foydalaniladi (5.38-rasm).

M_b zaxirasini yetarlicha mavjudligi dvigatel va iste'molchi orasida uzatish nisbatini kam o'zgartirishga imkon berib, dvigatel boshqarilishini osonlashtiradi. Ushbu nuqtayi nazarga asosan μ_n, k_m larni orttirish va ma'lum oraliqqacha k_p ni kamaytirish maqsadga muvofiq.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda burovchi moment zaxirasini nominal koeffitsiyenti 25...35% ga erishadi va tashqi tezlik tavsifini qo'shimcha tuzatish shart emas. Avtotraktor dizellarida tashqi tezlik tavsifi bo'yicha μ_n ni ta'minlash maqsadida, tashqi tezlik tavsifini uning vazifasi va ishlatish sharoitiga bog'liq holda 10...15 dan 30...35% gacha tuzatish talab qilinadi. Burovchi moment zaxirasini tuzatish plunjer faol yo'lini o'zgartirib, demak, to'g'ri tuzatkich yordami bilan yonilg'i uzatishni ham o'zgartirib ta'minlanadi. (5.26-rasmda *AB* oraliq). To'g'ri tuzatkich (korrektor), odatda, rostlagichda o'rnatiladi (5.40- va 5.41-rasmlarga qarang). μ_n ning yuqori qiymatini yonil-

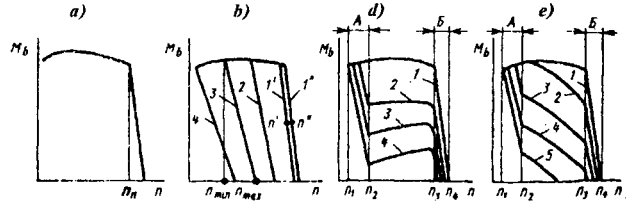
g'i uzatishni tuzatish bilan birgalikda bosim ostida kiritishni rostlash yo'li bilan olish mumkin.

5.4.2. AYLANISHLAR CHASTOTASINI AVTOMATIK ROSTLAGICHLARI

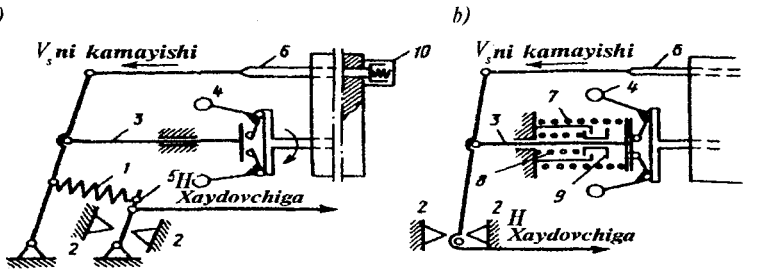
Aylanishlar chastotasi rostlagichlarining tasnifi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda, odatda, rostlagich bo'lmaydi yoki ularda aylanishlar chastotasini *cheklovchi* rostlagichlari o'rnatiladi. Bunday rostlagichlar aylanishlar chastotasi nominal miqdoridan oshgandan so'ng, ya'ni $n > n_n$ bo'lganda ishga tushadi (5.39-*a* rasm). Avtotraktor dizellari barcha rejimli va ikki rejimli rostlagichlar bilan jihozlanadi. 5.39-*b, d, e* rasmda boshqarish richagi turli holatda bo'lganda ularning tezlik tavsiflari keltirilgan. 1-vaziyat pedalni to'liq bosishga, 2...5 holatlar esa qismiy bosishga mos keladi. Traktorlar, yo'l mashinalari va yuk avtomobillarini ko'pchilik dizellarida foydalanishni hamma aylanishlar chastotasi rejimlarida rostlovchi a'zosiga ta'sir qiluvchi *barcha rejimli* rostlagichlar o'rnatiladi (5.39-*b* rasm).

Eng yuqori va eng past aylanishlar chastotasi bo'yicha cheklashni ta'minlovchi rostlagichlar *ikki rejimli* deb ataladi (5.39-*d* rasm). Ikki rejimli rostlagichlar n_2 va n_3 rejimlarni asosiy oralig'ida yonilg'i nasosi reykasiga ta'sir qilmaydi (5.39-*d* rasm). Ushbu rejimlar oralig'idagi tezlik tavsifini barcha rejimli rostlagichlardan foydalanib, tezlik tavsifini yassiroq kechishi bilan yaxshilash mumkin (5.39-*e* rasm). Elektr generatorlarini yuritish uchun foydalaniladigan dvigatellar, odatda, ko'rsatilgan aylanishlar chastotasini yetarlicha tor oraliqda ushlab turishga imkon beradigan bir rejimli yuqori sifatli (pretsizion) rostlagich bilan butlanadi.

Rostlanadigan parametr (aylanishlar chastotasi)ning og'ishini o'lchaydigan rostlagichning qismi *sezgir element* deb ataladi. Sezgir element dvigatelning rostlovchi qismi bilan bevosita (yonilg'i nasosini reykasi yoki karbyuratorni drossel to'smaqopqog'i) bog'langan holatida, rostlagich *bevosita ta'sir etuvchi rostlagich* deb ataladi. Agar sezgir element va dvigatelni rostlovchi a'zosi orasida kuchlantiruvchi element ishlatilsa, rostlagich *bevosita ta'sir qilmaydigan rostlagich* deb ataladi. Avtotraktor dvigatellarida bevosita ta'sir qiladigan rostlagichlar ishlatiladi.



5.39-rasm. **Turli rostlagichlar bilan jihozlangan dvigatellarning tezlik tavsiflari:** *a* — chegaraviy eng yuqori aylanishlar chastotasini cheklovchi rostlagich; *b* — barcha rejimli rostlagich; *d* — ikki rejimli rostlagich; *e* — tezlik tavsifi yassiroq kechadigan barcha rejimli rostlagich.



5.40-rasm. **Rostlagichlarning sxemasi: *a* — barcha rejimli; *b* — ikki rejimli.**

Hozirgi paytda markazdan qochma turidagi mexanikaviy sezgir element ko'p tarqalgan. Ushbu holatda aylanishlar chastotasini rostlagichlari mexanik deb ataladi. Pnevmatik, gidravlik va elektrik sezgir elementlar ham ishlatilishi mumkin, unda rostlagichlar mos holda *pnevmatik*, *gidravlik* va *elektrik* (*elektron*) rostlagichlar deb ataladi. Elektrik sezgir elementlarni qo'llashda, aylanishlar chastotasini rostlagichi dvigatelning elektronli boshqarish tizimining majmuasiga kiritilishi mumkin.

Aylanishlar chastotasi rostlagichlarining sxemasi. 5.40-*a* rasmda aylanishlar chastotasini barcha rejimli rostlagichini soddalashgan sxemasi keltirilgan. Barqaror rejimda yuklar *4* ni markazdan qochma kuchi boshqarish richagi *5* bilan o'rnatiladigan prujina *1* ni taranglik kuchi bilan muvozanatlashadi. Aylanishlar chastotasini ortishi bilan yuklar *4* mufta *3* ni chapga siljitadi va yonilg'i nasosi reykasi *6* ni sikllik uzatishi V_s ni kamaytiradigan tomoniga siljitadi. Sikllik uzatish miqdorini kamayishi aylanishlar chastotasini pasayishiga va uni berilgan oraliqda ushlab turishga olib keladi. Aylanishlar chastotasining pasayishi reyka *6* ni prujina 1 ni ta'siri ostida sikllik uzatishni ko'paytiradigan tomoniga siljishiga va aylanishlar chastotasini ortishiga va uni berilgan oraliqda ushlab turishga olib keladi.

Haydovchi boshqarish richagi 5 holatini o'rnatib, yuklamani o'zgarishida dvigatel valini aylanishlar chastotasini o'zgarishi mumkin bo'lgan oralig'ini beradi. Masalan, richag 5 ni oraliq holatida bo'lishida regulator tarmog'i *3* da aylanishlar chastotasini n_{min} dan n_{max} gacha ushlab turishni ta'minlaydi (5.39-b rasmga qarang). Haydovchi boshqarish richagi 5 ni o'ngga siljitib, (masalan tirak 2 gacha) prujinani tarangligini orttiradi. Ushbu holatda yuklarning markazdan qochma kuchi prujina qarshiligini yuqoriroq aylanishlar chastotasida yengishi mumkin va dvigatel regulator tarmog'i *1* ga mos kelgan aylanishlar chastotasi bilan ishlaydi (5.39-b rasmga qarang).

Ikki rejimli rostlagichlar, dastlabki ezilishi (deformatsiyalanishi) va bikrligi turlicha bo'lgan ikki prujinadan foydalanish yo'li bilan ikki tezlik rejimlarini rostlashga imkon beradi (5.40-b rasmda *7* va *8* prujinalar). Dastlabki ezilishi va bikrligi kam bo'lgan prujina *7* aylanishlar chastotasida yuklar *4* ni markazdan qochma kuchlari ta'sirida siqila boshlaydi (5.39-d rasmga qarang), mufta *3*

chapga siljiydi va yonilg'i nasosi reykasi 6 ni yonilg'ining sikllik uzatilishini kamaytiradigan tomoniga suradi (5.40-*b* rasm).

Bu M_b ni keskin kamayishiga olib keladi. n_2 aylanishlar chastotasida rostlagich muftasi vtulka *9* ga tegadi va to'xtaydi, chunki vtulka dastlabki siqilishi ko'p bo'lgan kuchli prujina *8* ning ta'sirida bo'ladi (5.39-*d* rasmga qarang). Aylanishlar chastotasini keyinchalik n_2 dan n_3 oralig'igacha o'zgarishida rostlagich yonilg'i nasosi reykasiga ta'sir qilmaydi va yonilg'i uzatilishini haydovchi boshqaradi.

n_3 aylanishlar chastotasida yuklarni markazdan qochma kuchi *7* va *8* prujinalarning umumiy kuchiga teng bo'lib qoladi. Shuning uchun aylanishlar chastotasini keyinchalik ortishida mufta va reykani sikllik yonilg'i uzatishni kamaytiradigan tomoniga siljitadi. Ko'rib chiqilgan rostlagich ikki *A* va *B* doiralarning rostlanishini ta'minlaydi. $n_2 < n < n_3$ oraliqdagi aylanishlar chastotasini rostlash haydovchi tomonidan yonilg'i nasosini reykasiga ta'sir qilish bilan amalga oshiriladi.

Dizelli avtomobilni shahar sharoitida harakatlanishida, ikki rejimli rostlagichlar ishlatilgan gazlarni tutab chiqishini va yonilg'i sarfini barcha rejimli rostlagichlarga nisbatan 5...7% ga kamaytiradi. Bunday hodisa asosan, tezlashish paytida barcha rejimli rostlagichni yonilg'i nasosi reykasini to'liq uzatish rejimiga mos keladigan holatga o'tkazishi, keyinchalik esa sikllik uzatish yuklamaga muvofiq barqarorlashishi tufayli sodir bo'ladi. Ikki rejimli rostlagichdan foydalanilganda reykani haydovchi siljitadi va boshqarish pedalini keskin bosishdan holi bo'lish imkoni mavjud bo'ladi.

O'z navbatida barcha rejimli rostlagichlar universal hisoblanadi. Ularni dvigatel tirsakli valini berilgan aylanishlar chastotasini avtomatik ravishda saqlab turish qobiliyati avtomobilni va avtomobilni qo'shimcha agregatlari ishini boshqarishda qulaylik tug'diradi (o'zi ag'dargichni ko'targichi, avtoyuklovchi va boshqalar). Barcha rejimli rostlagichlar ayniqsa traktor va yo'l mashinalari dizellarida samarali hisoblanadi.

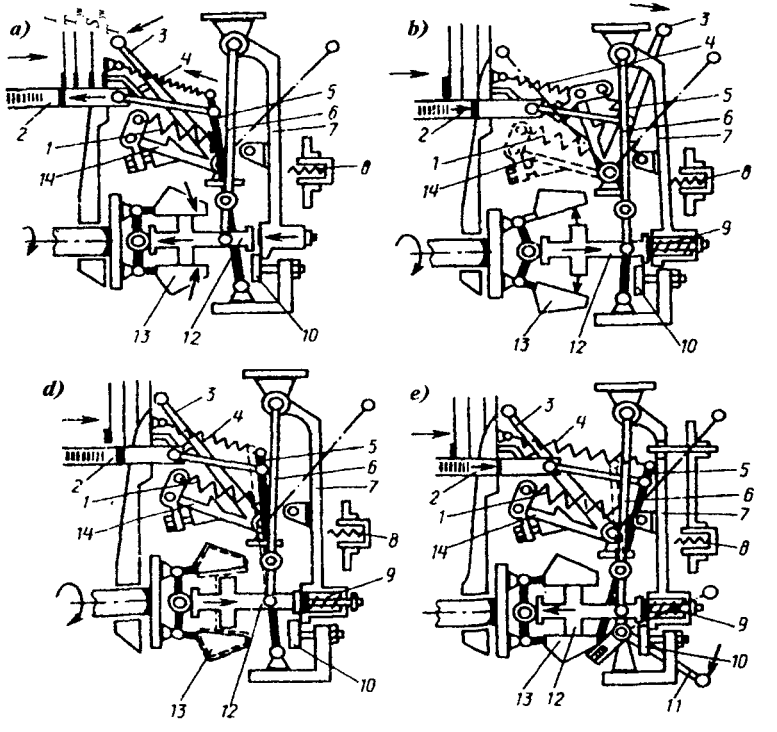
Tezlik tavsifi $n_2 < n < n_3$ oraliqda yassiroq kechadigan barcha rejimli rostlagichlar, asosan, ikki rejimli rostlagichlarni yonilg'i tejamkorligi va tutab chiqishi bo'yicha afzalliklarini saqlab qoladi (5.39-*e* rasmga qarang). Shu bilan birga ikki rejimli rostlagichning asosiy kamchiligi bo'lgan, $n_2 < n < n_3$ rejimlar oralig'ida dizelni kam barqarorlik bilan ishlashiga barham beriladi.

Burovchi momentni talab qilingan zaxira koeffitsiyentini ta'minlash uchun rostlagich bevosita tuzatkich bilan to'ldiriladi. Bevosita tuzatkichni ishlatiladigan konstruktiv ijrosidan biri yonilg'i nasosi reykasini siljiydigan tiragi hisoblanadi (5.40-*a* rasm). Dizelning tashqi tezlik tavsifi bo'yicha ishlashida aylanishlar chastotasini n_n dan n_m gacha pasayishida reyka 6 ni va tuzatkich korpusi *10* da joylashgan reyka tiragini o'ngga sikllik uzatishni ko'payadigan tomoniga siljishiga olib keladi. Reykani siljishi aylanishlar chastotasini pasayishida yuklarni markazdan qochma kuchlarini yengadigan va tuzatkich *10* ni prujinasiga qarshi ta'sir qiladigan rostlagichning asosiy prujinasi *1* ni ta'siri natijasida ro'y beradi.

5.41-rasmda rostlagich prujinasi *1* qiya joylashgan barcha rejimli rostlagich

ishlashini sxemasi ko'rsatilgan. Boshqaruv richagi *3* ning holati tirakda bo'lganda (5.41-*a, d, e* rasm) prujina *1* ni o'q chizig'i richag *7* ga deyarli perpendikular va prujina yuklar *13* ni markazdan qochma kuchiga qarshi ta'sir qiluvchi ko'proq kuchni ta'minlaydi. Salt yurishni ta'minlaydigan boshqarish richagi *3* ning holati prujina *1* ni richag *7* ga nisbatan deyarli parallel joylashishiga mos keladi (5.41-*b* rasm). Ushbu holatda prujina richag *7* ni siljishiga qarshi turuvchi kuchga deyarli ega bo'lmaydi. Shunday qilib rostlagich prujinasi qiyaligini o'zgaruvchanligi notekislik darajasini aylanishlar chastotasiga bog'liqligini kamaytirish maqsadida prujinaning o'zgaruvchan keltirilgan bikrligini barpo qilish uchun ishlatiladi.

Rostlagichda ishga tushiruvchi yonilg'i uzatishni ta'minlovchi prujina *4* va bevosita tuzatkich *9* o'rnatilgan. Ishga tushirishda (5.41-a rasm) boshqarish richagi chap holatda turadi, oraliq richag *7* esa rostlagichni bosh prujinasi *1* bilan yonilg'ini eng ko'p uzatish tiragi *10* ga qisib qo'yilgan. Past aylanishlar chastotasi tufayli ishga tushiruvchi kuchsiz prujina *4* rostlovchi richag *5* va mufta *12* ni chapdagi chekka nuqtaga suradi. Ishga tushirishda quyuqlashishni ta'minlaydigan yonilg'i nasosini reykasi *2* ham sikllik uzatishni ko'payishiga



5.41-rasm. **Barcha rejimli rostlagich ishlash sxemasi:** *a* — ishga tushirish rejimi; *b* — salt yurish rejimi; *d* — nominal rejim, tuzatishning boshlanishi; *e* — maxsus richag orqali to'xtatish rejimi; I — ishga tushirish; TYU — to'liq yuklama; SYU — salt yurish; T — to'xtash.

mos keladigan chapdagi chekka holatda turadi.

5.41-b rasmda boshqarish richagi salt yurishni eng past aylanishlar rejimlarini ta'minlaydigan holatda turibdi. Yelka *14* va prujinani taranglaydigan tuzilmasi bilan boshqaruv richagi *3* ni holati rostlagichning bosh prujinasi *1* ni cho'zilmagan holatiga mos keladi. Yuklarni markazdan qochma kuchlarini salt yurish tizimini kuchsiz prujinasi *8* muvozanatlaydi. Yuklarni markazdan qochma kuchlari va salt yurish prujinasi kuchining tengligi, salt yurishni eng kam aylanishlar chastotasida yonilg'i uzatishni ta'minlovchi mufta *12*, richag *5*, *6*, *7* lar va reyka *2* ni yetarlicha ko'proq o'ngga og'ishida erishiladi.

5.41-d rasmdagi sxema yonilg'i uzatish tuzatkichi ta'sir qilayotganida tashqi tezlik tavsifi rejimlaridagi ishga mos keladi. Boshqarish richagi *3* chapdagi chekka holatida, oraliq richag 7 esa eng ko'p yonilg'i uzatish tiragi *10* ga tegib turgan holatida bo'ladi. Nominaldan past aylanishlar chastotasi, tuzatkich prujinasi *9* yuklar *13* ni markazdan qochma kuchini yengib, mufta *12*, richag *5*, *6* lar va reyka *2* ni chapga yonilg'ini sikllik uzatilishini birmuncha ko'paytiradigan tomonga siljishiga olib keladi. Yonilg'i uzatilishini bunday ko'payishi burovchi momentni berilgan zaxirasini ta'minlaydi.

5.41-e rasmda richag *11* yordamida yonilg'i uzatilishi to'xtatilganidan keyingi rostlagichning sxemasi ko'rsatilgan, richag *11* ni burish richag *5* ni pastki sharniri (oshiq-mashuqi)ni siljishini keltirib chiqaradi. Richagni yuqoridagi yelkasi va yonilg'i nasosini reykasi o'ngga og'ib, yonilg'i uzatishni uzib qo'yilishini ta'minlaydi.

5.4.3. AYLANISHLAR CHASTOTASINI AVTOMATIK ROSTLASH STATIKASI

Regulatorning statik tavsifi. Tezlik tavsifini rostlash tarmog'i dvigatel burovchi momenti M_b va boshqa ko'rsatkichlarini boshqaruv richagini o'zgarmas holatida aylanishlar chastotasiga bog'liqlik ko'rinishiga ega. Ular dvigatel va rostlagichni o'zaro ta'sirlanish majmuasiga ega bo'lgan avtomatik rostlash tizimini statik xususiyatini baholaydi (xarakterlaydi). Tezlik tavsifining rostlash tarmog'ini ko'rinishi dastavval rostlagichni statik tavsifi bilan aniqlanadi. Bundan tashqari, rostlash tarmog'iga rostlagichni sezgir elementi muftasidan yonilg'i nasosi reykasiga mexanik uzatmani tavsifi, aylanishlar chastotasi va yonilg'i nasosi reykasining holatiga nisbatan yonilg'ini sikllik uzatilishini o'zgarish tavsifi, burovchi momentini yonilg'i uzatilishini miqdoriga bog'liqligi ta'sir qiladi.

Mexanikaviy sezgir elementi bo'lgan bevosita ta'sir qiluvchi barcha rejimli rostlagich misolida rostlagichning statik tavsifini ko'rib chiqamiz (5.42-rasm). Rostlagichning mexanik sezgir elementiga, asosan, ikki kuch ta'sir qiladi: prujinaning elastiklik kuchi p_{pr} va yuklarni markazdan qochma kuchlari p_i. Prujinaning elastik kuchi ta'sirini rostlagich muftasini o'q chizig'iga keltirilgan tiklaydigan kuch E bilan almashtirish mumkin. Buning uchun prujina o'q

chizig'ini rostlagich muftasini o'q chizig'iga og'ish burchagi β ni va A, B va C nuqtalarni richag 7da nisbiy joylashishini hisobga olish kerak (5.42-rasm):

$$E = p_{pr} \frac{AC}{AB} \cos\beta.$$

Boshqarish richagining o'zgarmas holatida va demak, ψ ning doimiy qiymatida (prujinaning dastlabki deformatsiyasida) E mufta Z ni siljishiga chiziqli bog'liqlikka ega emas, chunki bunda burchak β o'zgaradi. Bundan tashqari, E prujinaning dastlabki deformatsiyasi ψ ga bog'liq, ya'ni $E = f(\psi, z)$. Rostlagichni statik hisoblashda ψ ni turli qiymatlarida $E = f(z)$ bog'liqlik hisoblanadi (5.43-rasm 2).

Yuklarning markazdan qochma kuchi yuklar massasi m ga, yukning og'irlik markazidan aylanishlar o'qi oralig'i r ga va rostlagich valini burchak tezligi ω_r ga bog'liq:

$$p_j = mr\omega_r^2.$$

Yuklarning markazdan qochma kuchlarini muftaga ta'sirini mufta siljishini o'q chizig'i bo'yicha ta'sir qilayotgan ushlab turuvchi kuch bilan almashtirish mumkin:

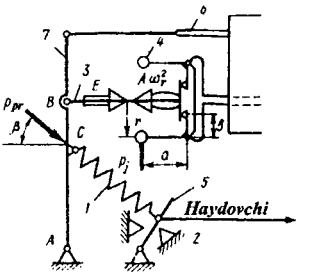
$$A\omega_r^2 = mr\frac{a}{b}\omega_r^2,$$

bunda: a va b — muftaga nisbatan yuklar holatini xarakterlovchi o'lchamlar (5.42-rasm). Muftaning har bir holatida koeffitsiyent A ni bilib, ω_r ning turli qiymatlarida muftaning holatiga ushlab turuvchi kuchning bog'liqligini qurish mumkin (5.43 rasmdagi uzluksiz chiziq 1).

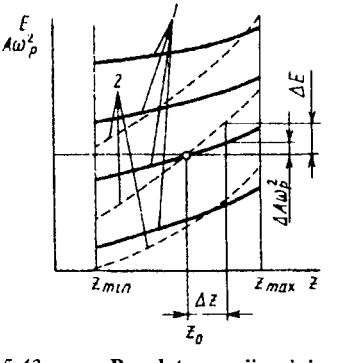
Muftaning muvozanatlangan holati faqat tiklovchi va ushlab turuvchi kuchlarning tenglik paytida saqlanishi mumkin:

$$E - A\omega_r^2 = 0. \qquad (5.18)$$

(5.18) tenglama *rostlagichning statik muvozanatlangan tenglamasi* deb ataladi.



5.42-rasm. **Bevosita ta'sir etuvchi barcha rejimli mexanikaviy rostlagich sxemasi:**
1 — prujina; 2 — tirak; 3 — mufta; 4 — yuklar; 5 — boshqarish richagi; 6 — reyka; 7 — richag.



5.43-rasm. **Regulator prujinasining dastlabki tortilishi va burchak tezligining turli qiymatlarida mexanikaviy sezgir element tavsifi:**
1 — ω_r ning to'rt qiymatida saqlovchi kuch $A\omega_r^2$ ($A\omega_r$ ning katta qiymatlari ω_r ni katta qiymatlariga mos keladi); 2 — ψ ni uch qiymatida tiklovchi kuch E (E ning katta miqdori ψ ning katta miqdoriga muvofiq keladi).

Prujinaning dastlabki tarangligi o'zgarmas bo'lganda muftani muvozanatlangan holati majmuasi z ni o'zgarishi mumkin bo'lgan oralig'ida statik muvozanat tenglamasi $\omega_r = \sqrt{E/A}$ dan ω_r ni topib, analitik usul bilan aniqlash mumkin. Olingan burchak tezligi ω_r ni, ψ ni berilgan o'zgarmas miqdorida mufta z ni muvozanatlangan holatiga bog'liqligi *rostlagichning statik tavsifi* yoki *muvozanatlangan egri chizig'i* deb ataladi (5.44-rasm). Abssissa o'qi bo'ylab mufta z ni muvozanatlangan holati joylashtiriladi: $z = z_{min}$ to'liq yuklamaga, $z = z_{max}$ salt yurish rejimiga mos keladi; ordinata o'qi bo'ylab muftani muvozanatlangan holatiga mos kelgan rostlagich valini burchak tezligi joylashtiriladi. Barcha rejimli rostlagichni statik tavsifi (5.44-rasmdagi 1...4) dizelning tashqi tezlik tavsifidan boshlanadigan rostalgich tarmog'i kechishini aniqlaydi (5.39-b rasm).

Aylanishlar chastotasini avtomatik rostlash statikasini xarakterlaydigan asosiy parametrlari. Rostlagichni ishlash jarayonida muftani muvozanatlangan holatidan og'ishini keltirib chiqaradigan kuchlar paydo bo'ladi, bunday holatda rostlagich barqarorligini baholash muhim hisoblanadi. Masalan, mufta z_0 ni muvozanatlangan holatidan Δz miqdorida o'zgarishi (5.43-rasmga qarang) tiklovchi kuch $(E_0 + \Delta E)$ ni ushlab turuvchi kuch $\left(\left[A \cdot \omega_r^2\right]_0 + \Delta A \omega_r^2\right)$ dan katta bo'lishiga olib keladi. Buning natijasida ortiqcha kuch muftani boshlang'ich holatiga qaytish tomoniga yo'nalgan bo'ladi. Muftaning holati z_0 dan z ni kamayish tomoniga og'ishida ushlab turuvchi kuch tiklovchi kuchdan ko'p bo'lib qoladi va muftani boshlang'ich holatiga qaytarishga intiladi. Rostlagich muftasining bunday muvozanatlangan holati barqarorlangan hisoblanadi va *barqarorlik omili* bilan miqdoriy baholanadi:

$$F_r = \left[\Delta E - \Delta\left(A\omega_r^2\right)\right] / \Delta z.$$

E va A lar miqdori mufta z ning holatiga bog'liq bo'lganligi uchun

$$\Delta E = \frac{dE}{dz}\Delta z \text{ va } \Delta\left(A\omega_r^2\right) = \omega_r^2 \frac{dA}{dz}\Delta z,$$

ushbu nisbatlar hisobga olinganda

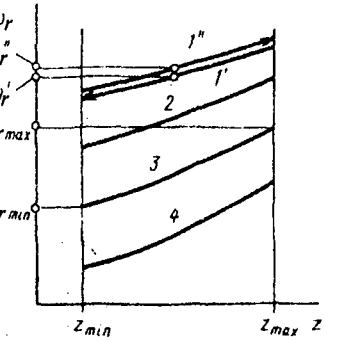
$$F_r = dE/dz - \omega_r^2 dA/dz. \qquad (5.19)$$

F_r ni musbat miqdori mufta muvozanatlanganligini barqaror holatiga, manfiy miqdori esa nobarqaror holatiga muvofiq keladi. Aylanishlar chastotasi rostlagichiga qo'yiladigan talab barcha ish rejimlarida $F_r > 0$ bo'lishini ta'minlash hisoblanadi.

Rostlagichning yuklamani o'zgartirishda dvigatelni berilgan tezlik rejimini ushlab turish qobiliyatini miqdoriy baholash uchun *notekislik darajasi* δ_r tushunchasidan foydalaniladi:

$$\delta_r = \frac{\omega_{r\,max} - \omega_{r\,min}}{\omega_{ro'r}}, \qquad (5.20)$$

bunda: $\omega_{r\ max}$ — salt yurishda ishlaganda va rostlagichni boshqarish a'zolarini qabul qilingan holatida rostlagich valini burchak tezligi; $\omega_{r\ min}$ — to'liq yuklamada va rostlagichni boshqarish a'zolarini qabul qilingan holatida burchak tezligi; $\omega_{r.o'r}$ — o'rtacha burchak tezligi; $\omega_{r.o'r} = (\omega_{r\ max} + \omega_{r\ min})/2$ (5.44-rasm). Notekislik darajasining tashqi tezlik tavsifini mos kelgan rostlagich (regulator) tarmog'i bo'yicha ham aniqlash mumkin (5.39-b rasmda 3):



5.44 rasm. **Barcha rejimli rostlagichning statik tavsifi.**

$$\delta_r = (n_{max} - n_{min})/n_{o'r}.$$

Aylanishlar chastotasini pasayishi bilan ushlab turuvchi kuch $A\omega_r^2$ kamayadi, tiklovchi kuchni o'zgarishi esa (rostlagich prujinasi bikrligini o'zgarmas holatida) muftani z_{min} dan z_{max} gacha siljishida burchak tezligiga deyarli bog'liq bo'lmaydi. Bu aylanishlar chastotasini pasayishi bilan δ_r ni istalmagan kattalashishiga olib keladi, chunki past aylanishlar chastotasida tiklovchi kuchni yengish uchun rostlagich yuklari burchak tezligini ko'p oraliqda o'zgartirishni talab qiladi. ω_r ni pasayishi bilan δ_r o'sishini kamaytirish uchun rostlagich prujinasining qiya holatidan foydalaniladi (5.41-rasmga qarang) yoki aylanishlar chastotasini ortishi bilan rostlagich prujinasi ko'p sonli prujinalar ishga tushadigan to'plami bilan almashtiriladi. Ushbu tadbirlar tiklovchi kuchlarni kamaytirishga va demak, aylanishlar chastotasini pasayishida δ_r ni ham kamayishiga yordam beradi.

Regulatorni statik muvozanatlanganlik tenglamasi (5.18) regulatorda, yonilg'i nasosida va apparatni boshqa qismlarida ta'sir qiladigan ishqalanish kuchi R_r ni hisobga olmaydi. Ishqalanish hisobga olinganda rostlagich muftasining muvozanatlanganligi quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$E - A\omega_r^2 \pm R_r = 0. \qquad (5.21)$$

E va $A\omega_r^2$ kuchlar farqi ta'sirini yo'nalishi (5.21) bilan aniqlanadigan R_r ni belgisiga bog'liq bo'lgan ushbu tenglamadan muftani bir holatiga mos keladigan burchak tezligining ikki chegara qiymatini topish mumkin: ω_r'' — yuklar burchak tezligini ortishida; ω_r' — uni kamayishida, ya'ni

$$\omega_r'' = \sqrt{(E + R_r)/A};\ \ \omega_r' = \sqrt{(E - R_r)/A}. \qquad (5.22)$$

$\omega_r'' - \omega_r'$ burchak tezligi oralig'ida (5.44-rasm) ω_r o'zgarishini rostlagich sezmaydi, shuning uchun ko'rsatilgan burchak tezliklari *oralig'i nosezgirlik doirasi* deb ataladi:

$$\varepsilon_r = (\omega_r'' - \omega_r')/[(\omega_r'' + \omega_r')/2] \qquad (5.23)$$

nisbat esa *nosezgirlik darajasi* deb ataladi. Nosezgirlik darajasini tashqi tezlik tavsifini rostlash tarmog'i bo'yicha ham aniqlash mumkin (5.39-b rasmga qarang). 1'' va 1' tarmoqlar boshqarish a'zosini bir holatida olinadi, biroq rostlash tarmog'i 1'' ni dizel tirsakli valini aylanishlar chastotasini asta-sekin orttirish 1' tarmog'i esa — aylanishlar chastotasini kamaytirish bilan aniqlanadi. Nosezgirlik darajasi quyidagi ifoda bo'yicha hisoblanadi:

$$\varepsilon_r = (n'' - n') / [(n'' + n') / 2].$$

Agar (5.23) ni $(\omega_r'' + \omega_r')$ yig'indiga ko'paytirib va bo'lsak, u holda

$$\varepsilon_r = (\omega''^2_r - \omega'^2_r) / (2\omega^2_r),$$

bunda: $\omega_r = \left(\omega'' + \omega_r'\right) / 2$. $\omega_r = \sqrt{E / A}$ deb hisoblab, (5.12) ifodaga qo'ygandan so'ng quyidagini olamiz:

$$\varepsilon_r = R_r / E \quad \text{yoki} \quad \varepsilon_r = R_r / A\omega_r^2. \qquad (5.24)$$

(5.24) ifodadan ω_r ni kamayishi bilan nosezgirlik darajasini ortishi kelib chiqadi. Nosezgirlik darajasini pasaytirish uchun (5.24) ifodaga mos rostlagichning ishqalanish kuchi kamaytiriladi va tiklovchi, ushlab turuvchi kuchlari ko'paytiriladi. R_r kuchni kamayishiga moylashni yaxshilash, sirpanma ishqalanishni dumalanma ishqalanishga almashtirish, ishqalanuvchi juftlar sonini kamaytirish va boshqalar bilan erishiladi. Ko'p plunjerli nasos ishlatilgan yonilg'i tizimlarida R_r kuch, asosan, reykaga qayta qo'yiladigan kuchga bog'liq — plunjerni burishga sarflanadigan kuchga, shuning uchun ushbu kuchni kamaytirishga qaratilgan tadbirlar R_r ni sezilarli darajada kamayishiga olib keladi. Ushlab turuvchi kuch $A\omega_r^2$ ni va u bilan bog'liq bo'lgan tiklovchi kuch E ni ko'payishiga yuklar massasini orttirish, dvigatel tirsakli valini burchak tezligiga nisbatan rostlagichni burchak tezligini oshiradigan uzatmani kiritish va mos holda regulator prujinasi kuchini ko'paytirish bilan erishiladi.

VI BOB
IYOD NING EKOLOGIK TAVSIFLARI

6.1. ISHLATILGAN GAZLARNING ZAHARLILIGI VA TUTAB CHIQISHI

6.1.1. ASOSIY ANIQLOVCHILAR

Porshenli IYOD ning ishlab chiqarish va ulardan foydalanishni zamonaviy miqyosi ularning atrof-muhitga ta'sirini ko'p bo'lishiga olib keldi. Yerda hayotning mavjudlik sharoiti atrof-muhitning fizik va kimyoviy tavsiflarini juda tor oraliqda o'zgarishida mumkinligi ma'lum. IYOD otqinlarini o'lchami havo, suv, tuproq tarkibiga kiruvchi kimyoviy moddalar miqdorini biologik mavjudotlar va avvalo inson hayoti uchun xavfli bo'ladigan darajada o'zgartirishi mumkin.

IYOD ning ekologik tavsiflari to'g'risidagi o'rganishni texnikaning tabiatga ta'sirini ko'rib chiqadigan sanoat ekologiyasini bir bo'limi sifatida tushinilishi kerak. Ushbu ta'sir qilish yagona dvigateldan bo'lishi mumkin—mahalliy yoki ishlatiladigan IYOD infratarkibini barcha elementlari bilan birgalikda ulardan foydalanishni ta'minlaydigan majmuasidan bo'lishi mumkin — global.

IYOD ning ekologik ko'rsatkichlariga, atrof-muhitga bevosita va bilvosita ta'sir etishini xarakterlaydiganlarni kiritish mumkin. Termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq IYOD har doim atrof bo'shlig'iga issiqlik chiqaradi. Dvigatelning FIK qancha yuqori bo'lsa, uning tejamkorligi shuncha yaxshi, ekologik sifati shuncha yuqori bo'ladi.

IYOD ishlashi davriyligi va yonilg'ining yonish jarayoni havo kislorodidan foydalanishni talab qiladi va IYOD silindrida zararli moddalarni hosil bo'lishi bilan modda kimyoviy o'zgaradi deb taxmin qilinadi, so'ngra ular atmosferaga chiqariladi.

IYOD issiqlik energiyasidan tashqari atrof bo'shlig'iga mexanik energiyani — akustik nurlanishni (titrash va shovqin) chiqarib tashlaydi.

Shunday qilib, xarakterlaydigan ko'rsatkichlar majmuasi quyidagilardan iborat:

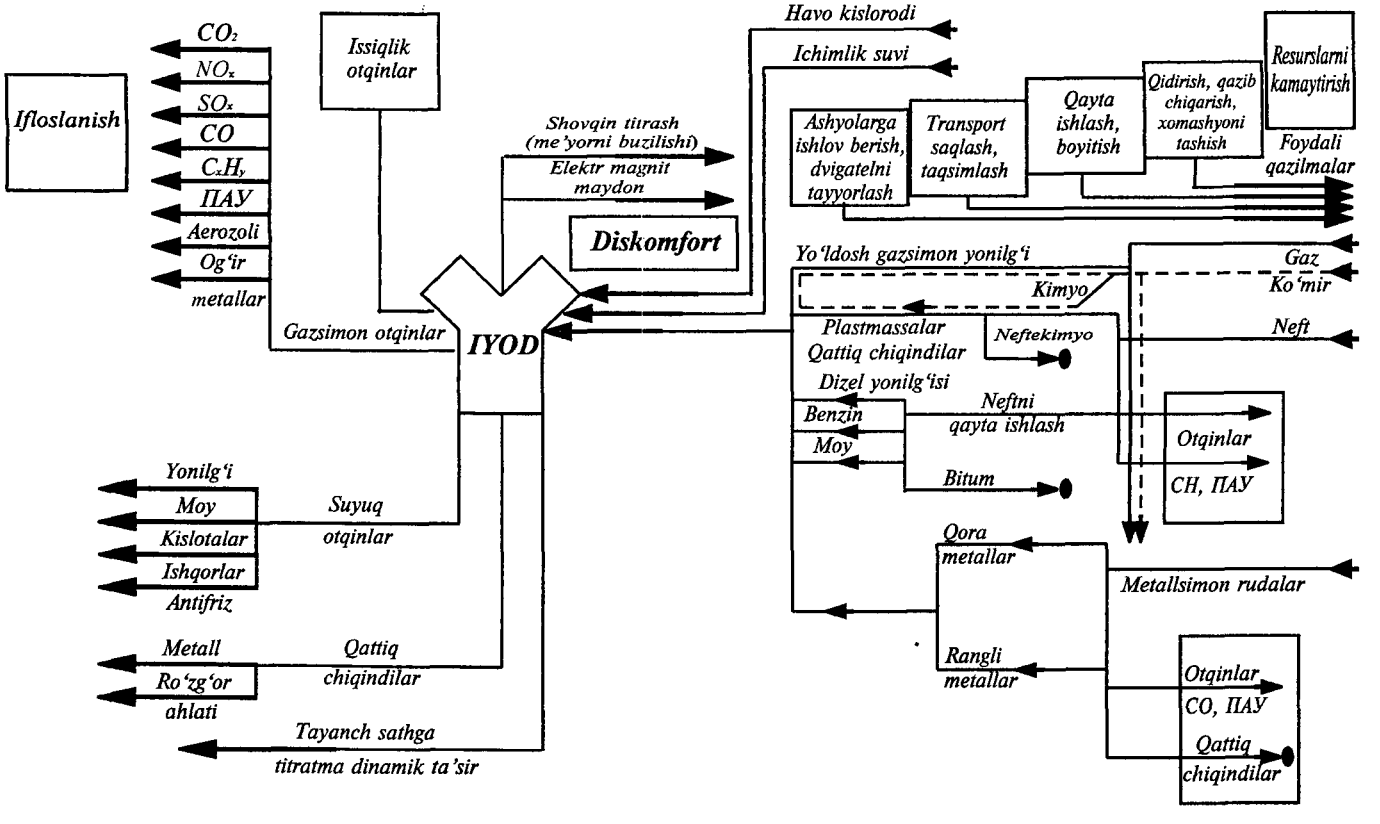
— ishlayotgan dvigatelning atrof-muhit bilan o'zaro issiqlik va moddiy ta'sirlanishi;

— akustik nurlanish (shovqin), titrash;

— IYOD ni tayyorlashda va foydalanishda sarflanadigan konstruksion va ekspluatatsion ashyolarning miqdori;

— dvigatel va ashyolarni ishlab chiqarish va foydalanishda sarflanadigan energiya miqdorini IYOD ning ekologik tozaligini aniqlaydigan sifati deb tushunish kerak.

6.1-rasmda keltirilgan sxemada IYOD ning atrof-muhit bilan o'zaro ta'sirlanishini umumiy ko'rinishi tasvirlangan.



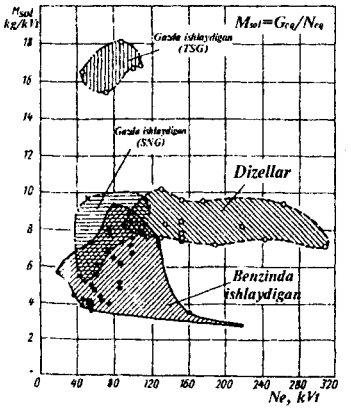
6.1-rasm. **Dvigatelning atrof-muhit bilan o'zaro ta'sirlanishini tasvirlaydigan sxema.**

Dastavval dvigatelni barpo qilishda atrof-muhitga texnogen ta'sirini ko'rsatib o'tish kerak. Uning boshlanishi konstruksion va ekspluatatsion ashyolarni tayyorlashda ishlatiladigan foydali qazilmalarni qidirishda va olishda, so'ngra dvigatellarni ishlab chiqarishda namoyon bo'ladi. Tayyorlashning texnologik jarayonlari ham zararli chiqindilarni chiqarib tashlashi bilan kuzatiladi, u asosan zavod hududi chegarasida to'planadi. Tayyorlashning (quyish, bolg'alash, mexanik ishlov berish, yig'ish) texnologik jarayonlarini ekologik sifatini baholash va ularning qiyosiy tahlili muhim mustaqil vazifa hisoblanadi, bu yerda umumiy tavsifini o'zi bilan cheklanib qolamiz, ya'ni ashyo birligini ishlab chiqarishda (cho'yanni, po'latni, benzinni) yoki shaxsan dvigatelni ishlab chiqarishda energiyani sarfi qancha bo'ladi.

Asosiy konstruksion va ekspluatatsion ashyolarni (metallar, plastmassalar, rezinotexnik mahsulotlar), yonilg'ilarni va moylarni ishlab chiqarishda ayrim moddalar otqinlarining miqdori to'g'risidagi ma'lumot 6.1-jadvalda keltirilgan. Otqinlarni barchasi solishtirma miqdorlarda, ya'ni ular ashyo massasini birligiga taalluqli. 6.1-jadvaldagi ma'lumotlar mavjud bo'lgan yoki loyihalanayotgan IYOD konstruksiyalarini takomillashganligini qiyosiy taqqoslashga, shuningdek, dvigatelni tayyorlash uchun ashyolarni ishlab chiqarishda va uning ishlashini ta'minlash uchun atrof-muhitga qanday ta'sir ko'rsatish choralari to'g'risida xulosa chiqarishga imkon beradi.

Tabiiyki, bunda dvigatelning ishlab chiqarishda sarflanadigan ashyolarni bilish kerak, mavjud bo'lgan dvigatellar uchun ashyolarning haqiqiy sarfi ma'lum. Loyihalashda birinchi yaqinlik bilan dvigatel massasini bilish yetarli hisoblanadi. Ushbu maqsadlar uchun 6.2-rasmda keltirilgan ma'lumotlardan foydalanish mumkin. Bu yerda dvigatelning solishtirma massasi M_{sol} ni miqdoriy maydoni uning quvvatiga bog'liq holda berilgan.

Issiqlik otqinlarining umumiy o'lchamini 6.3-rasmda keltirilgan ma'lumotlar bilan xarakterlash mumkin. Rasmda inson tomonidan foydalanilgan energiyaning umumiy miqdori E_1, shuningdek, 50...90-yillari dunyo bo'yicha *ishlatilgan* avtomobillarning umumiy soni N_a (6.3-*a* rasm) va neft, gaz va ko'mirlarning sarfi berilgan (6.3-*b* rasm). Tabiiyki, ishlayotgan porshenli dvigatellarning soni avtomobillar sonidan ko'p, chunki porshenli dvigateli bo'lgan mototexnika, qishloq xo'jalik va yo'l-qurilish mashinalari va statsionar qurilmalar, kemalar va samalyotlarni hisobga olish kerak. Ushbu holatda IYOD umumiy soni 1mlrd ga yaqinlashadi.

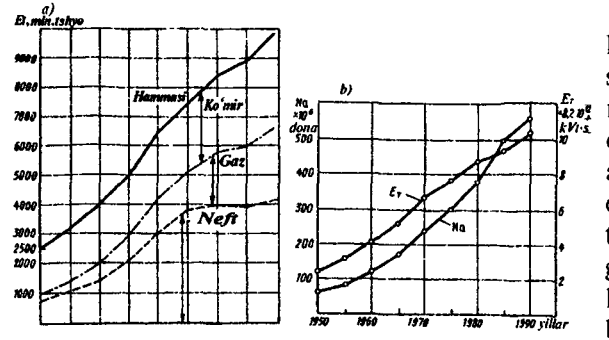


6.2-rasm. **PIYOD solishtirma massasining quvvatga bog'liqligi.**

IYOD da yoqiladigan yonilg'ining hamma issiqlik energiyasi atrof-muhitga ajralib chiqadi va uni isitadi deb hisoblansa qo'pol xato bo'lmaydi.

6.1-jadval

Ko'rsatkichlar nomlari	Konstruksion ashyolar						Ekspluatasion ashyolar		
	po'lat, cho'yan	aluminiy	mis	qo'rg'o-shin, surma	plastmassa-lar	rezina	benzin	dizel yonilg'isi	motor moyi
Zararli moddalar otqini, g/kg:									
Aerozollar	548,6	3,82	9,24	9,12	4,85	5523,59	3,59	2,53	35,9
CO_2	1898,7	1705,2	764,4	676,2	3550	8607,02	695,5	489,6	6955
CO	1542,8	15,08	83,53	69,45	8,75	2471,2	15,43	10,86	154,3
NO_x	3,46	22,8	10,22	9,04	3,7	0,69	1,9	1,34	19,0
CH	8,61	0,17	0,08	0,07	85,7	152,01	8,92	6,28	89,2
SOx	22,15	120,06	1122	194,0	61,0	437,68	21,81	15,36	218,1
O_2 ga ehtiyoj, m^3/kg	2,59	2,9	1,3	1,15	5,0	14,7	1,498	1,054	14,981
Energiya sarfi, kVt · s/kg	15,15	58,0	26,0	23,0	33,7	40,99	4,96	3,49	49,6



6.3-rasm. **Energiya iste'moli (a) va dunyodagi avtomobillar soni (b).**

Bir vaqtning o'zida havo kislorodi sarflanadi, shuningdek, massasi bo'yicha katta qismini karbonat angidrid CO_2 tashkil etgan IG ham chiqarib tashlanadi. Karbonat angidrid ekologik xavfli hisoblanadi, chunki boshqa kimyoviy moddalar bilan birgalikda u yer kurrasidan atrof bo'shlig'iga issiqlikni nurlanishiga qarshilik ko'rsatadi, bu esa «parnikka oid» samarasini paydo bo'lishiga, atmosferaning o'rtacha haroratini ortishiga olib keladi.

Siqilgan tabiiy gazni yonilg'i sifatida ishlatishga o'tish CO_2 otqinini kamaytiradi. Dvigatelda bevosita tabiiy gazni suv bug'i va IG dan qisman olinadigan CO_2 bilan konversiyasini amalga oshirish va bir vaqtning o'zida sovitilgan muhitga o'tadigan ularning issiqligi va energiyasini ishlatish bilan ham CO_2 otqinini kamaytirish mumkin, chunki konversiyali reaksiya endotermik hisoblanadi. Konversiyani bunday amalga oshirishda IYOD da issiqlikdan foydalanish yuqoriroq bo'ladi, chunki konversiya natijasida paydo bo'lgan sintez gazi boshlang'ich gazsimon yonilg'iga nisbatan yuqoriroq issiqlik qobiliyatiga ega bo'ladi.

Shunga o'xshash sxema bo'yicha spirtsimon yonilg'i-metanoldan foydalanilsa shunday samara beradi.

Otqin CO_2 ni kamaytirishni keyingi qadamlaridan yana biri bu motor yonilg'isi sifatida vodoroddan foydalanish hisoblanadi.

IG da ko'p kimyoviy moddalar (300 tagacha) ishtirok etadi, ular ichida zaharli deb hisoblanadigan tashkil etuvchilari CO, CH, NO_x va qurum (qattiq zarracha)ga ko'proq e'tibor qaratiladi. Inson a'zolariga va atrof-muhitga zararli ta'sir qiluvchi moddalar *zaharli moddalar* deb ataladi.

IYOD ning ekologik jihatidan takomillashtirishni barcha muammolari ko'pincha IG dagi ushbu tashkil etuvchi zaharli moddalarni kamaytirish usullarini izlashga kelib taqaladi. Albatta ular zararli va ularning otqinlarini kamaytirish zarur, lekin bu bilan IYOD ning ekologik takomillashtirish masalasi olib tashlanmaydi. IG da zaharlilik darajasi bo'yicha CO, CH va NO_x larga qaraganda xavfliroq bo'lgan kanserogen moddalar, oltingugurt va qo'rg'oshin birikmalari va boshqa ko'p tashkil etuvchilar mavjud (3.3.4-bandga qarang).

IG dan tashqari dvigatellarning zaharlilik manbayi bo'lib karter gazlari va yonilg'ini atmosferada bug'lanishi ham kiradi. Atmosferaga eng ko'p ajralib chiqadigan zaharli moddalar IG bilan ro'y beradi, shuning uchun IG zaharliligini kamaytirishga asosiy e'tibor qaratiladi.

Quruq IG dagi zaharli tashkil etuvchilarining miqdori hajmiy foizda, hajm bo'yicha million qismida (mln^{-1}) va kamdan-kam 1l IG dagi milligramm hisobida baholanadi.

6.2-jadvalda IG dagi zaharli tashkil etuvchilar miqdorini o'zgarish oralig'i keltirilgan.

6.2-jadval

Ishlatilgan gazlardagi zaharli tashkil etuvchilar nomlari	Dizel	Uchqundan o't oldiriladigan dvigatel
Is gazi *CO*, %	0,1...0,3	0,1...6,0
Azot oksidi, mln^{-1}	50...2000	0...4000
Uglevodorodlar, mln^{-1}	10...200	50...1000
Qurum, mg/*l*	0,40 gacha	0,05 gacha

Rossiyada amalda bo'lgan sanitar me'yoriga, asosan, havodagi zaharli moddalar miqdorining chegarasi qilib birinchi yaqinlik bilan zaharli tashkil etuvchilarning quyidagi nisbatini olish mumkin $CO : NO_x : CH = 1 : 25 : 67$.

6.1.2. DVIGATELLARNING ISHLATILGAN GAZLARI ZAHARLILIGINI VA TUTAB CHIQISHINI ME'YORLASH

Standartlar va qoidalar qonunlar bo'yicha IG bilan chiqarib tashlanadigan zaharli moddalar otqinini ruxsat etilgan me'yoriy chegarasini o'rnatadi, dizellar uchun esa IG ning tutab chiqishiga yoki ulardagi qattiq zarrachalarning miqdoriga me'yor o'rnatilgan. Ko'proq Yevropa yoki Amerika standartlari va qoidalari ishlatiladi.

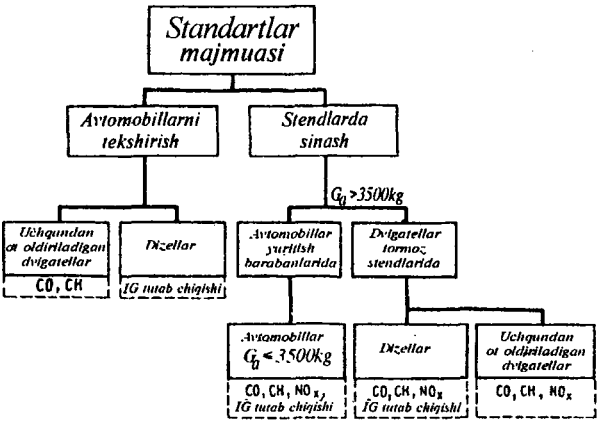
Yevropa standartlari va qoidalari majmuasi o'z ichiga ikki ko'rinishdagi sinashni kiritadi: avtomobillarni foydalanish sharoitida tekshirish va avtomobil yoki dvigatellarni stendda sinash (6.4-rasm).

Foydalanish sharoitida sinash portativ apparatlarni ishlatish bilan soddalashgan usulda o'tkaziladi. Benzinda va gazda ishlaydigan dvigatellari o'rnatilgan avtomobillar *CO* va *CH* otqinlariga salt yurishda tirsakli val eng kam va oshirilgan aylanishlar chastotasida sinaladi.

Dizellar bilan jihozlangan avtomobillarning erkin tezlanishida va salt yurishidagi valning eng yuqori aylanishlar chastotasida IG ning tutab chiqishida sinaladi.

Avtomobil va dvigatellarning IG zaharliligini va tutab chiqishini to'liq baholash zavodlarda o'tkaziladi, bunda sikl deb ataladigan berilgan rejimlar majmuasi bajariladi.

Baholovchi va me'yorlovchi ko'rsatkichlar sifatida *CO*, NO_x va *CH* otqinlari, dizellarda esa IG ning tutab chiqishi yoki qattiq zarrachalar miqdori ham xizmat qiladi.



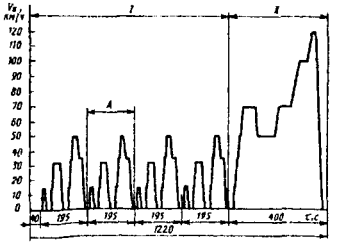
6.4-rasm. **Ishlatilgan gazlar zaharliligi va tutab chiqishini aniqlash uchun sinash.**

Dizellar va uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar bilan jihozlangan to'liq massasi 3500 kg dan ortiq bo'lmagan avtomobillar (engil, mikroavtobuslar va boshqalar) yugurish borabanli stendda yurish sikli bo'yicha sinaladi. Shahar sikli bo'yicha sinash to'rt marta takrorlanadigan I qismdan, so'ngra esa shosse bo'yicha avtomobil yurishini imitatsiyalaydigan yuqori tezlik II qismidan tashkil topgan (6.5-rasm).

Yuk avtomobillarining (massasi 3500kg dan ortiq bo'lgan) dvigatellari 9 rejimli sikl bo'yicha (uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar) yoki 13 rejimli sikl bo'yicha (dizellar) tormoz stendlarida sinaladi.

6.1.3. UCHQUNDAN O'T OLDIRILADIGAN DVIGATELLAR ISHLATILGAN GAZLARINING ZAHARLILIGIGA TURLI OMILLARNING TA'SIRI

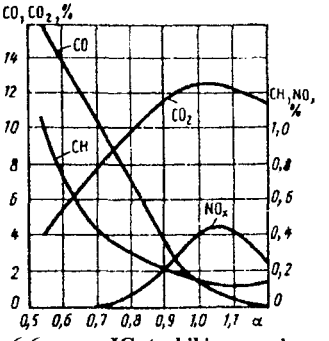
Aralashma tarkibi IG ning zaharliligiga katta ta'sir qiladi. 6.6-rasmdan ko'rinishicha $\alpha < 1$ bo'lganda *CO* va *CH* larning miqdori sezilarli darajada ortadi, $\alpha = 1$ bo'lganda ham IG da, silindrlararo aralashma tarkibining notekisligi, yonish kamerasida quyuqlashgan aralashma doirasining mavjudligi sababli ushbu zaharli tashkil etuvchilarni bir qancha miqdori bo'ladi.



6.5-rasm. **Yugurish barabanli stendda sinash rejimlari.**

Aralashma suyuqlashganda yonish mahsulotlarida atomar kislorod miqdorini ortishiga bog'liq holda NO_x ni chiqishi avval ko'payadi, so'ngra $\alpha > 1,05...1,10$ bo'lganda yonish haroratini pasayishi natijasida NO_x hosil bo'lishi kamayadi.

Gazsimon yonilg'ida ishlaganda (propan-butan) CO va CH egri chiziqlar yaqin, NO_x egri chizig'i esa ko'pga farqlanadi. Suyuqlantirilgan gaz uchun NO_x ni miqdori IG da benzinga qaraganda kam, hamma egri chiziqlar esa suyuqroq aralashmalar doirasiga siljiydi. Dvigatel vodorodda ishlaganda CO va CH otqinlari mavjud bo'lmaydi, NO_x esa benzinda ishlaganidagiga qaraganda ancha ko'p bo'ladi, chunki aralashma stexiometrik aralashmaga yaqin bo'lganda vodorod juda yuqori tezlik bilan yonadi.

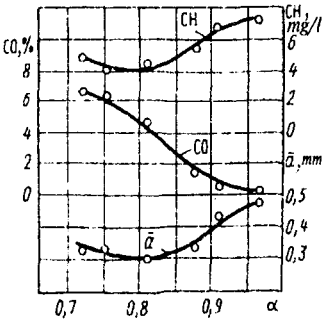


6.6-rasm. **IG tarkibiga α ning ta'siri.**

6.7-rasmdan ko'rinishicha, salt yurish rejimida aralashmaning tarkibi faqat CO va CH larning miqdoriga sezilarli ta'sir etib qolmasdan, bir vaqtning o'zida dvigatelning barqaror ishlashi α ga ham bog'liq, xususan uni osmalarda tebranishi. Ushbu tebranishlarning o'rtacha amplitudasi $\bar{a}$ ni eng kam miqdori CH ni eng kam miqdori kuzatiladigan $\alpha = 0,8...0,85$ oralig'iga to'g'ri keladi. $\alpha > 0,80...0,85$ bo'lganda aralashmani suyuqlashishi bilan CO otqini kamayadi, biroq ayrim sikllarni alangalanishni o'tkazib yuborishi tufayli CH ni miqdori ko'p miqdorda ortadi va osmada dvigatelning titrash amplitudasi ham ortadi.

O't oldirishni ilgarilatish burchagini eng maqbul qiymatiga yaqini (dvigatelni tejamkor ishlashi nuqtayi nazaridan) deyarli CO va CH larning miqdoriga ta'sir qilmaydi, biroq $\varphi_{o'.il}$ ni ko'payishi bilan NO_x $\alpha > 1,0$ bo'lganda sezilarli darajada ayniqsa $\alpha > 1,0$ bo'lganda sezilarli ortadi.

Ko'rilayotgan dvigatel uchun $\varphi_{o'.il}$ ni tavsiya etilgan qiymatidan kechikish tomoniga ko'proq siljitilsa, NO_x otqinini kamayishiga yordamlashadi, lekin bir vaqtning o'zida tejamkorlik ko'rsatkichlari yomonlashadi. Haddan tashqari ilgariroq o't oldirish bilan ishlashga yo'l qo'yib bo'lmaydi, chunki bunda NO_x ning otqini ko'payadi va boshqa ko'rsatkichlari yomonlashadi.



6.7-rasm. **α ga bog'liq holda IG tarkibini va osmada dvigatel titrash**

Ish jarayonlarini va aralashma hosil qilishni takomillashtirish. Yonish kamerasining konstruksiyasi CH ni hosil bo'lishiga ta'sir qiladi. Yuzasini yonish kamerasi hajmiga bo'lgan nisbati va siqib chiqaruvchi ustidagi kamera hajmi qancha kam bo'lsa, shuncha kam miqdorda CH hosil bo'ladi. CO va NO_x larning miqdoriga ushbu omillar sezilarli darajada ta'sir qilmaydi.

Siqish darajasini ortishi siklning eng yuqori haroratini ko'tarilishiga olib keladi va yonish kamerasi yuzasini uning hajmiga bo'lgan nisbatini ortishiga olib keladi. Birinchi omil $\alpha > 1,0$ bo'lganda NO_x miqdorni ko'payishini, ikkinchisi esa — CH chiqishini oshishini aniqlaydi.

Kiritish jarayonida zaryadning uyurmali harakatini yuzga keltiradigan dvigatellarda uyurma jadalligini kuchli oshishida (ayniqsa aralashmani $\alpha = 1,4...1,5$ gacha suyuqlashishi bilan birgalikda) CH otqini ko'payishi mumkin.

Aralashma hosil qilishni yaxshilanishi quyuq aralashma doirasida CO otqinini kamaytiradi, lekin suyuq aralashmalarda NO_x miqdorini birmunchaga orttirishi mumkin.

6.1.4. UCHQUNDAN O'T OLDIRILADIGAN DVIGATELLARDA ISHLATILGAN GAZLAR ZAHARLILIGINI KAMAYTIRISH

IG zaharliligini harakatdagi va kelajak me'yorlariga rioya qilishda qiyinchiliklarning ko'pi NO_x otqinini kamayishi, ishga tushirish, qizitish va salt yurish rejimlarida esa CO va CH otqinlarini kamayishi bilan bog'liq.

IG zaharliligini kamaytirish uchun quyidagi tadbirlardan foydalanish tavsiya etiladi.

Dvigatellarning ishlab chiqarish sifatini texnologik jarayonlarni takomillashtirish yo'li bilan **oshirish**, birinchi navbatda yonish kamerasini, yonilg'i uzatish tizimini, o'tkazuvchi kiritish quvurlarini va o't oldirish tizimini shakllantiradigan detallarini ishlab chiqarishdagi texnologik yo'l qo'yishlarga talabni kuchaytirish bilan oshirish. Bu ayrim silindrlardagi siqish darajasi miqdoridagi farqining kamayishini, aralashmani silindrlararo taqsimlanishini yaxshilanishini ta'minlaydi, aralashma tarkibini va o't oldirishni ilgarilatish burchagini eng maqbul qiymatiga jiddiy yaqinlashishiga imkon beradi.

Porshen halqalari konstruksiyasini yaxshilash moy kuyindisini kamaytiradi, oqibatda CH va kanserogen moddalar otqini pasayadi.

Ta'minlash va o't oldirish tizimlarini takomillashtirish katta ahamiyatga ega. Karbyuratorli dvigatellar uchun, uning asosiy detallarini tayyorlash aniqligini oshirishdan tashqari ishga tushirish, qizitish va salt yurish tizimlarini takomillashtirish, majburiy salt yurish ekonomayzerini qo'llash jiddiy ahamiyatga ega hisoblanadi. Benzin purkash tizimini qo'llash IG zaharliligini kamaytirish bo'yicha yaxshi natijalar beradi.

O't oldirishni tranzistor tizimi elektr uchquni energiyasini orttiradi, bu alangalanishni yaxshilaydi va suyuqroq aralashmalarda ishlashga imkon tug'diradi. O't oldirish tizimini mikroprotsessorli boshqarish, IG zaharliligini kamayishi va yonilg'i tejamkorligini yaxshilanishi nuqtayi nazaridan yonish jarayoni talablarini bajarilishini ta'minlovchi o't oldirishni ilgarilatish burchagini murakkab qonun bo'yicha o'zgartirishga imkon beradi.

Tetraetilqo'rg'oshin miqdori kam bo'lgan benzinlarni ishlatish va gazsimon yonilg'ilarga o'tish. Etillangan benzinni kamaytirish yoki undan to'liq voz kechish qo'rg'oshin birikmasi otqiniga ta'sir qiladi va katalitik neytralizatorlarni talab qilingan uzoqqa chidamliligini ta'minlaydi (2-kitobdagi 13.2- bandga qarang). Dvigatelni gazsimon yonilg'iga o'tkazish NO_x otqinlarini taxminan ikki marta kamayishini ta'minlaydi, shuningdek, *CO* miqdorini ham birmunchaga pasayishiga olib keladi. Bu gazda ishlaganda past haroratda yonadigan suyuqroq aralashmalardan samarali foydalanishni mumkinligi, shuningdek, aralashma tarkibini silindrlararo notekisligini kamayishi bilan bog'liq.

Ishlatilgan gazlarni resirkulatsiyasi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarning katta va o'rtacha yuklama rejimlarida NO_x otqini IG zaharliligini umumiy miqdoriga aniqlovchi sifatida ta'sir qiladi. NO_x otqinini kamaytirish murakkab vazifa hisoblanadi. Agar IG ning bir qismini chiqarish tizimidan kiritish o'tkazuvchi quvuriga yo'naltirilsa, u holda yonilg'ini zaryaddagi miqdori kamayadi. Bu yonish mahsulotlarini nisbatan yuqori issiqlik sig'imi bo'lishi bilan birgalikda siklning eng yuqori haroratini va zaryadda kislorod miqdorini pasayishiga olib keladi, demak NO_x hosil bo'lishini kamayishiga yordam beradi va ularning IG dagi miqdorini 40...50% ga kamaytiradi. Tajribalarning ko'rsatishicha NO_x miqdorini shunchaga kamaytirish uchun kiritish tizimiga havoning miqdoriga nisbatan 20% gacha miqdordagi IG ni uzatish kerak.

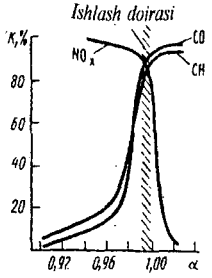
Haddan tashqari ko'p retsirkulatsiya *CH* otqinining ko'payishini va yonilg'i tejamkorligini sezilarli darajada yomonlashishini keltirib chiqaradi. Demak, dvigatelning yuklamasiga bog'liq holda retsirkulatsiyani rostlash kerak, buning uchun IG ning maxsus klapan-dozatori xizmat qiladi.

Aralashmaning yonishida eng yuqori harorat yetarlicha baland va zaryad ortiqcha kislorodga ega bo'lganda IG ning retsirkulatsiyasi o'rtacha yuklama rejimlarida samaraliroq bo'ladi. Drossel to'smaqopqoq to'liq ochiq bo'lganda retsiruklatsiyadan foydalanilmaydi, chunki u dvigatel quvvatini pasaytiradi. Salt yurishda va kam yuklamalarda unga zarurat bo'lmaganligi tufayli retsirkulatsiyadan foydalanilmaydi.

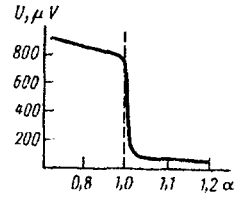
Aralashma dozalanishini buzmaslik va karbyuratorda cho'kindi hosil bo'lishidan holi bo'lish uchun karbyuratorli dvigatellarda IG kiritish o'tkazuvchi quvuriga drossel to'sma qopqog'idan keyin uzatiladi.

Ishlatilgan gazlarni neytrallash — ishlatilgan gazlar zaharliligining kamaytirilishini radikal usuli. Avtomobil dvigatellari uchun *CO* va *CH* larni oksidlanish, shuningdek, NO_x ni tiklanish reaksiyalari kechishini tezlashtiradigan maxsus moddali *katalitik* neytrallagichlar ko'proq qo'llaniladi (2-kitobni 13.2 -bandga qarang).

Uchta tashkil etuvchilar (*CO*, *CH* va NO_x) ni neytrallash uchun qo'llaniladigan katalitik neytrallagichlar uch tarkibli yoki bifunksional deb ataladi, uning samaradorligi dvigatel ishlayotgan aralashma tarkibiga ko'p



6.8-rasm. **Uch tashkil etuvchili neytrallagichning samarali ishlash doirasi.**



6.9-rasm. **Kislorod datchik tavsifi (λ — zond).**

darajada bog'liq. 6.8-rasmda IG ning zaharli tashkil etuvchilarini o'zgartirish darajasi K_i ning aralashma tarkibiga nisbatan o'zgarishi ko'rsatilgan

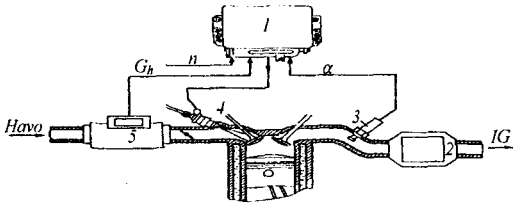
$$K_i = \frac{c_i - c_i'}{c_i},$$

bunda: c_i va c_i' — mos holda i — tashkil etuvchini neytrallagichga kirishidagi va undan chiqishidagi miqdorlari.

Aralashma tarkibini $\alpha = 1,0$ ga yaqin bo'lgan juda tor oralig'i mavjud bo'lib, unda bir vaqtning o'zida asosiy zaharli tashkil etuvchilarning uchalasi yuqori darajada o'zgarishga ega bo'ladi, ya'ni NO_x ni tiklashda yerkin bo'ladigan kislorod miqdori CO va CH larni oksidlanishi uchun yetarli bo'ladi.

Aralashma tarkibini bunday tor oraliqda ushlab turish, tavsifi 6.9-rasmda ko'rsatilgan kislorod datchigini ishorasi (λ — zond) bo'yicha elektron bilan boshqariladigan* yonilg'i purkash tizimlari qo'llanilganda mumkin bo'ladi. Rasmdan ko'rinishicha, aralashma tarkibini talab qilingan oralig'ida λ — zondning signali deyarli pog'onali o'zgaradi, bu benzin purkalishini boshqaradigan elektron blokka $\alpha \approx 1,0$ bo'lganida $\pm 1\%$ aniqlik bilan aralashma tarkibini ushlab turishga imkon tug'diradi. 6.10-rasmda neytarllagichi uchta tashkil etuvchidan iborat bo'lgan dvigatelda yonilg'i uzatish boshqarilishini prinsipial sxemasi keltirilgan.

6.1.5. DIZELNING ISHLATILGAN GAZLARINI ZAHARLILIGIGA VA TUTAB CHIQISHIGA TURLI OMILLARNING TA'SIRI



6.10-rasm. **Kislorod datchigi ishorasi (signali) bo'yicha yonilg'i uzatishni boshqarish** $(\alpha = 1,0)$**:** 1 — boshqarishning elektron bloki; 2 — uchta tashkil etuvchili katalitik neytrallagich; 3 λ — zond; 4 — elektr magnit forsunka; 5 — havo sarfini o'lchagich.

Aralashma hosil qilish usuli IG zaharliligiga sezilarli ta'sir qiladi. Bu old kamerada yoki uyurma kamerada yonish jarayoni harorat va α kam bo'lgan sharoitda ro'y berishi bilan tushuntiriladi. Asosiy kamerada zaryadni yonib tugashi ham nisbatan yuqori bo'lmagan haroratda kechadi. Ushbu

* Elektron bilan boshqariladigan karbyurator juda kam ishlatiladi.

sababga ko'ra ajratilgan yonish kamerali dizellarda NO_x, yonish kamerasi porshenda bo'lgan dizellarga qaraganda kam hosil bo'ladi. Bundan tashqari, 6.11-rasmda ko'rsatilganidek, ajratilgan kamerali dizellar IG bilan tutab chiqishi* nisbatan kam bo'lgan oz miqdordagi chala yonish mahsulotlarini chiqarib tashlaydi, buni *CO*, *CH* va qurumni porshen usti hajmida yaxshi yonib tugashi bilan tushuntirish mumkin.

Ajratilmagan kamerali dizellarning IG zaharliligi va tutab chiqishi zaryadni uyurma harakatini jadalligiga va uni to'zonni parametrlari va yonilg'i to'zitilishini maydaligi bilan muvofiqlashtirilishiga kuchli bog'liq.

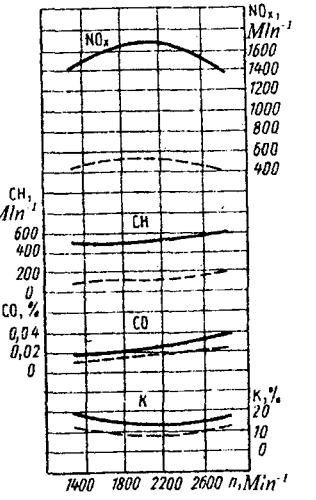
Devor yaqinida aralashma hosil qilinadigan dizellarda *CH* va *CO* lar otqini ayniqsa ishga tushirish va qizitish rejimlarida yuqori miqdorda bo'ladi.

Siqish darajasi IG zaharliligiga, asosan, zaryad haroratini o'zgarishi orqali ta'sir qiladi. ε ni o'sishi bilan haroratni ko'tarilishi, ayniqsa kam yuklamalar va valni past aylanishlar chastotasida aralashma hosil bo'lishini yaxshilanishiga olib keladi, shuning uchun *CO* otqini kamayadi.

Bunda NO_x otqinini ko'paymasligi uchun mos holda zaryadni uyurma harakatini jadalligi va yonilg'ini purkash parametrlari mos holda birgalikda tanlanadi. ε ni ortishi *CH* otqinini ko'payishiga yordam berishi mumkin.

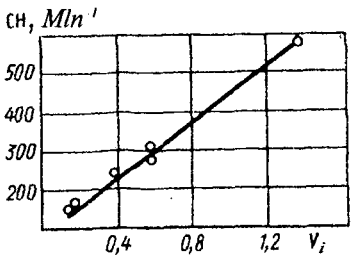
IG zaharliligiga qisib qo'yilgan (porshen ustidagi tirqish va boshqalar) deb ataladigan hajm salbiy ta'sir qiladi, undagi havo yonilg'ini yonishi uchun deyarli ishlatilmaydi.

Yonilg'ini uzatish. To'zitish teshiklarini berilgan diametrida purkash bosimini oshirish, purkashni tugash paytini o'zgarmas holda saqlab uni boshlanishini kechikishiga olib keladi, natijada IG ni NO_x otqini va tutab chiqishi kamayadi. Qayta purkashda silindrga oz miqdorda qo'shimcha yonilg'i uzatiladi, u yaxshi to'zitilmaydi va *CO*, *CH* va qurum hosil bo'lishi bilan kengayish yo'lida yonadi. Igna o'z uyasiga o'rnashganidan so'ng igna osti hajmidagi gaz pufaklari isishi natijasida kengayib yonilg'ini yonish kamerasiga siqib chiqaradi va kengayish yo'lida aralashmaning mahalliy quyuqlashishi hosil bo'lib, *CH* otqinini ko'payishiga olib keladi. Igna osti hajmi V_i' 0,3...5 mm^3 ni tashkil etgan, yonish kamerasi porshenda joylashgan dizellarda bu ayniqsa sezilarli darajada bo'ladi. Ushbu hajmning IG dagi *CH* ning miqdoriga ta'siri 6.12-rasmda (namoyish qilingan) ko'rsatilgan.

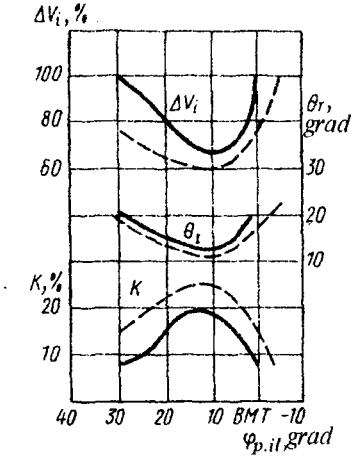


6.11-rasm. **Dvigatellar IG ning tutab chiqishi va zaharliligi:**
---- — ajratilgan yonish kamerali;
—— — yonish kamerasi porshenda bo'lgan.

* Dizellarning IG ni tutab chiqishi optik zichlik bilan xarakterlanadi, u maxsus asbobda yorug'lik o'tkazish yo'li bilan aniqlanadi va foizlarda ifodalanadi.



6.12-rasm. **Yonish kamerasi porshenda joylashgan dizellarning IG dagi *CH* miqdoriga to'zitkichning igna osti hajmining ta'siri.**



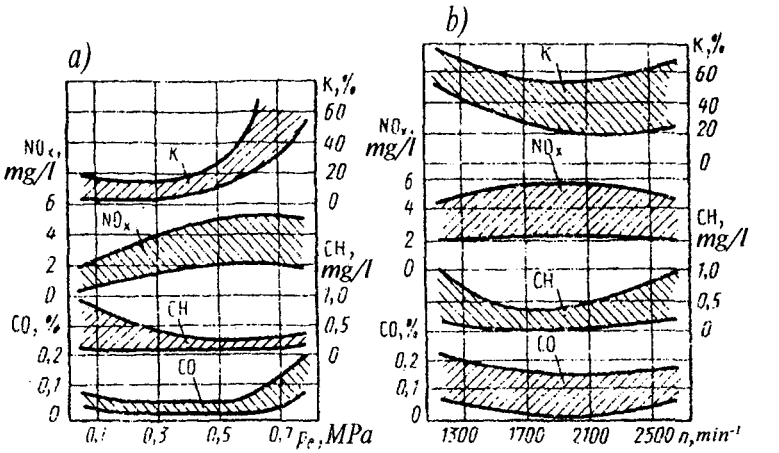
6.13-rasm. **Yonish kamerasi porshenda joylashgan dizellarning IG ning tutab chiqishiga ($\varphi_{p.il}$) ni ta'siri:**
—— — bosimsiz kiritish;
---------- — bosim ostida kiritish.

Purkashni ilgarilatish burchagi $(\varphi_{p.il})$ alangalanishning kechikish davri davomiyligini va ushbu davrda purkalgan yonilg'i qismini anchaga o'zgarishini belgilaydi, bu diffuzion yonish davomiyligiga ta'sir qiladi. Masalan, agar θ_1 qisqarsa, tez yonish fazasini boshlanishigacha purkalgan yonilg'i (ΔV_i) ni qismi kam bo'ladi, diffuzion yonishni va IG ni tutab chiqish ahamiyati esa mos holda ortadi (6.13-rasm). $\varphi_{p.il}$ ni qisqarishida yonish haroratini pasayishi tufayli NO_x ni hosil bo'lishi ancha sekinlashadi. $\varphi_{p.il}$ ni kamayishida IG ni tutab chiqishi ko'payadi, dizel ishini tejamkorlik va energetik ko'rsatkichlari yomonlashadi.

Ishlash rejimi. Dizelning yuklamasini ortishida $(p_e > 0{,}4...0{,}5 MPa)$ aralashma quyuqlashadi va yonish to'liqligi yomonlashadi, shuning uchun *CO* otqini ko'payadi va IG ni tutab chiqishi keskin ortadi (6.14-a rasm). Kam va o'rtacha yuklamalar doirasida harorat omili NO_x ni hosil bo'lish jarayonida aniqlovchi bo'lib hisoblanadi, faqat sikllik yonilg'i uzatilishi ko'p bo'lganda NO_x chiqishini o'sishi sekinlashadi yoki yonish kamerasida yerkin kislorodni deyarli mavjud bo'lmagan ancha hajmini paydo bo'lishi tufayli to'xtab qolishi ham mumkin.

Aylanishlar chastotasini $n = 2000\,\text{min}^{-1}$ gacha ortishida aralashma hosil bo'lishini yaxshilanishi ishlatilgan gazlarni tutab chiqishini pasayishiga olib keladi, biroq $n > 2000\,\text{min}^{-1}$ bo'lganda yonilg'ini yonish vaqtini qisqarishi ta'sirini ustivorligi tutab chiqishini yana birmunchaga orttiradi. NO_x, *CO* va *CH* larning hosil bo'lishiga aylanishlar chastotasi kam ta'sir qiladi (6.14-b rasm).

Yonish kamerasi porshenda joylashgan dizellarda past aylanishlar chastotasida IG ni tutab chiqishi nominal rejimdagiga qaraganda 1,5...2 martaga ortadi. Bu aylanishlar chastotasini pasayishida yonilg'i to'zitilishi, yonilg'ini havo bilan aralashishini yomonlashishi va yonish kamerasining o'ta quyuq



6.14-rasm. **To'rt taktli dizellar IG ning zaharliligiga yuklama (*a*) va aylanishlar chastotasining (*b*) ta'siri.**

aralashmali zonalarida hosil bo'ladigan qurum ortiqcha kislorod bo'lgan zonalarda kechroq bo'lishi va u yerda oksidlanishiga ulgurmasligi bilan tushuntiriladi.

Shuning uchun past aylanishlar chastotasi oralig'ida yonilg'i uzatishni cheklash, ya'ni yonilg'i uzatishni tezlik tavsifini mos holda tegishli tuzatish bilan ta'minlash kerak. Ayniqsa bosim ostida kiritiladigan dizel bilan jihozlangan avtomobilni tezlanish davrida, aralashmani qisqa vaqt davomida quyuqlashishi tufayli IG ni tutab chiqishi anchaga ortadi, ushbu vaqtda *CO*, *CH* va NO_x lar miqdori nisbatan oz miqdorda ortadi.

6.1.6. DIZELLARNING ISHLATILGAN GAZLARI ZAHARLILIGINI VA TUTAB CHIQISHINI KAMAYTIRISH

Dizellarning ekologik ko'rsatkichlarini yaxshilashdagi muhim ahamiyati va bir vaqtning o'zida qiyinchiliklari IG ning NO_x otqinini va tutab chiqishi (qattiq zarrachalar)ni kamaytirish bilan bog'liq.

IG zaharliligini va tutab chiqishini kamaytirish uchun quyidagi tadbirlar tavsiya etiladi.

Aralashma hosil qilish va yonish jarayonlarini takomillashtirish. Ushbu usulni afzalligi IG tutab chiqishi va ulardagi *CO* va *CH* miqdorlarni kamayishi bilan bir vaqtda dvigatelning quvvat va tejamkorlik ko'rsatkichlarini yaxshilanishi hisoblanadi. Biroq yonish jadalligi NO_x miqdorini ko'payishiga olib keladi. Dizelning IG zaharliligini kamaytirish uchun alangalanishni kechikish davrini qisqartirish va ushbu davrda yonilg'ining asosiy qismini purkash kerak, bunda yonishni ikkinchi faza davomida katta bo'lmagan tezlikda va yakunlovchi fazalarda iloji boricha yuqoriroq jadallikda ro'y berishiga intilish lozim.

IG zaharliligini sezilarli darajada kamayishini dizelda bosim ostida kiritishni qo'llash bilan aralashmani taxminan $\alpha_{min} = 2$ gacha suyuqlashishida olish mumkin.

Yonilg'i va qo'shilmalar. Yonilg'ining setan sonini ortishi zaharli tashkil etuvchilarni va tutab chiqishni hosil bo'lishiga murakkab tarzda ta'sir qiladigan alangalanishni kechikish davrini, bikrli ishlashini va yonishni eng yuqori bosimini kamaytiradi. Setan sonini kichik va o'rtacha yuklamalarda ortishi NO_x va CH otqinlarini kamayishiga, katta yuklamalarda esa (ayrim holatlarda) IG ni tutab chiqishini ko'payishiga yordam beradi.

Yonilg'ida yengil fraksiyalar qancha ko'p bo'lsa, uni bug'lanishi shuncha yaxshi bo'lib, yonish kamerasidagi aralashma tarkibini bir jinsliroq bo'lishiga, IG ni tutab chiqishini va ulardagi NO_x miqdorini kamayishiga olib keladi. Dizel yonilg'isiga, masalan bariy, marganes va tetraetilqo'rg'oshin asosidagi tutab chiqishga qarshi qo'shilmalaridan 1% gacha miqdorda qo'shilsa, katta yuklanishlarda IG ni tutab chiqishini va ulardagi aldegid va benzpirenlarni birmunchaga kamaytirishga imkon beradi.

Dizel yonilg'isiga qo'shilma sifatida spirtlardan foydalanilsa, bir vaqtning o'zida NO_x va CO otqinlarini kamayishi bilan birgalikda IG tutab chiqishini anchaga pasayishi kuzatiladi. Biroq bunda CH otqini yuqori darajada ko'payadi.

Gaz-dizel kam va o'rtacha yuklamalarda ishlaganda, ya'ni suyultirilgan gaz-havo aralashmasidan foydalanilganda CH va CO otqinlari ko'payadi. To'liq yuklamalarda NO_x otqinini ko'payishi kuzatilishi mumkin. Suyuq yonilg'ini zapal dozasini ortishida CH va NO_x otqinlar kamayadi. Gaz-dizelni tutab chiqishi dizelga nisbatan sezilarli darajada kam.

Dizelning texnik holati. IG ning tutab chiqishini va zaharliligini jadalligi yonilg'i uzatish apparatlarini texnik holatiga va rostlanishiga ko'proq bog'liq. To'zitkichdan yonilg'ini oqib tushishiga, purkashni boshlanish bosimini noto'g'ri rostlanishiga, to'zitkich ignasini osilib qolishiga va boshqalarga yo'l qo'yib bo'lmaydi.

To'zitkichning issiqlik holati katta ahamiyatga ega. To'zitkichni 180...200°C dan yuqori qizishi uni koksalanishiga, purkash tavsifini buzilishiga, ayrim to'zitish teshiklari orqali yonilg'i uzatilishini bir xilligini yomonlashishiga olib keladi. Bu holatda ishlatilgan gazlar tutab chiqishi va zaharliligi ko'payadi. Havo filtrni ifloslanishida yoki klapanlar zichligini yo'qolishida silindrlar to'lishini va kompressiyani kamayishi natijasida ishlatilgan gazlar zaharliligi ortishi mumkin. Yeyilgan dizelning silindr devori yaqini doirasiga moy zarrachalari tushib zaharliligi yuqori bo'lgan benzpirenni 8...10 martaga oshiradi. Dizeldan to'g'ri foydalanish, ya'ni uni yaxshi texnik holatda ushlab turish va IG ni tutab chiqishi va zaharliligini muntazam ravishda nazorat qilib turish bilan birgalikda yonilg'i apparati rostlanishini barqarorligini saqlash zaharli moddalarning umumiy otqinini 30...40% ga kamaytirishga imkon beradi.

IG ni retsirkulatsiyasi kichik va o'rtacha yuklamalarda samaraliroq hisoblanadi, lekin yonish kamerasi porshenda bo'lgan dizellarda samaradorlik ajratilgan kamerali dizellarga qaraganda yuqori bo'ladi. Katta yuklamalarda IG ni retsirkulatsiyalash indikator FIK ni kamaytiradi va CO otqinini

ko'paytiradi. NO_x ni chiqishini kamayishiga dizelning kiritish o'tkazuvchi quvuriga yoki silindriga suvni uzatish bilan ta'sir qilish IG ni retsirkulatsiyasiga o'xshash bo'ladi. Silindrga uzatishda suv yonilg'i bilan alohida-alohida yoki suv-yonilg'i emulsiyasi ko'rinishida purkalishi mumkin. 30% miqdorda (massa bo'yicha) suv qo'shilganda NO_x ning qiymati 2,5 martaga kamayadi. Bir vaqtning o'zida CO otqini va ishlatilgan gazlarni tutab chiqishi kamayadi. NO_x ni hosil bo'lishini yo'qotish uchun suvni qo'shish, uni muzlashi, zanglashi va ayrim detallarni yeyilishi mumkinligi bilan bog'liq bo'lgan qiyinchiliklarga olib keladi.

IG ni katalitik neytrallash. Oksidlovchi katalitik neytrallagichlarda dizelning IG oksidlanish reaksiyasi kechishini tezlashtiradigan, ya'ni CO va CH larni CO_2 va H_2O larga aylantiradigan katalizator qatlamidan o'tadi.

IG ni 300°C dan ortiq bo'lgan haroratida katalitik neytrallash natijasida CO ning miqdori 85...90%, CH esa — 75...80% ga kamayadi. IG ning past haroratida (300°C dan kam bo'lgan) katalitik neytrallagichlarni samaradorligi yuqori emas.

IG da kislorodni mavjud bo'lishi tufayli uch tashkil etuvchili katalitik neytrallagichni NO_x otqinini kamaytirish uchun foydalanishga imkoni yo'q.

Tozalagichlar (filtrlar), **qurum va qattiq zarrachalarning tutkichlari** dizelning IG ni tutab chiqishini kamaytiradigan samarali vosita hisoblanadi. Filtrlarda qurum va qattiq zarrachalar IG ni tozalash elementlari orqali o'tishida yoki ularni markazdan qochirma kuch ta'sirida mexanik ravishdagi yo'l bilan tutib qolinadi. Maxsus tutkichlarda markazdan qochma kuch ta'sirida mexanik ravishdagi usul bilan birgalikda elektrostatik maydon hosil qilinadi.

Filtrlarni qurumdan tozalash uchun uni kuydirishni ta'minlaydigan maxsus yondirgichlardan foydalaniladi.

6.2. DVIGATELLARNING AKUSTIK KO'RSATKICHLARI

6.2.1. ASOSIY TA'RIFLAR

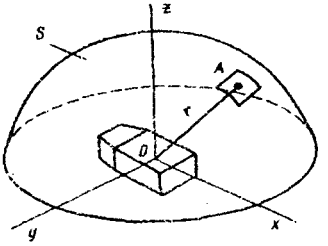
Avtomobillarni, IYOD bilan jihozlangan mashina va mexanizmlarni ko'chalarda, qurilish maydonlarida ko'p miqdorda to'planib qolishi shovqinni yuqoriligiga olib keladi, insonlarni ishlashiga va dam olishiga xalaqit qiladi. Shovqin eng avval IYOD li mashinalar boshqaruvchisini eshitish a'zolariga salbiy ta'sir qiladi, nerv tizimiga ta'sir qilish bilan asabni buzadi, ish unumdorligini kamaytiradi, foydali tovush ishoralarini, inson nutqini qabul qilishga xalaqit beradi.

Ish o'rni shovqini me'yorini mavjudligi, shuningdek, uni ishchi o'rinda to'g'ri baholanishi ham ishlayotgan dvigatel bilan aloqasi bo'lgan ishchilar mehnatini tashkil etishga asos bo'lib xizmat qiladi. Odatda, mashinaning tashqi va ichki shovqini me'yorlanadi. Mashinalar shovqinini ruxsat etilgan miqdorigacha kamaytirishni ma'lum an'anasi mavjud bo'lib, konstruktor tomonidan o'rnatilishi va foydalanishda shovqinni nurlanishga bo'lgan qobiliyati past darajada saqlanishi kerak. Shovqinning umumiy darajasi mashina

sifatini, ishlab chiqarish va qo'llaniladigan texnologiyani madaniy ko'rsatkichi bo'lib xizmat qiladi. Dvigatelning shovqinini ayrim tavsiflari diagnostik parametrlar sifatida foydalaniladi.

Ichki yonuv dvigatelining *shovqini* deb, ular ishlayotganda hosil qiladigan akustik nurlanishi tushuniladi. Dvigatel shovqini uning darajasi va spektri miqdori bilan o'lchanadi. Bu bo'shliq nuqtasidagi IYOD shovqinini tavsifi. Dvigatel akustik nurlanish manbayi sifatida nurlaydigan akustik quvvati, uni spektri va nurlanishni yo'nalish diagrammasi bilan tavsiflanadi.

Shovqin to'lqinida shovqinning bosimi p to'lqinni mavjudligidagi va mavjud bo'lmagandagi muhit bosimlari farqiga tengligi ma'lum. Shovqin darajasi deb tovush bosimini dastlabki qiymati $p = 2 \cdot 10^{-5} N/m^2$ ga nisbatini yigirma karralik logarifmiga aytiladi. Agar shovqin manbayi (dvigatel) 0 nuqtada joylashgan (6.15-rasm) va atrof bo'shlig'iga shovqinni nurlatadi deb faraz qilsak, u holda R radiusni yarim sferasi (doirasi) S ni va unda yuza birligi A ni ajratib, vaqt birligida r radiusga tik bo'lgan yuza birligi orqali o'tgan tovush energiyasini — tovush kuchi miqdori I ni aniqlash mumkin. Tovush kuchi Vt/m^2 da ifodalanadi; u tovush bosimini kvadratiga proporsional, shuning uchun shovqin darajasi ba'zan tovush kuchini dastlabki qiymati $I_0 = 10^{-12}$ (Vt/m^2) ga nisbatini o'nli logarifmi sifatida aniqlanadi.



6.15-rasm. **Yuza birligi orqali tovush o'tishi.**

Shovqin darajasi detsibellarda ifodalanadi, ya'ni

$$L = 10 \lg (I / I_0) = 20 \lg (p / p_0).$$

Dvigatelning *akustik quvvati* W deb, vatt da ifodalanadigan $W = \oint IdS$ miqdorga, ya'ni dvigatelni atrof bo'shlig'iga tovush ko'rinishida nurlaydigan va vaqt birligida radius r ni yarim sfera (doira) sathi orqali o'tgan energiyani umumiy miqdoriga aytiladi.

Akustik quvvat darajasi deb, $L_w = 10 \lg (W / W_0)$ miqdorga aytiladi, bu yerda $W_0 = 10^{-12} Vt$. Quvvat darajasi shovqin darajasi bilan quyidagi ifoda orqali bog'langan

$$L_w = L + 20 \lg R + 10 \lg \Omega - 10 \lg F,$$

bunda: Ω — nurlanish amalga oshadigan fazoviy burchak (dvigatelni nurlanishi yarim sferani (doirani) markazi 0 dan sodir bo'ladi deb, ilgari qabul qilingan yo'l qo'yish hisobga olinsa, u holda $10 \lg \Omega \approx 8$; $F - p_R^2 / p_{o'r}^2$); miqdor ko'rinishga ega bo'lgan nurlanishni yo'naltirilgan omili, ya'ni r radiusni yarim sferasi (doirasi)ni ihtiyoriy nuqtasidagi tovush bosimi kvadratini S sathni barcha nuqtalarida o'lchangan tovush bosimini o'rtachasini kvadratiga

bo'lgan nisbati. Odatda, asbobni chiziqli chastotali tavsifidan foydalanishda L miqdorni nuqtada shovqin o'lchagich yordamida o'lchanadi.

Shovqinni sonli baholanishini subyektiv qabul qilishga yaqinlashtirish maqsadida, turli chastotali tovushni inson qabul qilishini o'ziga xosligini hisobga oluvchi shovqin o'lchagichni chastotali tavsifi A ko'proq ishlatiladi. Ushbu holatda olingan miqdor dBA da ifodalanib, *tovush darajasi* deb ataladi. Akustik quvvat $W = 10^{0,1L_w-12}$ Vt ifoda bo'yicha va bu yerda keltirilgan ta'rif va bog'liqliklardan foydalanib hisoblanadi.

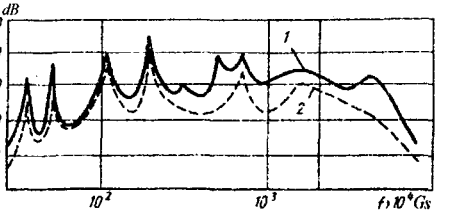
Ishlayotgan dvigatelda akustik nurlanishni ro'y berishining birinchi sababi dvigatel silindridagi ishchi jismga Q_1 issiqlikni berish bilan bog'liq bo'lgan ishchi jarayonni amalga oshirilishi hisoblanadi. IYOD konstruksiyalarini issiqlik energiyasi Q_1 ning bir qismini tovush nurlanishiga o'zgartirish qobiliyatini o'z ichiga oladigan sifatini taqqoslash uchun dvigatelni *akustik nurlanish koeffitsiyenti* $n_{ak} = W / Q_1$ dan foydalaniladi.

Agar dvigatellardan birini ushbu koeffitsiyenti yuqori bo'lsa, uning konstruksiyasini akustik tomonidan kam takomillashgan deb hisoblash kerak. Avtomobillarda va yo'l-qurilish mashinalarida qo'llaniladigan zamonaviy porshenli IYOD nominal rejimda ishlaganda 2...3 Vt miqdorida akustik quvvatni nurlatadi. Stendda ishlayotgan dvigatelning sathidan 1m masofadagi bo'shliq nuqtalarida 104 dan 120 dB gacha shovqin darajasi paydo bo'ladi.

Shovqinning eng muhim tavsifi bo'lib, uning spektri hisoblanadi. Bizning eshitish a'zoimiz amplitudasi bir xil bo'lgan turli chastotali tovushni turlicha his qiladi. Dvigatel shovqinini spektri nurlanish energiyasining chastota oralig'i bo'yicha taqsimlanishini ko'rsatadi. Dvigatellarning shovqin spektrlarida (6.16-rasm) aylanishlar chastotasiga, silindrlar soniga karrali bo'lgan diskret tashkil etuvchi va yaxlit soha ishtirok etadi. Shovqin quvvatini oktav spektrlari mashina shovqinini asosiy tavsifi bo'lib xizmat qiladi.

Dvigatelni akustik nurlanishi infratovush (20 Gs gacha) doirasida ham mavjud bo'lishi mumkin, biroq dvigatel nurlatadigan tovush energiyasini asosiy qismi ko'proq 20 dan 8000 Gs gacha doirada to'planadi.

Shovqinning foydali tavsifi bo'lib, *dvigatelning sath birligi beradigan tovush energiyasini miqdori xizmat qiladi.* Uning yordami bilan dvigatel konstruksiyasini, agregatlarini dvigatelga biriktirishni turli usullarini, qopqoqlar, tag tog'ora (poddon) lar konstruksiyasini baholash qulay hisoblanadi. Zamonaviy dvigatellarda tovush uzatilishini miqdori 95...110 dBA/m² oralig'ida yotadi.



6.16-rasm. **Dvigatel yon sathidan 1 m masofadagi bo'shliq nuqtasida** $n = 2000\ \text{min}^{-1}$, $p_e = 0,5MPa$ (1) bo'lganda va salt yurishda (2) dizelning shovqini.

Dvigatelning akustik balansi. Tovushni paydo bo'lishiga quyidagilar sabab bo'ladi:

— tebranayotgan jismni muhit bilan o'zaro ta'sirlanishi;

— muhitning so'nggi hajmida energiyani «tez» ajralishi;

— moddani so'nggi miqdorini muhitni so'nggi ma'lum doirasiga keltirish (oqishi);

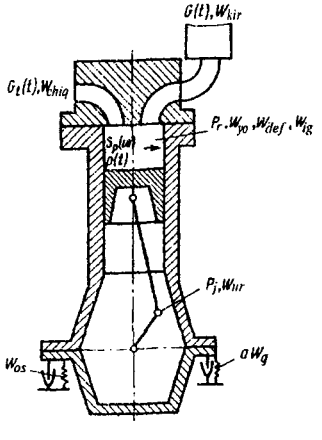
— modda oqimini qattiq jism bilan o'zaro ta'sirlanishi.

Ish siklini amalga oshishida xuddi shunday fizikaviy jarayonlar bir vaqtda yoki ketma-ket ro'y beradi. Bundagi barcha holatlarda akustik nurlanish tebranma tizimning g'alayonlanishini, unda tebranishlarni tarqalishini va tebranish energiyasini keyinchalik atrof bo'shlig'iga nurlanish jarayonini oqibati hisoblanadi. 6.17-rasmni ko'rib chiqamiz.

Kiritish taktida kiritish patrubkasining bo'g'zi oldidagi doiradan moddani oqimi sodir bo'ladi. Kiritish trakti bo'ylab harakatlanayotgan yangi zaryad devorlar, kiritish klapani va konstruksiyani boshqa qismlari bilan o'zaro ta'sirlanadi. Natijada kiritish taktida *kiritish shovqini* deb ataladigan nurlanish ro'y beradi. Bunda nurlaydigan akustik W_{kir} quvvat bilan belgilanadi.

Siqish, yonish va kengayishda yonish kamerasi devori shaklining o'zgarishi (deformatsiyalanishi)ni sodir bo'lishi dvigatelning tashqi devorini tebranishiga olib keladi. Devorlarning tebranma energiyasi atrof bo'shlig'iga tovush ko'rinishida W_{def} nurlanadi.

Bundan tashqari silindrdagi ishchi jismga issiqlik berilishida uni yonishi ham akustik nurlanish W_{yon} ni paydo bo'lishiga olib keladi. To'nkaruvchi moment osmalarda dvigatelni tebranishiga olib keladi, uni tovush ko'rinishidagi energiyasi W qisman atrof bo'shlig'iga nurlanadi.



6.17-rasm. **Dvigatel konstruksiyasini ideallashtirish va akustik nurlanishning paydo bo'lishi.**

Dvigatelning ishlash vaqtida uning mexanizmlaridagi birikuvchi detallarining urilishi paydo bo'lishi mumkin (klapan-uya), bu ham shovqin W_{ur} ni keltirib chiqaradi. Dvigatelda joylashtirilgan agregatlarini (shamol parrak, yonilg'i uzatuvchi nasos va boshqalar) ishlashi ham W_{ag} shovqinini paydo bo'lishiga olib keladi. Chiqarish paytida chiqarish patrubogiga tutashgan doirada modda oqimi sodir bo'ladi, bu yerda ham qandaydir energiya miqdori ajralib chiqadi. Bu chiqarish shovqini W_{chiq} ni paydo bo'lishiga olib keladi.

Agar barcha sanab o'tilgan akustik quvvatni tashkil etuvchilari qo'shilsa, u holda dvigatelni «ish sikli bo'yicha» uni shovqinini asosiy tashkil etuvchilarini akustik balansi olinadi:

$$W_d = W_{kir} + W_{chiq} + W_{def} + W_{yon} + W_{os} + W_{ur} + W_{ag}.$$

Akustik balansni boshqa ko'rinishidagi tenglamasi ham bo'lishi mumkin. Barcha hollarda ham dvigatelning akustik nurlanishi kiritish va chiqarish traktlarini bo'g'izlari, shuningdek, dvigatelning hamma sathlari bilan ham amalga oshishi mumkin. Tajribalarni ko'rsatishiga qaraganda dvigatel elementlarini sathlari turli miqdordagi akustik energiyani nurlaydi. Dvigatelning sathida ahamiyatli doiralarni yoki ayrim detallar sathlarini (qopqoqlar, silindrlar bloki kallagi, poddon, karter) ajratib, so'ngra barcha sathlar nurlanishini akustik quvvatlarini qo'shib, «sath bo'yicha» dvigatelning akustik balansi tenglamasini yozamiz:

$$W_d = W_{kir} + W_{chiq} + \sum_{i=1}^{m} W_i,$$

bunda: W_i — dvigatelning sathini i — elementi amalga oshiradigan akustik nurlanishi; m — dvigatelning barcha sathini bo'lingan bo'laklaridagi elementlari soni. Ish jarayonini tashkil etishni o'ziga xosligiga bog'liq akustik nurlanishi ko'pincha nolinchi va birinchi tartibli oddiy nur tarqatkichlar ta'siri bilan aynan mos keladi (yuqoriroq tartibli nur tarqatkichlarni ta'siri kam bo'lganligi uchun ular hisobga olinmaydi). Shunday qilib, «nur tarqatkich bo'yicha» dvigatelning akustik balansini uchinchi ko'rinishi mavjud yoki

$$W_d = \sum_{l}^{k} W_0 + \sum_{i=1}^{l} W_i,$$

bunda: W_0 — nolinchi tartiblining nurlanishi; k — nolinchi tartibli nur tarqatuvchilar soni; l — birinchi tartibli nur tarqatuvchilar soni.

Dvigatelning turli modellarini akustik balansini tuzish dvigatel shovqinini jiddiy tashkil etuvchisini aniqlashga, sodir bo'lish sababini ko'rsatishga, shakllanish jarayonini o'rganishga, dvigatel shovqinini kamaytirishni eng ratsional yo'lini topishga imkon beradi.

6.2.2. DVIGATEL SHOVQINI HOSIL BO'LISHINING FIZIK-MATEMATIK MODELI

Akustik nurlanish manbalari dvigatelning barcha shovqin manbalari kiritilishi mumkin bo'lgan, oddiy fizik modellardan foydalanish bilan tadqiqot qilinishi mumkin. Modelning asosiy tarkibiy qismi bo'lib tebranish energiyasini o'tkazadigan muhit, shuningdek, atrof bo'shlig'iga energiyani nur tarqatuvchisi bo'lib hisoblanadigan tebranadigan substansiya ham hisoblanadi. Ushbu modellarning asosiy farqi, birinchi holatda o'tkazuvchi muhit bir vaqtning o'zida substansiya, uning tebranishi akustik energiyani

nur tarqatuvchisi bo'lib ham hisoblanadi, boshqa holatda esa — tebranish energiyasini deyarli nurlatmaydi, uni faqat kuchli nur tarqatkich bo'lib hisoblanadigan boshqa tarkibiy qismiga uzatadigan dvigatel konstruksiyasining qismi ajratiladi.

Birinchi modeldan foydalanib (6.18-a rasm) korpus detallari hosil qiladigan akustik nurlanishni o'rganish bilan bog'liq bo'lgan masalalar hal qilinadi. Ikkinchisiga (6.18-b rasm) dvigatel tarkibiy qismlariga yoki agregatlariga tayanchlar bog'liqligi orqali g'alayonlanish uzatilgan holatda ularning akustik energiya nurlanishi bilan bog'liq bo'lgan masalalarni rasmiylashtirish kiritiladi.

Chastota usuliga muvofiq akustik nurlanishni uchta chastota — bog'liqlik majmuasi miqdorlarining ko'paytmasining natijasi sifatida rasmiy ko'rinishida yozish mumkin:

$$S_F(i\omega)\,\Pi(i\omega)\,Z(i\omega) = p(i\omega); \qquad (6.1)$$

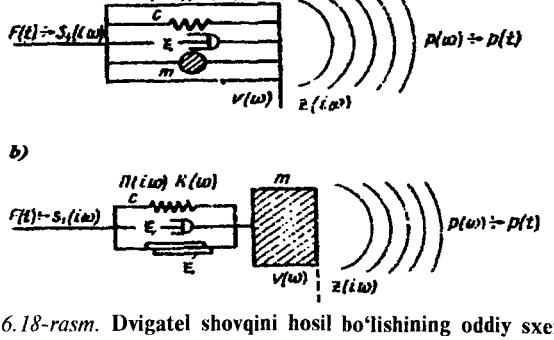
$$p(i\omega) = \frac{1}{t}\int_0^t p(t)\,e^{-iwt}\,dt,$$

bunda: $S_F(i\omega)$ — nur tarqatkichga ta'sir qiluvchi kuch omillarini spektral zichligi; $\Pi(i\omega)$ — nur tarqatkichni tebranma tizimini uzatma funksiyasi; $Z(i\omega)$ — nurlanishning qarshilik koeffitsiyenti; $p(i\omega)$ — tovush maydonini berilgan nuqtasidagi tovush bosimini spektral zichligi; $p(t)$ — o'lcham to'lqinida tovush bosimini vaqt bo'yicha o'zgarishi.

Kuchni spektral zichligi $S_F(i\omega)$ ta'sir qiluvchi kuch $F(t)$ dan Fureni bevosita integral o'zgartirish natijasi sifatida olinadi:

$$S_F(i\omega) = \int_0^{\omega} F(t)e^{-iwt}\,dt.$$

Integrallash oralig'i sifatida kuchning ta'sirini boshlanish vaqti $t_0 = 0$ va kuchning ta'sirini tugash vaqti t olinishi mumkin. $F(t) = 0$ bo'lganda $S_F(i\omega) = 0$ deb faraz qilinadi. Bu shart jarayonning haqiqiy rivojlanishini



6.18-rasm. **Dvigatel shovqini hosil bo'lishining oddiy sxemasi.**

aks ettirishi mumkin yoki yechiladigan masala shartiga sun'iy ravishda qo'yilishi mumkin. Funksiya spektrini matematik aniqlash cheksiz oraliqda integrallashni amalga oshirishni talab qiladi. Spektral o'zgartirishni chiziqliligini, shuningdek, dvigatel va uning agregatlarini ish jarayoni so'nggi vaqt oralig'ida amalga oshirilishi, ulardan tashqarida kuchlar ta'siri nolga teng bo'lishi mumkinligini e'tiborga olib, integrallashni cheksiz oralig'ini so'nggilari bilan almashtirish to'g'ri deb hisoblanadi. Aniq masalalarda ushbu holat tahliliga, shuningdek, integral osti funksiyasini va boshqalar mosligi va juftliligi (toqligi) kabi savollarni tadqiqotiga e'tibor qilish kerak.

$S_F(i\omega)$ funksiya spektrdagi amplitudali va fazoviy nisbatlar to'g'risidagi ma'lumotlarni ham o'z ichiga oladi. Texnik masalalarning ko'pchiligida fazoviy tavsif muhim emas va spektr moduliga $|S_F(i\omega)|$ ega bo'lish yetarli hisoblanadi. Bu miqdorni chiziqli tasvirini ko'pincha funksiya $F(t)$ ni spektri deb atashadi va uning tahliliga, asosan, funksiya $F(t)$ ni xususiyati xususan uning moddiy jismlar tebranma harakatini va muvofiq keladigan akustik nurlanishini keltirib chiqaradigan qobiliyati to'g'risida mulohaza yuritiladi. Bunda spektral zichlik miqdori, jarayonning energiyasi va uni spektr bo'ylab taqsimlanishi muhim ahamiyatga ega bo'ladi. Spektral zichlik miqdori cheksiz kichik amplituda $da = (1/\pi) S_F(i\omega) d\omega$ bilan xarakterlanadi. Jarayonning energiyasi quyidagi ifoda bilan baholanadi:

$$A = \sum_{0}^{\Delta\omega} |S(i\omega)|^2 d\omega = \int_{0}^{\Delta t} F^2(t) dt.$$

Ushbu tenglik *Reyl teoremasi* deb ataladi: jarayon energiyasi $F(t)$ Δt vaqtda 0 dan $\Delta\omega$ gacha oralig'ida hisoblangan spektr moduli kvadratini integraliga teng. Texnik masalalarni yechish ko'pincha kuch impulsi davomiyligi Δt ni va spektr kengligi $\Delta\omega$ ni aniqlanishini zarurligi bilan bog'liqligini aytib o'tish kerak. Bu holatda A miqdor ko'rilgan bog'liqlik bilan integrallash oralig'ini mos holda cheksizlikka almashtirilib hisoblanadigan jarayonning to'liq energiyasining bir qismini o'z ichiga olishini ko'rsatadi. Bunday yondashishda $\Delta t \Delta\omega = const$ bo'lishini ko'rsatish mumkin, ya'ni kuch impulsi ta'siri davomiyligini uning spektrini kengligiga bo'lgan ko'paytmasi o'zgarmas miqdor bo'ladi.

Bu yerda keltirilgan ta'rif dvigatel agregatlarida ish jarayonlarni amalga oshirishda dvigatelda paydo bo'ladigan kuchlarni tadqiqot qilishda foydalaniladi. Ular eng kam akustik nurlanishni ta'minlaydigan ish jarayonlarini amalga oshirish sharoitini ta'riflash uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Kuch impulsi davomiyligini uning spektri kengligiga bo'lgan ko'paytmasi $(\Delta t \Delta\omega)_{\min} = const$ ni eng kam bo'lgandagi sharoiti umumiy holat bo'ladi. Shunday qilib, dvigatel shovqinini pasaytirish uchun $(\Delta t \Delta\omega)_{\min} \to \min$ sharoitni yuzaga keltiradigan kuchlarni detallarga ta'sir qilishiga intilish kerak.

(6.1) ko'paytmadagi ikkinchi ko'paytuvchi $\Pi(i\omega)$ — tebranma tizimni uzatish funksiyasi, u tebranma tezlik spektrini uning g'alayonlanishga keltirganiga bo'lgan nisbati ko'rinishiga ega, ya'ni $\Pi(i\omega) = V(i\omega) / S_F(i\omega)$. Uzatish funksiyasi umumiy ko'rinishda faqat tebranma tizim xususiyati bilan aniqlanadi: inersionligi, elastikligi, dissipativligi.Ayrim masalalarda tebranma tizimning akustik aks sadosi (tovush bosimi spektri)ni uni keltirib chiqargan kuch ta'sirini nisbatiga teng bo'lgan umumlashgan uzatish funksiyasi $\Pi^*(i\omega)$ tushunchasidan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi:

$$\Pi^*(i\omega) - p(i\omega) / S_F(i\omega) = \Pi(i\omega) Z(i\omega).$$

Bu holatda $\Pi^*(i\omega)$ funksiya tebranma tizimning tebranish energiyasini atrof-muhitga berish qobiliyatini ham ta'riflaydi.

6.2.3. DVIGATELLAR SHOVQININI PASAYTIRISH

Nazariy dastlabki shart. Abadiy dvigatel qurish mumkin bo'lmaganidek, shovqinsiz dvigatelni ham barpo (tayyorlash) qilish mumkin emas. Biroq iloji boricha eng kam akustik nurlanishga ega bo'lgan IYOD ni konstruksiyalash to'g'risida masalani qo'yish qonuniy hisoblanadi. Qo'yilgan masalani amalga oshirish uchun avval ushbu maqsadda titrash izolatsiyasi va titrash yutilishi, tovush izolatsiyasi va tovush yutilishi ishlatilishini ko'rib chiqish kerak. Bu usullar va vositalar majmuasi, ulardan oqilona foydalanish dvigatel shovqinini kamaytirishga olib keladi. IYOD ni konstruksiyalashda shovqinni kamaytirish maqsadida eng kam akustik nurla-nishni ta'minlaydigan IYOD konstruksiyasini va ish jarayonlarini tashkil qilishdan ham foydalanish mumkin va zarur.

Titrashni izolatsialash (*TI*) va titrashni yutish (*TYU*). Shovqin energiyasini paydo bo'lish manbayidan uni nurlatuvchi elementgacha uzatish har doim dvigatel detallari orqali sodir bo'ladi.

Shovqin titrog'i darajasini kamaytirish uchun IYOD da qo'llaniladigan vositalar nurlanadigan energiya miqdoriga ikki yo'l bilan ta'sir qilishi mumkin: birinchidan, tebranma harakat energiyasini konstruksiya bo'yicha tarqalishiga to'sqinlik qilish (titrash izolatsiyasi), ikkinchidan tebranma harakat energiyasini tarqalish yo'lida yutilishi (titrashni yutish) bilan. Tovush oralig'idagi chastotalarda tebranma energiya elastik bo'ylama, egiluvchi va siljiydigan to'lqinlar ko'rinishida konstruksiya elementlari bo'ylab uzatiladi.

IYOD elementlari uchun xarakterli bo'lgani ish yuklamasi oralig'ida deformatsiya ta'sir qiluvchi kuchlanishga proporsionalligi (deformatsiya jarayonini chiziqliligi)dir. Mashinasozlik konstruksiyalarini turli usullarda biriktirilishida to'lqinning oddiy elementlar (sterjenlar, plastinalar) bo'ylab tarqalishida uning xususiyati va tavsifi adabiyot manbalarida yetarlicha to'liq yoritilgan. Bu yerda faqat konstruksiya (impendans)ning mexanikaviy qarshiligini aniqlanishiga

to'xtab o'tamiz. IYOD va uning agregatlarida nuqtaga chiziq bo'yicha yoki sath bo'yicha qo'yilgan kuch bilan konstruksiyani qo'zg'atish juda keng tarqalgan. Bunday ko'rinishdagi masalalarda uyg'otish manbayidan konstruksiyaga uzatiladigan va unda titrash ko'rinishida tarqaladigan haqiqiy miqdor bo'lib ko'pincha quvvat hisoblanadi. Konstruksiya qabul qiladigan tebranma quvvat miqdori uyg'otuvchi kuchga nisbatan uni mexanik qarshiligiga bog'liq.

Konstruksiyani mexanik qarshiligi (impedans) ω chastotada quyidagiga teng:

$$Z_m = i\left[\omega m - K_F / \omega\right] + R_F.$$

Bu yerda uyg'otuvchi F kuch bilan tebranma jarayonga keltirilgan m massali konstruksiya inersionligi tufayli am (inersion qarshilik) kuch bilan uyg'otishga qarshi ta'sir qiladi deb qabul qilingan. Bir vaqtning o'zida uyg'otiladigan konstruksiya K_F elastiklikka va mos keladigan elastiklik qarshilikka ega bo'ladi. Bundan tashqari, konstruksiya tebranish energiyasini yutish qobiliyatiga ham ega, ushbu holatda qarshi ta'sir qiladigan kuch $\dot{a}R_F$ ga (aktiv mexnik qarshilik) to'g'ri proporsional bo'ladi.

Mexanik qarshilikning haqiqiy qismi aktiv mexanik qarshilik ko'rinishiga, mavhum qismi esa — inersion va elastiklikka ega.

Manbadan uyg'otiladigan konstruksiyaga uzatiladigan quvvat W vaqt bo'yicha $F\dot{a}$ vektorning (Umov vektori) o'rtacha miqdori bilan aniqlanishini ko'rsatib o'tish kerak:

$$W = \frac{1}{T}\int_0^T F(t)\,\dot{a}dt.$$

Agar F kuch garmonikli bo'lsa, u holda $W = F^2\left(\cos\varphi / 2\right)$ bo'ladi, bunda: F — kuchni amplitudali miqdori; φ — uyg'otuvchi F kuch va kuch qo'yilgan nuqtaning tebranma tezligi orasidagi siljish fazasi.

Tarifdan va oddiy nisbatdan kelib chiqqan holda, manbadan uyg'otiladigan konstruksiyaga tushadigan tebranma energiya va uni uyg'otadigan kuch mexanik qarshilikni aktiv tashkil etuvchisi ta'siridan kamayadi. $\varphi \pm \pi / 2$ ga qancha yaqin bo'lsa, W miqdor shuncha kam bo'lishini ko'rsatib o'tamiz. $\varphi = \pm\pi / 2$ tenglik $R = 0$ bo'lganda bo'lishi mumkin, ya'ni uyg'otiladigan mexanik tizimda tebranma energiyani yutilishi mavjud bo'lmagan holatda, bu amaliy jihatdan mumkin emas.

IYOD konstruksiyasini titrashdan izolatsiyalash xususiyatlarini tahlil qilishda, ya'ni unda titrashning tarqalishini o'rganishda, uning plastina va sterjenlarni muhim tartibda o'zaro birikkan majmua sifatida ko'rib chiqish qabul qilingan.

Qandaydir to'siq birikmasini tebranish (titrash) izolatsiyasini aniqlanishini quidagi ko'rinishi keng tarqalgan

$$TI = 10 \lg \frac{W_{ber}}{W_{o'tt}},$$

bunda: W_{ber} — beriladigan (tushadigan) energiya; $W_{o'tt}$ — o'tgan energiya.

Monoxromatik elastik to'lqin uchun elastik to'lqinni $t = W_{o'tt} / W_{ber}$ o'tish koeffitsiyentidan foydalanib, quyidagini olish mumkin:

$$TI = 10 \lg \frac{1}{t}.$$

Tebranma tizimlardagi titrash yutilishini energiyaning yo'qolish koeffitsiyenti $\eta = \omega R / c$ yordamida baholash qabul qilingan.

Massasi m, bikrligi c va ichki yo'qotilishi R bo'lgan oddiy tebranma tizimda garmonik kuch ta'sir qilganda yarim davrda quyidagi energiya sochiladi:

$$W_0 = 0,5\pi a^2 c\eta.$$

Agar tizimning eng yuqori potensial energiyasini $W_p = ca^2 / 2$ ga tengligi hisobga olinsa, u holda isrof koeffitsiyenti $\eta = W_0 / (\pi W_p)$ ga teng bo'ladi.

Tebranishni so'nish dekrementi $d = W_0 / W_p = \pi\eta$ ga tengligini eslatib o'tamiz, ya'ni tizimda yutiladigan energiyaning tizimdagi potensial energiyani eng katta qiymatiga bo'lgan nisbatini ko'rsatadi.

Tizimni rezonanslanishida tebranishli siljish miqdori, odatda, isrof koeffitsiyentiga teskari proporsional bo'ladi. Rezonansdan tashqarida ushbu qiymatlarning biri boshqasiga kam bog'liqlikka ega bo'ladi. Agar uni tayyorlash uchun ichki ishqalanishi ko'p bo'lgan ashyodan foydalanilsa yoki yuqori darajada isrof koeffitsiyentiga ega bo'lgan maxsus qoplama qo'llanilsa, konstruksiya ko'p titrashni yutish xususiyatiga ega bo'ladi.

Ashyoni mustahkamligi va tebranish energiyasini yutish qobiliyati kabi ikki sifatini bir vaqtdagi tavsifi uchun Yungni majmua moduli qo'llaniladi $E = E_0 (1 + i\eta)$.

Tovush izolatsiyasi (*TI*) va tovush yutish (*TYU*).

Tovush izolatsiyasi deganda, qabul qiluvchiga tushayotgan tovush to'lqinlarini uzatish yo'lida to'siqdan qaytishi oqibatida tovush (shovqin) darajasini pasayishi tushuniladi. Tovush izolatsiyalanishini samarasi tovush to'lqinini ikki xil muhitni ajralish chegarasi orqali o'tishida har doim ro'y beradi. To'lqinlarning qaytarilish energiyasi qancha ko'p bo'lsa, o'tgan energiya shuncha kam va demak, muhitlar ajralishi chegarasining tovushlarni izolatsiyalash qobiliyati shuncha ko'p bo'ladi. To'siq bilan tovush energiyasini qancha ko'p qismi yutilsa, uning tovush yutish qobiliyati shuncha yuqori bo'ladi.

To'siqning tovushni izolatsiyalash qobiliyatini tavsifi bo'lib, cheksiz to'siqning ikki tomoni bo'yicha L_0 va L_1 darajalar farqi xizmat qiladi va $TI = L_0 - L_1 = 20 \lg (p_0 / p_1)$. Tovushning pasayishi me'yorida bo'lganda tovush izolasiyasini miqdori faqat plastinani sath birligidagi massasi bilan

aniqlanadi va tovushni izolatsiyalaydigan to'siqni boshqa tavsiflariga bog'liq bo'lmaydi. Ushbu bog'liqlik massa qonuni deb ataladi:

$$TI = 20 \lg (\omega m / \rho c).$$

IYOD shovqinini eng ko'p pasayishiga faqat uni ishlab chiqish jarayonida (konstruksiyasi va ishchi jarayoniga) tegishli yechim qabul qilingan holatida erishish mumkin.

Turli ekranlar, kapotlar va pistonlardan foydalanish ishlab chiqarishda va ishlatishda qo'shimcha sarflar va ayrim hollarda esa yonilg'i tejamkorligini yomonlashishi bilan bog'liq bo'ladi. Shuning uchun ular dvigatelning konstruksiyasi eng maqbul akustik ko'rsatkichlariga muvofiq kelganida va eng kam akustik nurlanishni ta'minlagan holatida maqsadga muvofiq deb hisoblanadi.

Porshenli ichki yonuv dvigatelida amalga oshiriladigan termodinamik sikllar, eng kam akustik nurlanish bo'yicha gazlarning bosim kuchi spektri chegarasini belgilaydigan siqish jarayonini o'z ichiga oladi. Agar keyinchalik taqqoslashlardagi aniqlik uchun spektr zichligi $10 MPa \cdot s$ ga mos keladigan chastotagacha spektr kengligi qabul qilinsa, u holda buralishda kuch impulsining kengligi (Gs) son jihatidan valni aylanishlar chastotasini choragiga teng bo'ladi. Spektrning bu kengligi eng kam kenglik hisoblanadi, ishchi jismga issiqlik berish bilan bog'liq bo'lgan impuls shaklini har qanday buzilishi ta'sir qiluvchi kuch spektrini kengayishiga olib keladi, bu spektrni kengayish darajasi ρ bilan baholanishi mumkin:

$$\rho = \Delta f_c / \Delta f_{pr} = 4\Delta f_c / n.$$

Ta'sir qiluvchi kuch spektrini har qanday kengayishi har doim yonishdagi shovqinni ko'payishi bilan bog'liq. Ishchi jismga issiqlik berishning ko'p qonunlaridan $\rho \rightarrow \min$ shartini qoniqtiradigani maqbuli hisoblanadi. Issiqlik berishning bunday qonunlarini majmuasi har doim mavjud bo'ladi.

Porshendagi yonish kamerasi yarim doira shaklida bo'lgan dizelda olib borilgan ko'p izlanishlar tejamkorligi deyarli bir xil bo'lgan, biroq yonishda shovqinning turli darajada bo'ladigan ishchi sikllarini amalga oshirish mumkinligini ko'rsatdi:

Porshenli IYOD ishlab chiqishda ko'pincha indikator diagrammaning spektrlarini va uzatma funksiyasini hisobli va ushbu asosda dvigatel nurlatadigan akustik quvvatni ham baholash zarurati tug'iladi. Bunday baholash *dvigatelning akustik hisobi* deb ataladi. Hisoblash yo'li bilan dvigatelning akustik balansini barcha asosiy tashkil etuvchilarini olish mumkin. Tabiiyki,

L_w, dBA.....	105	100	95
g_i	130...131	131...132	132...133

bunda akustik nurlanishni paydo bo'lish mexanizmi to'g'risida qandaydir ideallashtirilgan tasavvurdan foydalaniladi. Masalan, yonish jarayonidagi

shovqin, silindrdagi bosim impulslarini silindrning korpus elementlarini konstruksiyasi bo'lgan mexanikaviy tebranma tizimga ta'sir qilishning oqibati hisoblanadi.

IYOD akustik hisobi umumiy ko'rinishda quyidagilarni o'z ichiga oladi:

— ishchi jarayonlar yoki g'alayonlovchi omillarni modellash asosida indikator diagrammalar spektrlarini va darajalarining hisobini;

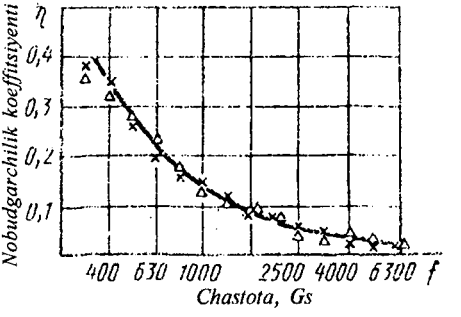
— dvigatelning umumlashtirilgan akustik xususiy tavsifini yoki tovush o'tkazuvchi tuzilmasini aniqlashni;

— dvigatelning akustik balansini tashkil etuvchilari bo'yicha akustik quvvat spektrlari va darajasi hisobini.

Ishchi siklning modellashtirish tirsakli valning burilish burchagi bo'yicha uning parametrlarini qadamli aniqlash bilan yoki indikator diagramma turli qismlarini (siqish, yonish, kengayish) yoritadigan analitik funksiyalardan foydalanib amalga oshirish mumkin.

Uzatish funksiyasini modellashtirishda uning umumiyroq bo'lgan qonuniyati ko'rib chiqilayotgan dvigatelni silindrsimon qobig'ini ekvivalent deb tasavvur qilinishida, massasi, tashqi sathining yuzasi, uzunligi, Puasson koeffitsiyenti, Yung moduli va ashyosining zichligi ko'rib chiqilayotgan dvigatel kabi bo'lganida aniqlanishi mumkin. Izlanayotgan funksiya akustik nurlanishning tovush quvvatini gazlarning bosim kuchini kvadratiga bo'lgan nisbati ko'rinishiga ega.

Ayrim hollarda silindrsimon qobiq o'rniga har biri mustaqil tebranma tizimga ekvivalent bo'lgan qobiqlar majmuasi qabul qilinadi, masalan, karterga va blokka. Bunday yondashishda blok-karter elementlarining uzatish funksiyalarini yig'indisi sifatida tasavvur qilinadigan dvigatelning uzatish funksiyasining yetarlicha aniq yoritiladi. Akustik hisoblashlarni bajarishda va ekvivalent bo'lgan hisoblash sxemalarini tuzishda, xususan yuza, uzunlik, massa, fizik konstantlar kabi dvigatelning ayrim tavsiflari to'g'risidagi ma'lumot kerak bo'ladi. Geometrik parametrlarni va ular orqali aniqlanadigan fizikaviy konstantlarni aniqlash uchun ko'pincha loyiha yechimlaridan foydalaniladi. Ba'zan ushbu maqsadlar uchun statik ma'lumotlardan foydalaniladi. Massalarni *Ne*, *i*, *D*, $K = S/D$, *n*, *E* larga bog'liqlik statik ma'lumotlari keltirilgan ko'p miqdordagi ishlar mavjud. Isrof koeffitsiyenti kabi fizik konstantni aniqlash masalasi qiyin hal bo'ladi. Uni aniqlash maqsadida 6.19-rasmda keltirilgan bog'liqlikni bergan ko'p sonli tajribalar o'tkazilgan.



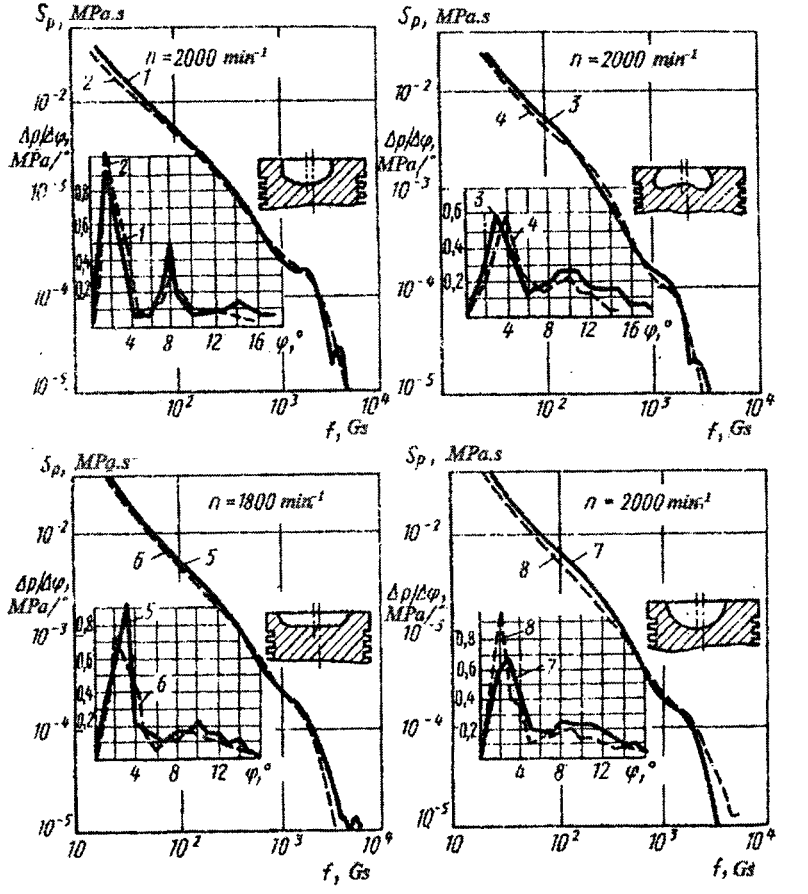
6.19-rasm. **Dvigatel konstruksiyasidagi nobudgarchilik koeffitsiyentining chastotaga bog'liqligi:** x-4CH 7,6/8 (VAZ-341) dvigateli; Δ-4CH 8,2/7 (AZLK) dvigateli; — - — approksimirlovchi egri chiziq.

Olingan ma'lumotlar dvigatel

konstruksiyasini birikkan elementlari orasidagi konstruksion ishqalanishni isrof koeffitsiyentiga hal qiluvchi bo'lib ta'sir qilishi va uni ashyodagi ichki yo'qolish miqdoriga kam bog'liqligi to'g'risida guvohlik berishini ko'rsatib o'tish kerak.

Krivoship — shatun mexanizmi va gaz taqsimlash mexanizmida, dizelning yonilg'i uzatish tizimini ishlashida mexanik zarbalarni paydo bo'lishidagi shovqinni analitik baholash masalalari uslubiy jihatdan bir xil hal qilinadi.

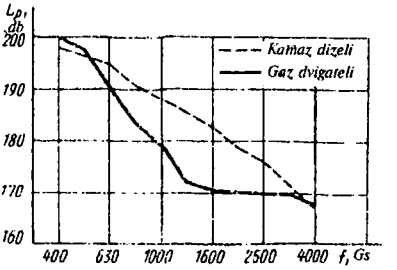
6.20-rasmda turli usulda aralashma hosil qilinadigan va ishchi jarayoniga ma'lum bo'lgan turli usullarda ta'sir etilishida dvigatellarni olingan indikator diagrammalarini spektrlari keltirilgan. Ishchi jarayonni tashkil etish usullarini keng variatsiyasida spektrlar kengligi 2...6 oktav oralig'ida o'zgaradi. Bunday



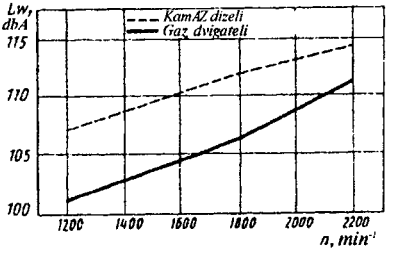
6.20-rasm. **Turli yonish kamerali dizelning indikator diagrammalari spektrlari:**
1 – $P_e = 0,675 MPa$; 2 – $P_e = 0,411 MPa$; 3 – $P_e = 0,532 MPa$;
4 – $P_e = 0,372 MPa$; 5 – $P_e = 0,601 MPa$; 6 – $P_e = 0,412 MPa$;
7 – $P_e = 0,548 MPa$; 8 – $P_e = 0,385 MPa$.

oraliq juda keng oraliq bo'lib hisoblanadi.

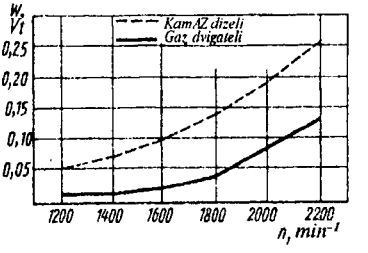
Dizellarning indikator diagrammalarining spektrlari karbyuratorli dvigatellarga qaraganda keng. Benzinli dvigatellarning siqish darajasini oshirish tendensiyasi spektr kengligini va yonish shovqinini ko'paytiradi. Tajribalarda dizellarni gazsimon yonilg'iga o'tkazilishi yonish shovqinining pasayishini kuchli vositasi hisoblanishi ko'rsatilgan. KamAZ dizelida yonilg'i sifatida siqilgan tabiiy gazni ishlatish an'anaviy ishchi jarayonini spektriga qaraganda spektri uch oktavaga tor bo'lgan indikator diagrammali ishchi jarayonni olishga imkon berdi (6.21-rasm). Bunda dvigatelning umumiy shovqini deyarli barcha tezlik va yuklama rejimlarida 6...10 dBA ga pasaygan (6.22, 6.23-rasmlar).



6.21-rasm. $n = 2200 min^{-1}$ **bo'lganda KamAZ dvigateli indikator diagrammalarining spektrlari.**



6.22-rasm. **KamAZ dvigateli tovush quvvatining umumiy darajasi.**



6.23-rasm. **KamAZ dvigatellarining akustik quvvati.**

Bu aralashma hosil qilishning an'anaviy usullarini gazsimon yonilg'idagi ishchi jarayonlari bilan birgalikda foydalanish bilan ishchi jarayonni tashkil qilish usuli kelajak IYOD da yuqori yonilg'i tejamkorligida va zaharlilik tavsifi bo'yicha talablarni bajarishda shovqin me'yorini ta'minlash uchun keng imkon berishini ko'rsatadi.

VII BOB
DVIGATELLARNING TAVSIFLARI. IYOD BOSHQARISH TIZIMLARINING MAJMUASI

7.1. UMUMIY MA'LUMOT

Avtomobil dvigatellari tezlik va yuklama rejimlarining keng oralig'ida, shuningdek, ularning tez-tez o'zgarib turish sharoitida ham ishlaydi. Dvigatelning ishlash *rejimi* deganda, uning ma'lum quvvat, tejamkorlik va ekologik ko'rsatkichlarini ta'minlaydigan ishchi jarayoni parametrlarini, tashqi muhit va tashqi yuklama omillarining ma'lum majmuasi tushuniladi.

Dvigatelning tavsiflari uning ko'rsatkichlarini bir yoki bir nechta rejimlari (n, N_e, p_e, η_v, G_{syo} va boshqa) yoki rostlanishlaridagi (α, $\varphi_{o'.il}$, $\varphi_{p.il}$, p_k va boshqa) parametrlariga, boshqa ayrim parametrlarini doimiyligida bog'liqligini ifodalaydi. Dvigatelning tavsiflari bo'yicha uning foydalanish sifati, konstruktiv takomillashganlik darajasi, ishchi jarayonini me'yoriga yetkazishda dvigatelga kiritiladigan o'zgartirishlarni samaradorligi, rostlashni to'g'rililigi, shuningdek, dvigatelni u yoki bu vazifasiga muvofiq kelishi ham baholanadi.

Dvigatelning tavsifi, odatda, barqarorlashgan rejimlarda (BR) aniqlanadi, ularning asosiy belgilari rejimlarni xarakterlaydigan parametrlaridan har birining miqdori vaqt bo'yicha o'zgarmas bo'lib qolishi hisoblanadi. Ularning doimiyligini baholashda dvigatel ishlashini sikllik xususiyati (ya'ni ishchi sikl davomida parametrlarni o'zgarib turishi), shuningdek, sikllarni o'xshamasligini keltirib chiqargan sikldan siklga tasodifiy og'ishlar ham e'tiborga olinmaydi.

Barqarorlashgan rejimlar dvigatel (N_e) va iste'molchi (N_q)quvvatlarining tengligini, shuningdek, ularning vaqt bo'yicha doimiyligini tavsiflaydi, ya'ni

$$N_e - N_q = 0;\ \frac{dN_e}{d\tau} = \frac{dN_q}{d\tau} = 0;\ \ldots \qquad (7.1)$$

Salt yurish rejimi uchun barqarorlashgan rejim indikator quvvat va mexanik isroflar quvvatini tengligi bilan aniqlanadi.

Sovitish suyuqligi va moy haroratlarini dvigatelning texnik talablarida ko'rsatilgan miqdorlarida ta'minlab turish ham barqarorlashgan rejimni zaruriy shartlari hisoblanadi.

Tavsiflar tajriba usuli bilan dvigatelning barcha rejimlarida uning yuklanishiga va erishgan quvvatini yutilishiga imkon beradigan maxsus stendlarda aniqlanadi. Dvigatelni yuklaydigan va uning energiyasini yutadigan tuzilma *tormoz* deb ataladi. Stend dvigatelning asosiy ko'rsatkichlarini va uning ish rejimlari parametrlarini o'lchaydigan vositalar bilan jihozlangan.

Stend sharoitida sinash usullari standartlarda bayon qilingan.

7.2. ROSTLASH TAVSIFLARI

Rostlash tavsiflari deb, dvigatelning asosiy ko'rsatkichlarini tirsakli valning o'zgarmas aylanishlar chastotasida (n = const) bir yoki bir nechta rostlash parametrlari miqdoriga bog'liqligiga aytiladi.

Bir nechta tezlik va yuklama rejimlarida aniqlangan rostlash tavsiflarini seriyasi (bir nechtasi) dvigatelni mos kelgan tizimlarini (yonilg'i uzatish, o't oldirish, purkash, bosim ostida kiritish va boshqalar) rostlanishini tanlash, baholashga va turli rejimlarda rostlash parametrlarini eng maqbul qiymatlarini o'zgarish qonuniyatlarini aniqlashga imkon beradi.

7.2.1. UCHQUNDAN O'T OLDIRILADIGAN DVIGATELNING ARALASHMA TARKIBI BO'YICHA ROSTLASH TAVSIFI

Aralashma tarkibi bo'yicha rostlash tavsifi deb, dvigatelning tezlik rejimi va boshqa omillarni doimiyligida, shuningdek, N_e ni miqdori bo'yicha aralashmaning turli tarkibi uchun o't oldirishni ilgarilatish burchagi (O'IB)ning eng maqbul qiymati $\left(\varphi_{o'.il} = \varphi_{o'.il.opT}\right)$ da aniqlanadigan dvigatelning asosiy ko'rsatkichlarini aralashma tarkibiga bo'lgan bog'liqligiga aytiladi.

Aralashma tarkibi bo'yicha rostlash tavsifi uchta har xil usullar bilan aniqlanishi mumkin:

— havo sarfining taxminan doimiyligini (G_h = const) ta'minlaydigan karbyuratorning drossel to'smaqopqog'ini (DTQ) o'zgarmas holatida (φ_{dr} = const);

— dvigatelning (N_e = const) quvvati o'zgarmaganda;

— o'zgarmas yonilg'i sarfida (G_{yo} = const).

O'rtacha yuklamalarda keltirilgan uchta usuldan foydalanish mumkin. Birinchi usul oddiy hisoblanadi, ikkinchi usul to'g'riroq hisoblanadi, chunki aniq sharoitda avtomobilning harakatlanishi uchun aralashma tarkibiga bog'liq bo'lmagan o'zgarmas quvvatga ega bo'lishi kerak; DTQ ning ochilish darajasi va aralashma tarkibi birgalikda yonilg'ining eng kam sarfida ushbu quvvatning ta'minlanishini amalga oshirishi kerak. To'liq yuklamalar rejimlarida faqat birinchi usul, salt yurish rejimlarida esa faqat ikkinchi usul yaroqli hisoblanadi. Uchinchi usul DTQ holatining o'zgarishida kiritish o'tkazuvchi quvurdagi bosimni o'zgarishiga yonilg'i uzatilishi bog'liq bo'lmagan yonilg'i purkash tizimiga ega bo'lgan dvigatellarni sinashda foydalaniladi.

Bir nechta tezlik rejimlarida va DTQ ning bir nechta holatlarida aniqlangan aralashma tarkibi bo'yicha rostlash tavsiflarini seriyasi quyidagi holatda foydalaniladi:

— tadqiqot qilinadigan rejimlarda dvigatelning quvvat, tejamkorlik va zaharlilik ko'rsatkichlari chegaralarini aniqlash uchun;

— yonilg'i uzatish apparatlarining rostlanishini tanlash yoki uning sifatini baholash uchun;

— dvigatelning chegara ko'rsatkichlarini absolut qiymatlari bo'yicha va eng yuqori quvvatiga, tejamkorligiga va IG zaharliligini chegara miqdoriga mos keladigan aralashma tarkibi bo'yicha ishchi jarayon sifatini baholash uchun.

Aralashma tarkibi bo'yicha rostlash tavsiflarini olishda α ni o'zgarishi, odatda, yonilg'i sarfini o'zgartirish yo'li bilan amalga oshiriladi. Karbyuratorli dvigatellarda α ni o'zgarishiga bosh dozalovchi jiklerning o'tish kesimini konussimon igna yordamida yoki karbyurator qalqovich kamerasidagi bosimni o'zgartirish bilan, benzin purkalanadigan va elektron usuli bilan boshqariladigan dvigatellarda esa forsunka impulsini boshqaruvchisi davomiyligini o'zgartirish bilan erishiladi.

DTQning o'zgarmas holatida olingan aralashma tarkibi bo'yicha rostlash tavsifini tahlili (birinchi usul) eng yuqori quvvat $(N_{e\ max})$ va yonilg'ini eng kam solishtirma sarfi $(g_{e\ min})$ mos holda quvvatli (α_q) va tejamkorli (α_{Tej}) deb ataladigani turli aralashma tarkibida erishishini ko'rsatadi (7.1- rasm).

η_v = const bo'lganda p_i miqdor η_i/α nisbatga proporsional bo'ladi. Aralashma birmuncha quyuqlashganda ($\alpha = \alpha_q$) η_i/α miqdor eng yuqori qiymatga erishadi va barcha energetik ko'rsatkichlar (p_i, p_e, N_e) ham eng yuqori qiymatga ega bo'ladi. Bu holat $1/\alpha$ miqdorni yonilg'i bilan kiritilgan issiqlik miqdoriga proporsionalligi bilan tushuntiriladi, shuning uchun η_i/α nisbat η_i ni yonilg'i bilan kiritilgan issiqlik miqdoriga bo'lgan ko'paytmasini, ya'ni idikator ishga aylangan issiqlik miqdorini xarakterlaydi. $\alpha < \alpha_q$ bo'lganda η_i/α nisbat kamaya boshlaydi va p_i ni pasayishi sodir bo'ladi. Bundan tashqari mos holda η_m miqdor kamayadi va ushbu sabablar oqibatida p_e, (N_e) qiymat ham kichiklashadi.

Aralashmani ma'lum oraliqqacha suyuqlashishi $\alpha_{\eta i\ max}$ da indikator FIK ortadi, bu yonishning to'liqligi va tezligi birgalikda olinganda eng maqbuliga, shuningdek, IG issiqlik sig'imining miqdori ham eng maqbuliga mos keladi. Aralashmaning keyinchalik suyuqlashishi alangalanish sharoitini yomonlashishiga va yonish tezligini kamayishiga olib keladi, bu h_i ni kamayishida va g_e ni ko'payishida ifodalanadi. g_e ga $\frac{1}{\eta_m}$ ni ozayishi ham ta'sir qiladi. Bu sababga ko'ra $g_{ye\ min}$ ga muvofiq keluvchi $\alpha_{tej}\ \alpha\ \frac{1}{\eta_{i\ max}}$ dagidan birmunchaga kam bo'ladi. Aralashma haddan tashqari suyuqlashganida dvigatelning ishlashi nobarqaror bo'lib qoladi, hatto bu ayrim silindrlarda va sikllarda yonishni mavjud bo'lmasligigacha olib keladi.

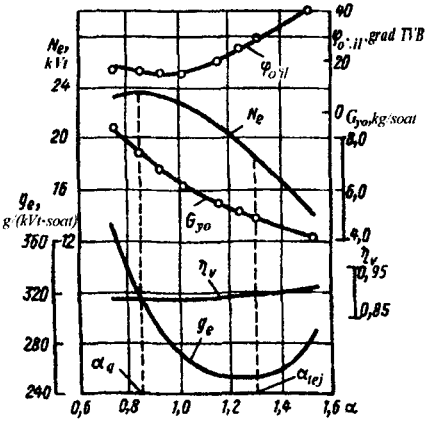
Shunday qilib, karbyuratorni maqbul rostlanishi α_q va α_{tej} oralig'ida bo'lishi kerak. To'liq yuklama rejimlarida aralashma tarkibi α_k ning miqdoridan birmunchaga suyuqroq qilib o'rnatilishi maqsadga muvofiq hisoblanadi: bunda quvvatni 1...2% pasayishi tejamkorlikni taxminan 10% ga ortishiga olib keladi. Qismiy yuklamalarda aralashma tarkibi α_{tej} ni qiymatiga nisbatan birmunchaga quyuqroq qilib o'rnatilishiga intiliniladi: bu tejamkorlikni kam pasayishida aralashmani suyuqlashishi, havo haroratining pasayishi va texnologik og'ish holatlarida va boshqalar rezervni ta'minlaydi.

Ikkinchi usul bilan rostlash tavsifi olinishida (N_e = *const*) α_{tej} birinchi holat kabi g_e va G_{yo} larning eng kichik qiymatlari bilan aniqlanadi (7.2-rasm).

Yuklama va aylanishlar chastotasini pasayishi bilan eng maqbul rostlash doirasi aralashmaning quyuqroq sohasi tomon siljib torayadi. Aylanishlar chastotasini pasayishida α_{tej} ni kamayishi kiritish o'tkazuvchi quvurida aralashma hosil bo'lishini va zaryadning silindrda turbulentlanishini yomonlashishi bilan bog'liq. Yuklamani pasayishida silindrdagi harorat va bosimni pastroq bo'lishi tufayli alangalanish va yonish sharoitini yomonlashishi, shuningdek, zaryadning qoldiq gazlar bilan suyultirilishini ortishi oqibatida yonilg'i va kislorod qiymatlarini kamayishi ham α_{tej} ni kamayishini keltirib chiqaradi.

Zamonaviy benzinli dvigatellarda yuklamaning keng doirasida α_{tej} 1,1...1,2 oralig'ida yotadi, DTQ ni berkila borishida $\alpha_{tej=}$ 0,9...1,00 gacha kamayadi. Ish jarayoni takomillashgan dvigatellarda α_{tej} 1,35...1,4 ga erishadi. Aralashma tarkibi bo'yicha rostlash tavsifi asosida eng maqbul rostlanish tavsifini (MRT) olish mumkin (7.3-rasm). Bu holatda yuklamaning har bir qiymati uchun $g_{e\,min}$ rostlash tavsifidagi solishtirma yonilg'i sarfi egri chizig'iga tutashtiruvchi egri chiziqni o'tkazish yo'li bilan aniqlanadi. Tutashtiruvchi egri chiziqni tegib turish nuqtasi berilgan yuklama uchun α, $\varphi_{o'.il}$ va η_v larning birgalikdagi eng maqbuli (optimali)ni ko'rsatadi. Berilgan yuklamada eng kam solishtirma yonilg'i sarfini ta'minlaydigan α ning miqdori samarali suyultirish chegarasi α_{ef} deb ataladi.

Uchinchi usul bilan aralashma tarkibi bo'yicha rostlash tavsiflarini olishda, ya'ni $G_{yo} = const$ bo'lganda aralashma tarkibini tejamkorligi bo'yicha G_{yo} ning har bir qiymatida eng maqbulini me'yori bo'lib, havoning sarfiga yoki aralashma tarkibiga bog'liq bo'lgan eng yuqori quvvat xizmat qilishi mumkin (7.4-rasm). Bu holatda eng maqbul rostlash tavsifini olish uchun bunday rostlash tavsiflarini har bir tarmog'ining eng yuqori quvvat N_e nuqtalarini birlashtirish yetarli hisoblanadi. Agar yonilg'i sarfi o'rniga G_{yo} ga proporsional bo'lgan forsunkalarni boshqarish impulsining davomiyligi τ ishlatilsa, olinadigan yonilg'i uzatish qonuni $\tau = f(G_x)$ benzin purkalishini boshqarish uchun baza matritsalarini qurishga boshlang'ich material bo'lib xizmat qiladi.

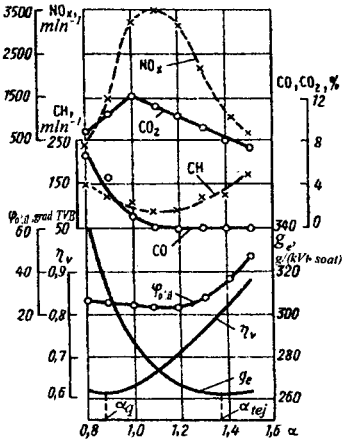


7.1-rasm. **Drossel to'sma qopqoqning o'zgarmas holatida ($\eta_V = const$) aralashma tarkibi bo'yicha rostlash tavsifi $\varphi_{dp} = 100\%$, $n = 2000\,min^{-1}$.**

Zaharli moddalar otqinini me'yori (6.12-bandga qarang) ta'minlash tizimining rostlanishini tanlashda qo'shimcha cheklanishlar sifatida ko'rilishi mumkin.

7.2.2. O'T OLDIRISHNING ILGARILATISH BURCHAGI BO'YICHA ROSTLASH TAVSIFI

O't oldirishning ilgarilatish burchagi bo'yicha rostlash tavsifi deb, tirsakli valning o'zgarmas aylanishlar chastotasida (n = const) va DTQ ni doimiyligida ($\varphi_{dp} = const$) dvigatelning asosiy ko'rsatkichlarini o't oldirishning ilgarilatish burchagiga (O'OIB) bog'liqligiga aytiladi. Bu shartlar dvigatel to'lishining o'zgarmasligini ($\eta_v = const$) va aralashma tarkibining doimiyligini belgilaydi (α = const).



7.2-rasm. **Quvvatning doimiyligida aralashma tarkibi bo'yicha rostlash tavsifi:** $N_e = 15,7 kVt$; $n = 2000\,min^{-1}$.

Bunday tavsiflar quyidagi holatlarda foydalaniladi:

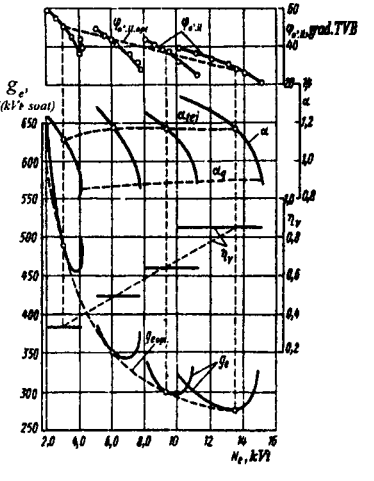
— yonilg'i uzatish tizimini berilgan rostlanishida dvigatelning turli tezlik va yuklama rejimlarida ishlashida O'OIB ni eng maqbulini aniqlash uchun;

— dvigatelning chegaraviy quvvat va tejamkorlik ko'rsatkichlarini aniqlash uchun;

— O'OIB ni boshqaruvchi avtomatlarining rostlanishini tanlash uchun;

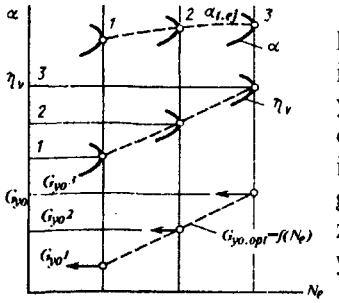
— yonilg'ining oktan soniga bo'lgan talabini baholash uchun.

Yonilg'ining sarfini o'zgarmas bo'lishi tufayli N_e va g_e larni $\varphi_{o'.il}$ ga bo'lgan bog'liqligi teskari xususiyatga ega (7.5-rasm), N_e ning eng yuqori qiymati va g_{ye} ning kichik qiymati $\varphi_{o'.il}$ ni bir xil miqdorida erishadi. Ushbu O'OIB eng maqbul $\varphi_{o'.il\ OPT}$ deb ataladi. Agar $\varphi_{o'.il} < \varphi_{o'.ilOPT}$ bo'lsa, o't oldirishni kechikishi va $\varphi_{o'.il} > \varphi_{o'.ilOPT}$ bo'lsa, erta boshlanishi deb ataladi.



7.3-rasm. **Eng maqbul rostlash tavsifi:** $iV_h = 1,1l$, $n = 2000 min^{-1}$

Haqiqiy siklda O'OIB ni eng maqbul qiymatidan og'ishi termodinamik siklda YUCHN ga nisbatan issiqlik berish paytini o'zgarishiga ekvivalent hisoblanadi. Siqish taktining oxirida va porshen YUCHN dan o'tgandan so'ng kengayish taktining boshlanishida yonishi natijasida ajralib chiqqan issiqlik kengayishi darajasini kamayishi tufayli YUCHN da berilgan issiqlik kabi to'laligicha foydalanilishi mumkin emas.



7.4-rasm. **G_{yo} = const bo'lganda aralashmaning tarkibi bo'yicha rostlash tavsifi.**

Ilgariroq o't oldirishda siklning p_z va T_z larini ko'tarilishi tufayli issiqlikni devorga o'tishdagi isrofi, shuningdek, ishchi jismni sizishi tufayli yo'qotish ko'payadi. Bu ichki energiyaning o'zgarishiga va foydali ish bajarishga sarflangan issiqlik miqdorini kamaytiradi. Bu holatda kengayish chizig'i eng maqbul o't oldirishdagi chiziqdan pastda joylashadi, bu IG haroratini pasayishiga olib keladi (7.6-rasm).

Ilgariroq o't oldirishda yonish kamerasi sathi haroratini va yonmagan aralashmaning so'nggi ulushini ko'payishi tufayli dvigatelning detonatsiyaga moyilligi ortadi.

O't oldirishning kechikishida kengayish jarayonida ishchi jism harorati ko'tariladi, bu IG orqali issiqlikning yo'qolishiga va dvigatelning ayrim detallarini o'ta qizishiga olib keladi. O'OIB IG ning zaharliligiga jiddiy ta'sir qiladi (6.1.3-bandga qarang).

O'OIB ning eng maqbul qiymati $\varphi_{o'.il.OPT}$ dvigatelning ish rejimiga bog'liq. Aylanishlar chastotasi n ning ortishi bilan tirsakli valning burilish burchagida ifodalangan yonishning boshlang'ich fazasini davomiyligi ortadi. YUCHN ga nisbatan yonishning ikkinchi fazasini eng maqbul holatini saqlab turish uchun o't oldirishning ilgarilatish burchagini ko'paytirish kerak.

Dvigatel yuklamasini kamayishida siqish oxirida silindrdagi bosimning pasayishi, ishchi aralashmada IG ning nisbiy miqdorini ko'payishi, uchqun razryadi energiyasini kamayishi, zaryad turbulentlanishini pasayishi tufayli aralashmani alangalanish sharoiti yomonlashadi. Bularning barchasi ham yonishni boshlang'ich fazasining davomiyligini ko'paytiradi va O'OIB ni oshirilishini talab qiladi.

Ayrim hollarda IG dagi NO_x miqdorini kamaytirish maqsadida yoki detonatsiyani yo'qotish uchun sun'iy ravishda O'OIB eng maqbuli $\varphi_{o'.il.OPT}$ dan kamaytiriladi.

7.2.3. DIZELNING YONILG'I PURKASHNI ILGARILATISH BURCHAGI BO'YICHA ROSTLASH TAVSIFI

Dizelning asosiy ko'rsatkichlarini, tirsakli valni o'zgarmas aylanishlar chastotasida (n = const) va yonilg'ini o'zgarmas sikllik uzatilishida purkashni ilgarilatish burchagi $(\varphi_{p.il})$ ga bo'lgan bog'liqligi purkashni ilgarilatish burchagi (PIB) bo'yicha dizelning rostlash tavsifi deb ataladi. Ushbu shart η_v va α larning doimiyligini belgilaydi.

Bu tavsif dizelning turli tezlik va yuklama rejimlarida ishlashida PIB ning eng maqbul qiymatini aniqlashda foydalaniladi.

Umuman dizelning PIB bo'yicha rostlash tavsifi uchqundan o't oldiriladigan dvigatelning O'OIB bo'yicha rostlash tavsifiga o'xshash. Yonilg'i

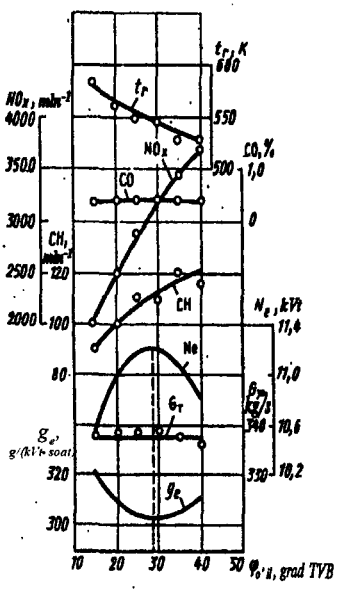
sarfini doimiyligi tufayli p_e va g_e larni PIB ni eng maqbul qiymati $\varphi_{p.il}$ ga nisbatan bog'liqligi teskari xarakterga ega (7.7-rasm); p_e ni eng katta va g_e ni eng kichik miqdorlariga PIB ni eng maqbuli deb ataladigan qiymatida erishiladi.

Agar $\varphi_{p.il} < \varphi_{p.il\,OPT}$ bo'lsa, purkash kechikkan va $\varphi_{p.il} > \varphi_{p.il.OPT}$ bo'lsa, purkash ilgari boshlangan deb hisoblanadi.

Purkash ilgariroq boshlanganida alangalanishni kechikish davri va tez yonish fazasi davrida ajralib chiqadigan issiqlik miqdori ko'payadi, shuning uchun p_z va $\Delta p / \Delta\varphi_{\max}$ ko'tariladi.

PIB ni ko'payishi bir vaqtning o'zida qorakuya miqdorini kamayishiga va IG dagi azot oksidi qiymatini ko'payishiga olib keladi.

Dizellarda, odatda, $\varphi_{p.il.}$ ni $\varphi_{p.il.opt}$ ga nisbatan birmuncha kam qilib o'rnatiladi. Bunda g_e ni ozgina ortishi issiqlik va mexanik yuklamalarni kamayishiga va azot oksidlari miqdorini pasayishiga olib keladi.



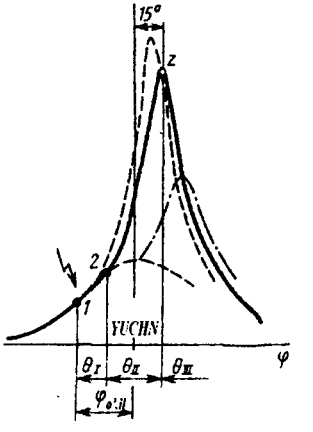
7.5.-rasm. **O't oldirishning ilgarilatish burchagi bo'yicha rostlash tavsifi:** $\eta_v = 0,50;\ \alpha = 1,01.$

7.3. YUKLAMA TAVSIFLARI

Yuklama tavsifi (YUT) dvigatelning asosiy ko'rsatkichlarini uning yuklamasini tavsiflaydigan parametrlari (N_e, M_k, p_e) dan biriga bog'liqligi ko'rinishini o'z ichiga oladi. Ular doimiy aylanishlar chastotasida aniqlanadi.

YUT rejimlarida ishlash elektr generatorlarini, nasoslarni, kompressorlarni, traktorlarni yuritishda foydalaniladigan dvigatellar uchun ayniqsa xos hisoblanadi. Xususan, YUT yo'l qarshiligini o'zgaruvchan sharoitida avtomobilning uzatmalarini birida o'zgarmas tezlikdagi yurishida dvigatelning avtomobilda ishlashini imitatsiya qiladi.

Dvigatelning YUT bo'yicha asosiy ko'rsatkichlari G_{yo} va q_e hisoblanadi. Sinash maqsadiga bog'liq holda ko'rsatkichlar sifatida IG dagi zaharli moddalar miqdori, IG ni tutab chiqishi (dizellar uchun), dvigatelni



7.6-rasm. **O't oldirishning eng maqbulida, ilgariroq bo'lishida va kechikishidagi indikator diagrammalar.**
_____ eng maqbul o't oldirish
-------- ilgariroq o't oldirish
- - - - - o't oldirishni kechikishi

to'ldirish ko'rsatkichlari $(\eta_v, G_h, \Delta p_k)$ havoning ortiqlik koeffitsiyenti, O'OIB uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun yoki PIB dizellar uchun, IG ning harorati (t_r) va boshqalar ishlatiladi.

YUT ni olishda dvigatel shtatdagi yonilg'i uzatish va o't oldirish tizimlari bilan jihozlanadi.

YUT ni o'ng tomonidagi chekka nuqtasi $(N_{e\ max})$ dvigatel berilgan aylanishlar chastotasida erishishi mumkin bo'lgan eng ko'p yuklamaga muvofiq keladi (uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar) yoki rostlovchi a'zosini tirgakka tegib turgan holatida uning miqdori (dizellar).

YUT ni rostlash sinovlari natijalari bo'yicha ham qurish mumkin. Bunday YUT aytib o'tilganidek, eng maqbul rostlash tavsifi (MRT) deb ataladi.

Haqiqiy YUT ni rostlashni eng maqbul tavsifi bilan taqqoslash dvigatelning yonilg'i uzatish va o't oldirish tizimlarining rostlanishlarini to'g'ri tanlanganligini baholashga imkon beradi.

YUT larida quyidagi xarakterli nuqtalar aniqlanadi:

— yonilg'ini eng kam solishtirma sarfi va unga mos keluvchi yuklama miqdori shuningdek, α ham;

— $N_{e\ max}$ rejimdagi yonilg'ini soatiga sarfi $(G_{yo\ max})$ va α;

— salt yurish rejimdagi yonilg'ini soatiga sarfi $(G_{yo.syu})$ va α.

7.3.1. UCHQUNDAN O'T OLDIRILADIGAN DVIGATELNING YUKLAMA TAVSIFI

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda quvvatni o'zgarishiga, asosan, silindrlarga kirayotgan yonuvchi aralashma miqdorini o'zgartirish hisobiga erishiladi (DTQ holatini o'zgartirish bilan).

YUT rejimlarida aralashma tarkibi N_e ni har bir qiymatida nazariy jihatdan tejamkor bo'lib qolishi kerak $(\alpha = \alpha_{tej})$. To'liq yuklamali rejim bundan istisno bo'ladi, lekin miqdoriy rostlash imkoniyati tugaganida va $N_e = N_{e\ max}$ bo'lishini ta'minlash faqat aralashmani quvvatli tarkibigacha quyuqlashtirish holatida erishish mumkin.

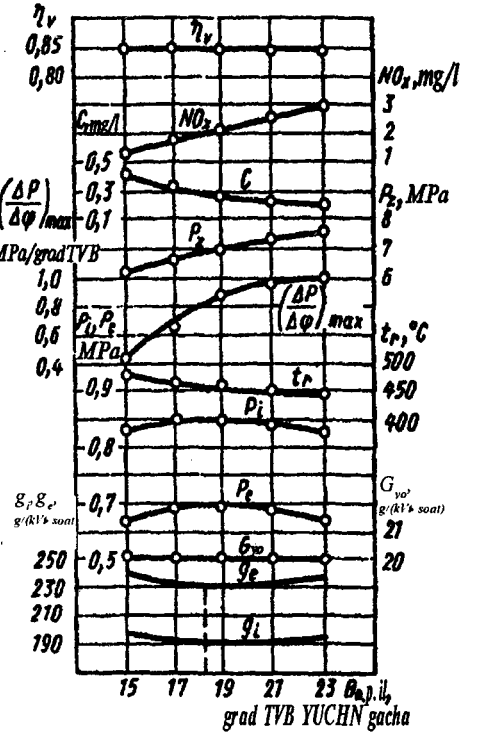
Silindrlarning to'lishini va shtatdagi tizim bilan aniq qiymatlari ta'minlanadigan α va $\varphi_{o'.il}$ larni birgalikda o'zgarishi dvigatel ishchi jarayoniga va ko'rsatkichlariga murakkab ta'sir qiladi (7.8-rasm). Dvigatelning asosiy ko'rsatkichlarini o'zgarish xarakteri η_i va η_M larning o'zgarishini birgalikdagi ta'siri bilan aniqlanadi (7.9-rasm). YUT bo'yicha η_i ni miqdori aralashma tarkibi va O'OIB ni qiymati bilan aniqlanadi, η_m kattalik esa, odatda, faqat dvigatelning yuklamasiga bog'liq.

DTQ ning to'liq ochilishida, η_m ni eng yuqori miqdori bo'lishiga qaramasdan yonilg'ini kimyoviy chala yonishi tufayli $(\alpha < 1)$, η_i kichiklashadi va g_e ko'payadi (7.9-rasm).

DTQ ni yopilishi yonilg'i uzatish tizimini tejamkor aralashma tarkibiga yaqin aralashma bilan ta'minlaydigan ishga o'tkazadi $(\alpha = 1{,}1...1{,}2)$, bu

η_i ni orttiradi. Yonilg'ini eng kam samarali solishtirma yonilg'i sarfi $\eta_e = \eta_i \eta_m$ ko'paytmani eng ko'p miqdori bilan aniqlanadi va u odatda $N_e = (0{,}8...0{,}9)\, N_{e\ max}$ qiymatga mos keladi (7.8- va 7.9-rasmlarga qarang).

Biroq DTQ ning yopilishi yonuvchi aralashma alangalanishini va yonish sharoitini yomonlashishiga olib keladi. Buning natijasida α ni birmuncha kamaytirish kerak, yaxshi tejamkorlikni ta'minlash uchun aralashmani $\alpha = 0{,}90...0{,}95$ gacha quyuqlashtirish kerak, bu ayniqsa kam yuklama va salt yurish rejimlarida muhim hisoblanadi (7.8-rasmga qarang). Bu sababga ko'ra, yonishni birinchi fazasi davomiyligini ko'payish farqini kamaytirish (o'rnini qoplash) uchun o't oldirishni ilgarilatish burchagini orttirish lozim.



7.7.-rasm. **Dizelning yonilg'i purkashni ilgarilatish burchagi bo'yicha rostlash tavsifi.**

DTQ ni yopilaborishida yonish sharoitini yomonlashishi va aralashmani quyuqlashishi η_i ni bir qanchaga kamayishiga olib keladi, [7 . 9 - r $_e$ ni oshiradi. Lekin $g_e = f(N_e)$ni bog'liqligiga η_m ni o'zgarishi kuchli ta'sir qiladi. N_e ni kamayishi bilan mexanik yo'qotishlar quvvati ozgina o'zgaradi. Biroq indikator quvvatni kamayishi oqibatida η_m tezlik bilan pasayadi, salt yurish rejimida nol qiymatiga erishadi (7.9-rasm). Bu yuklamani kamayishi bilan g_c ni jadal suratda oshishiga olib keladi, chunki issiqlikning ko'p qismi foydali ishga sarflanmasdan mexanik yo'qotishlarni yengishga sarflanadi.

Bu holat juda kam yuklama rejimlarida dvigateldan foydalanishni maqsadga muvofiq emasligini ko'rsatadi.

Yuklama tavsifi bo'yicha IG dagi zaharli tashkil etuvchilar miqdori α, η_v va O'OIB ni birgalikdagi ta'siri bilan aniqlanadi.

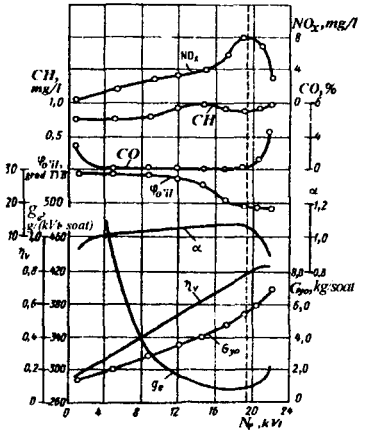
7.3.2. DIZELNING YUKLAMA TAVSIFI

Yuklama tavsifini olishda yuklamani kamayishiga yonilg'i nasosi reykasini siljitish yo'li bilan yonilg'ini sikllik uzatilishini kamaytirish orqali erishiladi.

Bosimsiz kiritiladigan dizelda (7.10-a rasmda η_v egri chizig'i 08...0,9 oralig'ida joylashgan) yuklamani kamayishida α ortishini yonilg'ini soatiga sarfi G_{yo} ni kamayishi keltirib chiqargan, ushbu vaqtda havoni soatiga sarfi birqancha ko'payadi (3.1.7-bandga qarang). Yonish natijasida ajralib chiqadigan issiqlik miqdorini kamayishi tufayli IG harorati T_r pasayadi. α ni ortishi IG ni tutab chiqishi D_k ni kamayishiga, shuningdek, η_i ni o'sishi natijasida g_i ni ham kamayishiga olib keladi. Biroq eng kam yuklamalarda yonilg'i purkash jarayonlari sifatini va to'zitilishini yomonlashishi tufayli g_i ni miqdori ortishi mumkin. Yonilg'ining samarali solishtirma sarfi eng kam miqdoriga odatda, yuklamaning 70...80% da erishadi. To'liq yuklamalarda α va η_i larning kamayishi tufayli g_e ortadi, kam yuklamalarda esa η_m ni kamayishi bilan bog'liq holda ko'payadi.

Turbonadduvli dizelda (7.10-b rasm) yuklamani kamayishida turbina oldidagi IG ning harorati T_T ni pasayishi bilan bog'liq holda gazni ega bo'lgan ishi kamayadi, bu turbina va kompressorni aylanishlar chastotasini kamayishiga olib keladi. Buning natijasida bosim ostida kiritilayotgan havoning parametrlari pasayadi: bosim p_k, harorat T_k va havoni sarfi G_h. Bu o'z navbatida turbina orqali gaz sarfini va turbina oldidagi gazni qarshi bosimi p_T ni kamayishiga olib keladi, oqibatda turbina va kompressorni aylanishlar chastotasini qo'shimcha ravishda kamayishiga olib keladi. Jarayon dizel bilan turbokompressor (TK) ni birgalikda ishlashida yangi rejim o'rnatilgunicha davom etadi, odatda, bu bir necha sekund davom etadi.

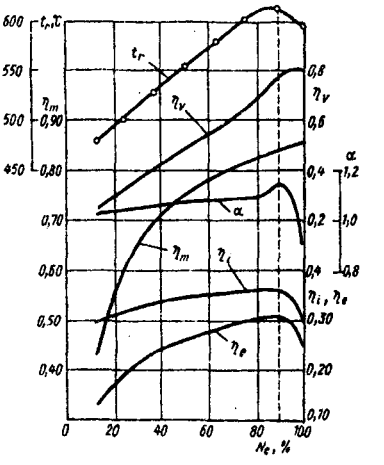
Turbonadduvli dizelda yuklamani pasayishi natijasida havo sarfini kamayishi α ni asta-sekin oshiradi. α ning o'zgarishining bunday xarakteri T_T ni asta-sekinlik bilan pasayishini keltirib chiqaradi, p_k va T_k larning pasayishi natijasida to'ldirish koeffitsiyenti kamayadi. Yuklamani pasayishida TKning FIK kamayadi, bunday holat uni ish rejimini hisoblanganidan og'ishi bilan tushuntiriladi. Bu nadduv bosimi p_k ni turbina oldidagi qarshi bosim p_T ga qaraganda ko'p miqdorda pasayishini keltirib chiqaradi va kam yuklamalarda gaz almashinuviga sarflanadigan ishni oshishi tufayli g_e ni qo'shimcha ravishda ko'payishiga olib keladi. Shuning uchun kam yuklamalarda turbonadduvning rostlanishini qo'llash maqsadga muvofiq hisoblanadi.



7.8.-rasm. **Karbyuratorli dvigatelning yuklama tavsifi:**
$\varepsilon = 9$; $n = 2000$ min^{-1}; $iV_h = 1{,}5$l.

Yuklamani ortishida IG ning tutab chiqishi va detallarni issiqlikdan zo'riqishi ko'payadi, yuklama bo'yicha dizelni kuchaytirish chegarasi ushbu ikki miqdor bilan aniqlanadi, bularning birinchisi kritik darajaga yaqinlashadi. Turbonadduvli dizellar (nadduvsiz bilan taqqoslaganda) o'rtacha va yuqori aylanishlar chastotasida

α ning ko'p qiymatiga ega bo'ladi, shuning uchun ularni kuchaytirish chegarasi, odatda, silindrdagi detallarni va TK turbinasi g'ildiragini issiqlikdan zo'riqishi bilan aniqlanadi.



7.9-rasm. **Karbyuratorli dvigatel ko'rsatkichlarining yuklama tavsifi bo'yicha o'zgarishi:** $n = 2000$ min^{-1} $\varepsilon = 7$; $iV_h = 6{,}0$ *l*.

7.4. TEZLIK TAVSIFLARI

Dvigatelning asosiy ko'rsatkichlarini uning boshqarish qismlarini o'zgarmas holatida tirsakli valning aylanishlar chastotasiga bog'liqligi *tezlik tavsifi* deb ataladi.

Bir qancha tezlik tavsiflari orasida amaliy jihatdan muhim bo'lgani tashqi tezlik tavsifi (TTT) hisoblanadi. TTT uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda DTQ ni to'liq ochiq holatida yoki yonilg'i uzatishni boshqarish qismini dizelning nominal quvvatini ta'minlaydigan holatida aniqlanadi.

Dvigatelning boshqarish qismini oraliq holatlarida olingan tezlik tavsiflar *qismiy tavsiflar* deb ataladi.

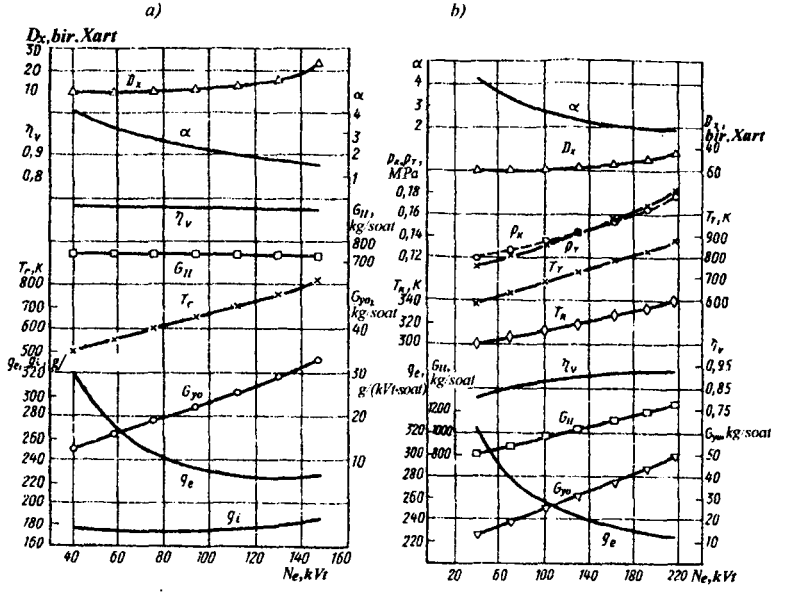
TTT ni rejimlari, dvigatelning boshqarish qismini o'zgarmas va eng chekka chegara holatida, qarshiligi o'zgaruvchan yo'l sharoitlarida avtomobilni harakati uning avtomobilda ishlashini imitatsiya qiladi. TTT ni rejimlari DTQ ni to'liq ochiq holatida (uchqundan o't oldiriladigan dvigatel) yoki rostlagichning asosiy prujinasini tortilishi oxirgi chekka chegara holatida (dizellar) avtomobilning tezlanishini amalga oshirilishida ko'proq o'ringa ega bo'ladi.

Tezlik tavsiflarini olishda dvigatelning tezlik rejimini o'zgartirilishi tormoz tuzilmasi yordamida tashqi yuklamani o'zgartirish orqali ta'minlanadi. Agar dvigatel aylanishlar chastotasini cheklagichi yoki rostlagichi bilan jihozlanmagan yoki ular uzib qo'yilgan bo'lsa, u holda tashqi tezlik tavsifi n_{min} dan 1,1 n_{nom} gacha oralig'ida olinadi.

TTT dvigatel ishlashini foydalanish rejimlarini yuqori chegara maydonini ko'rsatadi. TTT rejimlarida dvigatel eng yuqori issiqlik va mexanik yuklamalarni his etadi va IG bilan ko'p miqdordagi zaharli moddalarni ajratib chiqaradi.

TTT dvigatelning asosiy pasport tavsifi bo'lib, unga asosan uning asosiy texnikaviy ko'rsatkichlari baholanadi.

Dvigatel tuzilmalar va jihozlar bilan standartga muvofiq ravishda komplektlanganligiga bog'liq holda netto va brutto quvvatlari aniqlanadi. Birinchi holatda dvigatel seriyali jihozlar bilan komplektlangan bo'lishi lozim (shamol parrak, generator, havo tozalagich, shovqin so'ndirgich va



7.10-rasm. **Dizelning yuklama tavsifi:**
a — bosimsiz havo kiritish; b — turbonadduv va havoni sovitish.

boshqalar), ularning nomlari standart bilan aniqlanadi, rostlanishi esa texnik talabga muvofiq bo'lishi kerak. Dvigatelga xizmat qilmaydigan, quvvat iste'mol qiladigan qo'shimcha tizimlar uzib qo'yiladi (tormoz tizimini kompressori, rul boshqarish nasosini gidrokuchaytirgichi, kondensionerning kompressori va boshqalar).

Brutto quvvatini aniqlashda dvigatelga xizmat qiladigan ayrim tuzilmalarni uzib qo'yishga yoki olib qo'yishga yo'l qo'yiladi, shuningdek, uning ayrim tizimlarini eng maqbul rostlanishidan (shtatli bo'lmaganini) foydalanishga ham ruxsat etiladi. Shuning uchun brutto quvvati netto quvvatidan ko'p bo'ladi.

Atrof-muhit sharoiti (bosim, harorat, namlik) dvigatelning ishlashiga va uning ko'rsatkichlariga murakkab shaklda ta'sir qiladi. Turli atmosfera sharoitida olingan sinash natijalarini taqqoslash uchun TTT bo'yicha dvigatelning quvvat ko'rsatkichlari standart atmosfera sharoitiga keltiriladi: atmosfera bosimi $B_0 = 100\ kPa$ (750 mm simob ustuni), havo harorati $T_0 = 298$K, quruq havoni parsial bosimi $p_h = 99$ kPa, yonilg'i harorati (dizel uchun) $T_{oyo} = 298$K.

N_{e0}, M_{k0}, p_{e0} larning keltirilgan qiymatlari sinash davrida olingan N_e, M_k va p_e larning miqdorlarini atrof- muhit bosimiga va haroratiga, havoning namligiga va dvigatel turiga (uchqundan o't oldiriladigan yoki dizel) bog'liq bo'lgan tuzatish koeffitsiyentiga ko'paytirish bilan olinadi.

7.4.1. UCHQUNDAN O'T OLDIRILADIGAN DVIGATELNING TEZLIK TAVSIFI

TTT yonilg'i uzatish tizimini ko'pchilik tezlik rejimlarida aralashmani quvvatlik tarkibiga yaqin bo'lishini ta'minlaydigan shtatli rostlanishida olinadi (7.11- va 7.12-rasmlar).

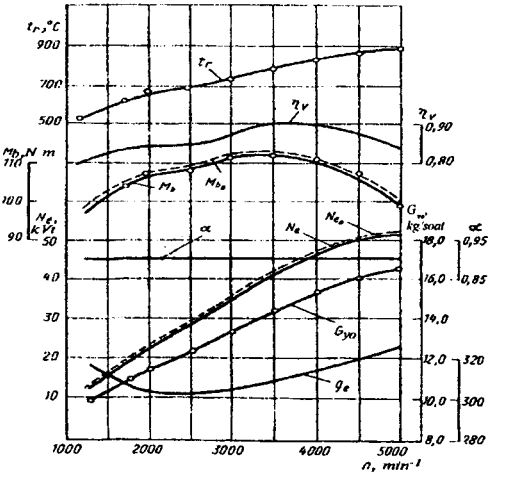
O't oldirish tizimini shtatli rostlanishi $\varphi_{o'.il} \approx \varphi_{o'.il.OPT}$ ni yoki o'rtacha va past aylanishlar chastotasida detonatsiya sodir bo'lishi bilan cheklangan $\varphi_{o'.il}$ ni ta'minlaydi.

n ning ortishi bilan silindrlar devoriga issiqlikning o'tishida uning nisbiy isrofini kamayishi sodir bo'ladi, aralashma hosil bo'lish sifati yaxshilanadi va yonishning ikkinchi fazasini vaqt birligidagi davomiyligi qisqaradi (lekin TVB burchagi bo'yicha davomiyligi graduslarda deyarli saqlanadi). Bu aylanishlar chastotasini ortishi bilan η_i ni ko'payishiga va uni keyinchalik stabillashishiga olib keladi (7.12-rasm); η_i ni barqarorlashishiga devorga issiqlik yo'qotilishini oshiradigan yonib tugash fazasini birmuncha cho'zilishi yordam qiladi. η_i / α nisbat xuddi shunga o'xshash ko'rinishda o'zgaradi (7.12-rasm). Shunday qilib, uchqundan o't oldiriladigan dvigatelning ish jarayonini sifati uning tezlik tavsifi bo'yicha kuchaytirilishi mumkinligini me'yorlamaydi.

Aylanishlar chastotasiga bog'liq holda η_v ni o'zgarish xususiyati ayrim umumiy qonuniyatga ega bo'lishiga qaramasdan turli dvigatellar uchun bir xil emas (3.1.7-bandga qarang).

Yengil avtomobil dvigatellari uchun η_v ning eng katta qiymati yuqori aylanishlar chastotasi doirasida (7.11-rasmga qarang), dvigatelning nominal quvvatini yuqori bo'lishini ta'minlaydi, nihoyat avtomobilning katta tezligini va tezlanish dinamikasini yaxshililigini aniqlaydi. Yuk avtomobillarining dvigatellari uchun η_v ning eng katta qiymati past va o'rtacha aylanishlar chastotasida avtomobilni yaxshi tortish xususiyatiga ega bo'lishini ta'minlaydi (7.12-rasm).

η_i, α va η_v larning birgalikdagi ta'siri p_i (n) ning o'zgarishini mos bo'lgan xarakterini aniqlaydi: past aylanishlar chastotasida uning kamayishi η_i va η_v larni kamayishi



7.11-rasm. **Yengil avtomobil karbyuratorli dvigatelining tashqi tezlik tavsifi: $iV_h = 1,5l$.**

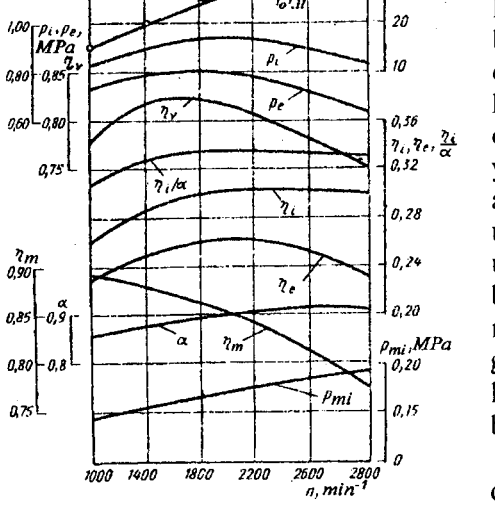
bilan bog'liq, yuqori aylanishlar chastotasida esa faqat η_v ni kamayishi bilan bog'liq.

Mexanik isroflarning o'rtacha bosimi n ni ortishi bilan chiziqli qonunga yaqinlashish bo'yicha o'sadi (7.12-rasm), bu $p_i(n)$ ni o'zgarish xarakteri bilan birgalikda n ni ortishi bilan η_m ni asta-sekin (monotonno) kamayishiga olib keladi.

n ni past qiymatlarida p_e ni kamayishi p_i ni kamaytiradigan omillar bilan aniqlanadi (ya'ni η_i va η_v), $\eta > n_{mk\,max}$ bo'lganda esa η_v va η_m larni kamayishi bilan sodir bo'ladi. Odatda, karbyuratorli dvigatellar uchun $n_{mk\ max} = (0,55...0,70)\,p_n$ moslanuvchanlik koeffitsiyenti esa $K_m = M_{k.max} / M_{kn}$ 1,10...1,30 oralig'ida yotadi.

n ni ortishi bilan N_e ni ortishi n ga proporsional bo'lgan sikllar chastotasining o'sishi p_e ni pasayishidan ustivor bo'lgunicha davom etadi (7.11-rasmga qarang). Ushbu ikki omil bir-birining o'rnini to'ldirgan paytda dvigatelning quvvati eng yuqori qiymat $N_{e\ max}$ ga erishadi. Odatda, $n_{N_{e\,max}} > n_n$.

$n > n_{Nemx}$ bo'lgan holatda mos holda p_m ni o'sishi va η_v ni kamayishi bilan bog'liq holda N_e ni keskin kamayishi ro'y beradi. DTQ to'liq ochiq bo'lib $p_i = p_m$ bo'lganda nominaldan 30...50% ga ortiq bo'lgan eng yuqori aylanishlar chastotasi (n_p)ga erishib, dvigatel salt yurish rejimiga o'tadi. Bunda aralashma tarkibida va demak, jarayonda jiddiy o'zgarish sodir bo'lmaydi. Yengil avtomobil dvigatellarini qisqa vaqt davomida bunday rejimga o'tishi hech qanday xavf tug'dirmaydi.



7.12-rasm. **Yuk avtomobili karbyuratorli dvigatelining tashqi tezlik tavsifi bo'yicha ishchi jarayoni asosiy ko'rsatkichlarining o'zgarishi:** $iV_h = 6,0$ *l.*

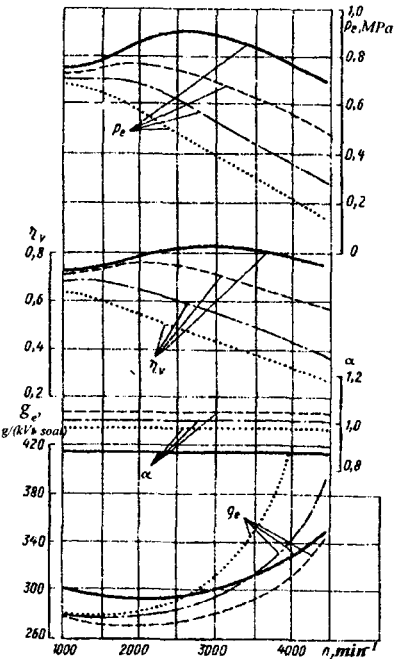
Qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi massalari nisbatan ko'p bo'lganligi tufayli dvigatel detallarini yuklaydigan inersiya kuchlarining yuqorililigi, ishonchlilik nuqtayi nazaridan eng yuqori aylanishlar chastotasi yuk avtomobillarining dvigatellari uchun xavfli hisoblanadi. Shuning uchun bunday dvigatellar $n > n_n$ bo'lganda yonilg'i-havo aralashmasining uzatilishini kamaytiradigan aylanishlar chastotasini cheklagichlari bilan jihozlanadi (5.11-bandga qarang).

TTT ni grafigida (7.11-rasmga qarang) standart sharoitiga keltirilgan burovchi momenti va quvvati qiymatlarini, shuningdek, yonilg'ining soatiga sarfini egri chiziqlari ham ko'rsatiladi.

TTT bo'yicha solishtirma yonilg'i sarfining o'zgarishi $\eta_i\eta_m$ ko'paytma bilan aniqlanadi. n ning kichik qiymatlarida g_e ni ortishi η_i ni kamayishi bilan, yuqori qiymatlarida esa η_m ni kamayishi bilan bog'liq. $n = n_r$ bo'lgan holatda $g_e = \infty$ bo'ladi.

TTT bo'yicha n ning ortishi bilan IG haroratini ortishi, bu sikl davomiyligini qisqarishi va dvigatelning ayrim detallari haroratini ko'tarilishi, shuningdek, yonilg'ini yonib tugash fazasini uzayishi oqibatida yonishda va kengayishda silindr devorlariga issiqlik berilishini kamayishi bilan bog'liq.

IG dagi zaharli moddalar miqdori TTT bo'yicha α, $\varphi_{o'.il}$ larning birgalikdagi ta'siri va aralashma hosil qilish va yonish sharoitlari bilan aniqlanadi (6.1.3-bandga qarang).



7.13-rasm. **V8 karbyuratorli dvigatelning tashqi va qismiy tezlik tavsiflari**

$(iV_h = 7,7l)$: - $\varphi_{dr} = 100\%$; ---- $\varphi_{dr} = 70\%$; _·_·_·_ -

Qismiy tezlik tavsiflar (7.13-rasm) DTQ ning o'zgarmas oraliq holatida olinadi. DTQ ni yopila borishi n ni ortishi bilan η_v ni keskinroq kamayishiga olib kelib, p_i ni mos holda kamayishini keltirib chiqaradi. p_i ning kamayishi p_e ni miqdoriga bevosita ta'sir qiladigan η_m ni anchaga kamayishiga sabab bo'ladi. DTQ qancha ko'p yopila boshlasa $p_e(n)$, $M_b(n)$, $N_e(n)$ bog'liqlik shuncha tik bo'ladi. Bunda ularning eng yuqori qiymatlari aylanishlar chastotasini kamayish doirasi tomon siljiydi.

DTQ ning ozgina yopilishida, η_v ni kamayishi ko'p bo'lmaganida, dvigatel qismiy tezlik tavsifi bo'yicha ishlaganida TTT bo'yicha ishlagandagiga nisbatan uning tejamkorligi yaxshi bo'lishi ($g_{ye\ min}$ ni kamayishi) mumkin. Bu ta'minlash tizimi ishlashini suyuqlashgan aralashma tarkibini tayyorlashga o'tganligi bilan bog'liq.

DTQ ni keyinchalik berkila borishi bilan η_m ni kamayishi oqibatida $g_{e\min}$ ni ortishi sodir bo'ladi, DTQ ni juda ko'p yopilishida esa η_i ni kamayishi oqibatida ham sodir bo'ladi.

7.4.2. DIZELNING TEZLIK VA REGULATOR (ROSTLOVCHI) TAVSIFLARI. TASHQI TAVSIFNING SHAKLLANISHI

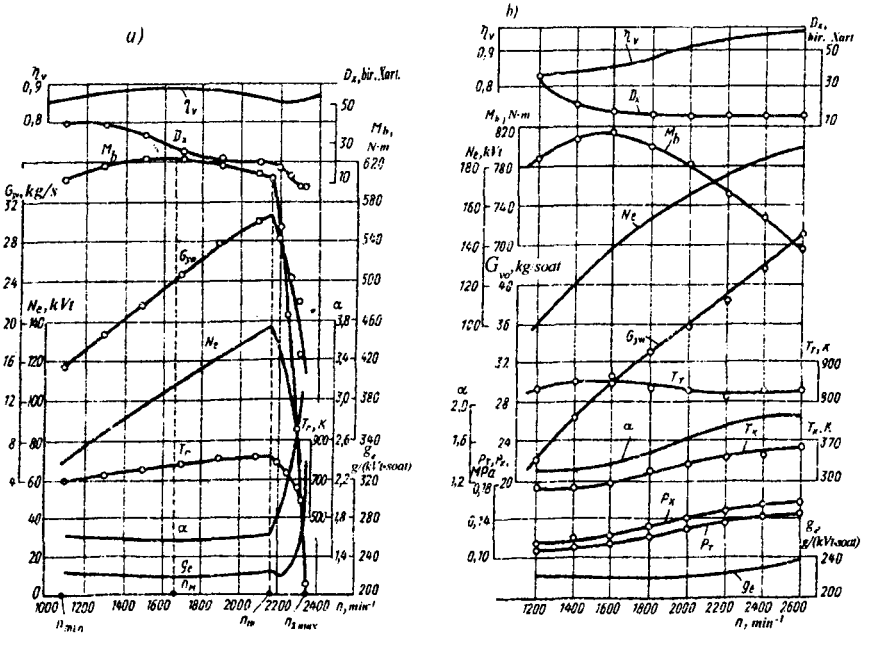
Dizelning tezlik tavsifini ko'rinishi foydalaniladigan rostlagichning turiga bog'liq bo'ladi. Barcha rejimli rostlagich prujinasi eng ko'p cho'zilganda

tashqi tezlik tavsifi regulator tarmog'i bilan aniqlanadi (5.4.2-bandga qarang) (7.14-*a* rasm). Bunda tashqi tezlik tavsifi deb, eng kam aylanishlar chastotasidan nominal n_n aylanishlar chastotasigacha bo'lgan qismiga aytiladi. $n_n ... n_{x\,max}$ oralig'ida tavsifni regulator tarmog'iga ega bo'lamiz. Dizel tezlik tavsifi bo'yicha ishlaganda yonilg'i nasosini reykasi tirakka tegib turgan holatida bo'ladi.

Tavsif $n_{x\,max}$ da tashqi yuklama *0* dan eng yuqori burovchi moment rejimiga mos keladigan yuklamagacha o'zgarishida aniqlanadi. Dvigatel ko'rsatkichlarini *n* ga bog'liqligini grafikda ko'rsatilishida tezlik tavsifini regulator tarmog'i bilan olamiz (7.14-*a* rasm). Agar dvigatel ko'rsatkichlari samarali quvvatga yoki burovchi momentga bog'liq holda ko'rsatilsa, unda regulator tavsifini olamiz (7.15-rasm).

Rostlagich prujinasini cho'zilishi eng ko'p miqdoridan kam bo'lsa, qismiy tezlik tavsifi aniqlanadi. Ularni aylanishlar chastotasiga bog'liq holda ham qurish mumkin (5.38-*b* rasmga qarang). Bunday tavsiflarda tashqi tezlik tavsifini faqat bir qismi tasvirlangan (shakllangan) bo'ladi.

Dizelning tashqi tezlik tavsifi. Havoning sikllik uzatilishi $V_h \eta_v \rho_k$ ga teng bo'ladi. Bosimsiz kiritiladigan dizelda $\rho_k = \rho_0$ va havoning sikllik uzatilishini aylanishlar chastotasiga bog'liq holda o'zgarishi to'ldirish koeffitsiyentini o'zgarish xarakteri bilan aniqlanadi (7.14-*a* rasmga qarang).



7.14-rasm. **Tashqi tezlik tavsiflari:**
a — regulator tarmog'i bilan; b — bosim ostida kiritish bilan.

Rostlanmaydigan gaz turbinali nadduvli dizelda aylanishlar chastotasini o'sishi bilan turbina orqali gazlarning sarfi va turbinada bosimni pasayish darajasi ortadi, bu o'zi bilan TK valining aylanishlar chastotasini ortishiga olib kelib, p_k, T_k va $\rho_к$ larni ham oshiradi. p_k va T_k larni ko'tarilishi p_a / p_k nisbatni ortishiga va zaryad isishini kamayishiga olib keladi, shuning uchun to'ldirish koeffitsiyenti ortadi.

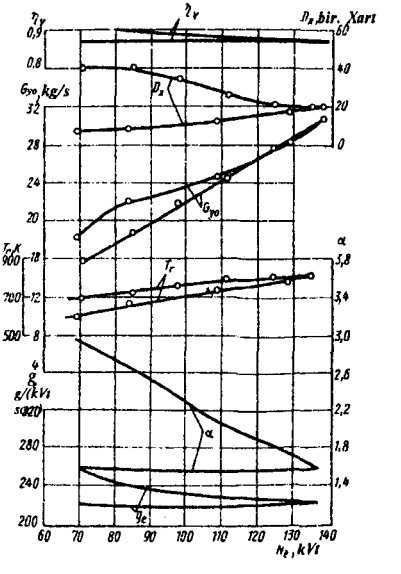
Agar bosimsiz kiritiladigan (nadduvsiz) dizelda η_v eng katta miqdorga, odatda, ba'zi o'rtacha aylanishlar chastotasi (eng kam va nominal oralig'i)da ega bo'lsa, bosim ostida kiritiladigan (nadduvli) dizelda to'ldirish koeffitsiyentining eng yuqori qiymati katta aylanishlar chastotasi tomon siljiydi va ko'proq nominal aylanishlar chastotasida sodir bo'ladi (7.14-b rasmga qarang).

Shuning uchun rostlanmaydigan gazturbinali nadduvli dizelda havoning sikllik sarfi aylanishlar chastotasini o'sishi bilan η_v va $\rho_к$ larni ortishi natijasida ko'payadi. Oraliq aylanishlar chastotasiga (nominal bo'lmagan) sozlangan va rostlanadigan nadduv tizimlari (bosim ostida kiritish) qo'llanilsa, n funksiyada silindrlarni massali to'lishini o'zgarish xarakteriga jiddiy ta'sir qiladi, xususan aylanishlar chastotasini pasayishida massali to'lishini jiddiy ko'payishini ta'minlaydi.

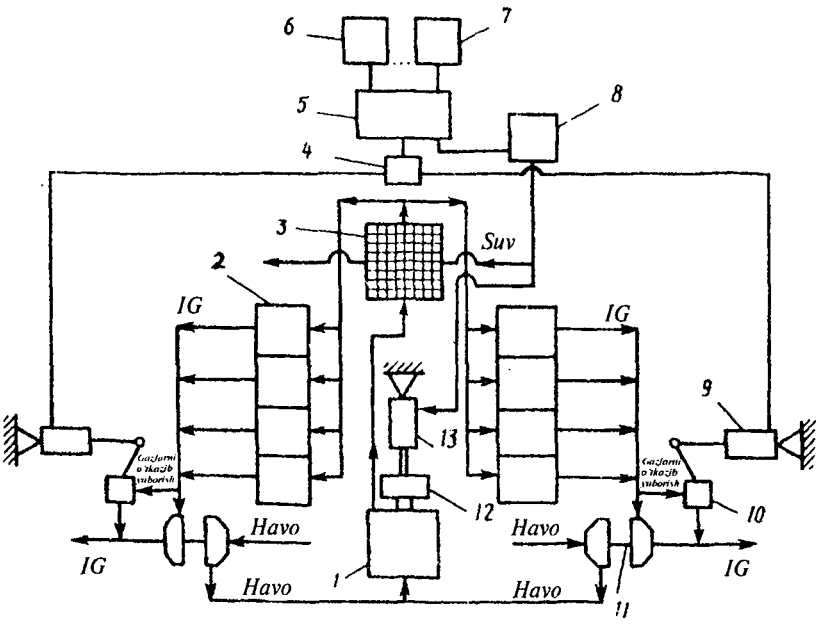
Turbinaning soplo apparati kuraklarini burish bilan rostlanadigani TK kam o'lchamga ega bo'lgan holatida, odatda, murakkabligi, narxining yuqoriligi va mexanizmini ishonchliligi yetarlicha bo'lmaganligi tufayli ishlatilmaydi.

TK ni oraliq aylanishlar chastotasiga sozlanishi mohiyatiga ko'ra samarali kesimi eng kam bo'lgan turbina tanlanishini bildiradi. Bu barcha aylanishlar chastotasi oralig'ida π_T va π_k larning ortishini va p_k ni ko'tarilishini ta'minlaydi. Biroq bunda yuqori aylanishlar chastotasida chiqarish ishi haddan tashqari ko'payib ketishi mumkin. $M_b = f(n)$ ning berilgan bog'lig'ida past aylanishlar chastotasiga sozlash, past chastotalarda tejamkorlikni yaxshilanishini ta'minlaydi, chunki bu yerda α va indikator FIK lar o'sishining ijobiy ta'siri ustuvor turadi.

Yuqori aylanishlar chastotasida chiqarish ishining ko'payishini salbiy ta'siri ustun turadi va tejamkorlik yomonlashadi. Aylanishlar chastotasini keng miqyosida ishlaydigan dizellar uchun bunga bog'liq holda turbinani chetlab gazlarni o'tkazib yuborishni qo'llash zarur bo'lib qolishi mumkin.



7.15-rasm. **Bosimsiz kiritiladigan dizelning rostlagich tavsifi.**



7.16-rasm. **Boshqariladigan kombinirlangan (bosim ostida kiritish) va turbinani chetlab gazlarni o'tkazib yuboradigan dizelning prinsipial sxemasi:**
1 — «Ruts» rusumli yurituvchi kompressor; 2 — silindr kallagi; 3 — bosim ostida kiritiladigan havo sovitgichi; 4 — elektromagnit klapan, 5 — boshqarishning elektron bloki; 6 — aylanishlar chastotasi datchigi; 7 — YUBYON reykasining siljish datchigi; 8 — klapanni boshqarish pnevmasilindri; 10 — gaz o'tkazib yuborish klapani; 11 — turbokompressor; 12 — yurituvchi haydovchini uzib qo'yish muftasi; 13 — haydovchi yuritmasini uzib qo'yuvchi muftasini boshqarish pnevmosilindri.

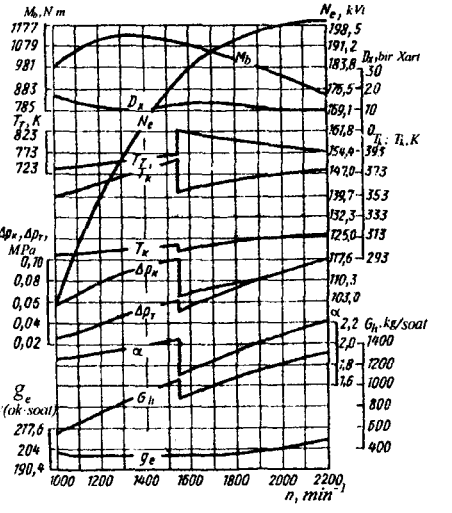
Agar o'tkazib yuborish rejimlari (katta aylanishlar chastotasi)da havoning ortiqlik koeffitsiyentini kamayishi va oqibatida indikator FIK ni kamayishi, chiqarish ishini pasayishi tufayli mexanik FIK ni o'sishidan kam darajada ro'y bersa o'tkazib yuborish to'g'risidagi yechim qabul qilinadi.

Dizelning yuqori aylanishlar chastotasida TK vali aylanishlar chastotasini haddan tashqari oshib ketishi oqibatida ham o'tkazib yuborish zarur bo'lishi mumkin.

Kichik o'lchamli TK uchun turbinaning rostlashni qo'llanishi mumkin bo'lgan boshqa usullari ham mavjud, masalan turbina g'ildiragi kuraklariga gazni kirishdagi eng kam samarali kesimi va burchagini o'zgartirishni ta'minlaydigan kiritish patrubkasida profillangan siljiydigan maxsus detall yordamida. Nihoyat, dizelning tashqi tezlik tavsifini radikal usul bilan shakllantirish, bu boshqariladigan kombinirlangan (bosim ostida kiritishni) nadduvni qo'llash hisoblanadi, bunda kompressor (TK) va yurituvchi kompressor ketma-ket ulangan (7.16-rasm), lekin past aylanishlar chastotasida havoni siqish vazifasini yurituvchi kompressor, yuqori aylanishlar chastotasida esa TK bajaradi. Dvigatelning ma'lum aylanishlar chastotasiga

erishishida va yetarlicha kam yuklanishida yurituvchi kompressor avtomat ravishda uzib qo'yiladi. Kichik yuklamalarda va ayniqsa, yuqori aylanishlar chastotasida turbinani chetlab gazlarni o'tkazib yuboradigan klapan ham avtomat ravishda ochiladi.

Bosim ostida kiritishning bunday tizimi dizel ishlashini barcha rejimlarida bir vaqtning o'zida burovchi moment zaxirasini va tejamkorlikni yuqorililigini ta'minlashga imkon beradi. 7.17-rasmda KamAZ va MADI tomonidan ishlab chiqilgan, bosim ostida kiritish boshqariladigan kombinirlangan tizimli dizelning tashqi tavsifi ko'rsatilgan. Yurituvchi kompressorni uzib qo'yish η_m ni oshishini va g_e ni kamayishini ta'minlaydi. O'rtacha aylanishlar chastotasida TK ta'minlaydigan bosim ostida kiritishni bosimi gazlarni o'tkazib yubormagan holda ham yetarlicha bo'ladi. Eng yuqori aylanishlar chastotasi oralig'ida o'tkazib yuboruvchi klapanni ochiq holatida TK ta'minlaydigan bosim ostida kiritishni bosimi yetarli deb hisoblanadi. O'tkazib yuborish klapanini ochiq turishi chiqarish ishini kamaytiradi, η_m ni oshiradi va g_e ni kamaytiradi.



7.17-rasm. **Boshqariladigan kombinirlangan nadduvli dizelning tashqi tezlik tavsifi.**

Kam yuklamalarda yurituvchi kompressorni uzib qo'yilishi va o'tkazib yuborish klapanini ochiq turishi dizelning aylanishlar chastotasi kichik bo'lganda maqsadga muvofiq hisoblanadi, chunki kiritish qismlari oldidagi havo zichligining kichikligi havoning ortiqlik koeffitsiyentining yuqoriligini ta'minlaydi, yurituvchi kompressorni uzib qo'yish va o'tkazib yuborish klapanlarini ochiq turishi esa dizelning η_m ni va tejamkorligining oshishini ta'minlaydi. $p_e - n$ koordinatlardagi ko'p parametrli tavsifda rostlash doirasi (7.5-§ ga qarang) 7.18-rasmda ko'rsatilgan.

Umumiy holda α ni aylanishlar chastotasiga bog'liqlik xarakteri $\eta_V \rho_k / V_s$ majmua bilan aniqlanadi.

Yonilg'ining sikllik uzatilishi V_s ga ta'sir qilib, $\alpha = f(n)$ bog'liqlikni (istalgan) har qanday xarakterini ta'minlash mumkin.

$$M_b = K_m p_e,$$

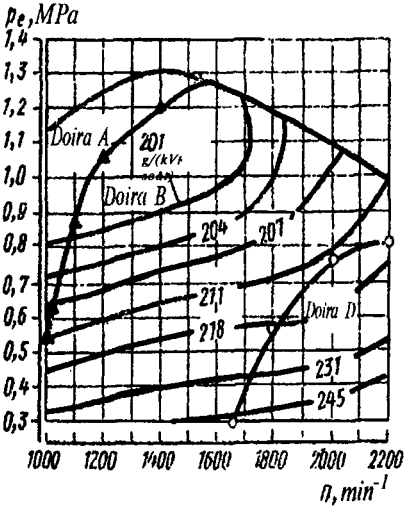
$$p_e = \frac{V_s \rho_{yo} H_u \eta_i \eta_m}{V_h}, \quad V_s = \frac{V_h \eta_V \rho_k}{\alpha l_0 \rho_{yo}}$$

bo'lishini e'tiborga olib, quyidagini olamiz:

$$M_b = K_m \frac{\eta_v \rho_k H_u \eta_i \eta_m}{\alpha\, l_0}$$

ya'ni, α ni aylanishlar chastotasi bilan o'zgarish xususiyati tashqi tezlik tavsifini shakllantirishda asosiy boshqaruv omillarining biri bo'lib hisoblanadi.

Havoni bosimsiz kiritiladigan dizel uchun $M_B = A_1 \frac{\eta_V \eta_i \eta_m}{\alpha}$ bunda $A_1 = K_m \frac{\rho_0 H_i}{l_0}$. Agar sikllik uzatish α ni miqdori o'zgarmas holatda qoladigan qilib o'zgartirilsa, u holda moment $\eta_v \eta_i \eta_m$ ga proporsional ravishda o'zgaradi. Ushbu holatda aylanishlar chastotasini pasayishida η_i kamayadi, η_m esa ortadi. M_b ni eng yuqori qiymatini $\eta_v \eta_i \eta_m$ = max bo'lganda olamiz. M_b ni qo'shimcha oshishi α ni ma'lum oraliqqacha kamaytirishda olinishi mumkin. Ushbu holatda n ni kamayishi bilan $\alpha = idem$ dagiga qaraganda η_i sezilarli kamayadi. Bu yerda α ni kamayishi bo'yicha cheklash tutab chiqish me'yori bilan bog'liq. Shuning uchun nadduvsiz dizelni burovchi momenti zaxirasini oshirish imkoni cheklangan va u, odatda, 10...12% dan ortmaydi. Havo bosim ostida kiritiladigan dizelda



7.18-rasm. **Kombinirlangan bosim ostida kiritish va turbinani chetlab gazlarni o'tkazib yuborish boshqariladigan dizelning ko'p parametrli tavsifi:** A doira-yurituvchi haydovchi ulangan; B doira-yurituvchi haydovchi uzib qo'yilgan; D doira-yurituvchi haydovchi uzib qo'yilgan va klapanlar ochiq.

$M_b = A_2 \frac{\eta_V \rho_k \eta_m \eta_i}{\alpha}$, bu yerda

$$A_2 = K_m \frac{H_u}{l_0}.$$

Bunda yana bir boshqariladigan $\rho_к$ miqdor paydo bo'ladi. Yuqorida ko'rsatib o'tilganidek, $\rho_k = f(n)$ ni bog'liqlik xarakteriga ta'sir qilishning radikal yo'li mavjud. Shuning uchun bosim ostida kiritiladigan dizelning burovchi momenti zahirasini orttirish imkoni ko'p va zaxira qiymati 35...40% ga yetadi.

Bosim ostida kiritiladigan dizellarning tashqi tezlik tavsifini shakllantirishda bosim ostida kirituvchi agregatlarning tavsifi muhim ahamiyatga ega bo'ladi. Yurituvchi kompressor bo'lgan holatda uning FIK ini oshirish yuritishga sarflanadigan quvvatni kamayshini, demak dvigatelning

mexanik FIK oshishini va samarali solishtirma yonilg'i sarfini kamayishini ta'minlaydi. Gazturbinali bosim ostida kiritishda TK ning FIK ni ortishi gaz almashinuvidagi yo'qotishlarning kamayishini oqibati hisoblanadi, shuningdek, dvigatel η_m ini ortishi va g_e ini kamayishi ham.

Dizelning parametrlarini aylanishlar chastotasiga bog'liq holda o'zgarish xarakteriga ma'lum darajada ta'sir qilishni mumkinligi dizel va bosim ostida kiritish agregatlari tavsiflarini ustma-ust tushishini eng maqbulini beradi. Shunday qilib, dizelning aylanishlar chastotasi n ni pasayishida chiqarib tashlanadigan gazlarni ega bo'lgan ishini TK da bo'ladigan ishqalanishdagi yo'qotishni kamayishiga nisbatan keskinroq pasayishi oqibatida ro'y beradigan turbinaning samarali FIK ini anchaga kamayishiga yo'l qo'ymaslikka erishish, shuningdek, foydalanishda ko'proq uchraydigan rejimda kompressor FIK ni eng yuqori qiymatini ta'minlash mumkin. Dvigatelning bosim ostida kiritish tizimining sozlanishi transport vositasining transmissiyasining turi va foydalanish sharoitlarini e'tiborga olgan holda amalga oshirilishi lozim.

Bosimsiz kiritiladigan va bosim bilan kiritilishi rostlanmaydigan dizellar uchun yonilg'i uzatishni tezlik tavsifini to'g'ri tuzatishdan tashqari teskari tuzatishga o'tishga ham majbur bo'linadi. Bunday yo'l bilan past aylanishlar chastotasi doirasida dizel to'liq yuklamada ishlaganda IG ni tutab chiqishini kamayishiga erishiladi.

$\alpha = f(n)$ bog'liqlik xarakteri ko'p jihatdan aylanishlar chastotasini o'zgarishi bilan η_i ni va IG haroratini o'zgarishini belgilaydi. Aylanishlar chastotasini ortishida qoidaga ko'ra η_i kattalashadi, agar havoning ortiqlik koeffisiyenti doimiy bo'lsa yoki ozgina ko'paysa IG harorati t_T esa ko'tariladi. α ni sezilarli darajada oshishida ma'lum aylanishlar chastotasidan boshlab n ni o'sishi bilan t_T pasayadi (7.14-b rasmga qarang). Aylanishlar chastotasining pasayishida η_i ni kamayishiga yo'l qo'ymaslik uchun (nominal aylanishlar chastotasidagi η_i ning qiymatiga nisbatan) α ni sezilarli darajada oshishini ta'minlash kerak. Buni yonilg'i uzatishni tezlik tavsifi va bosim ostida kiritishni ta'minlaydigan agregatlar tavsiflarini birgalikda mos holda tanlash bilan amalga oshirish mumkin. Yuqorida ko'rsatib o'tilganidek, n ning pasayishida α ni sezilarli darajada orttirish qiyinroq, chunki bir vaqtning o'zida burovchi momentni ma'lum zaxirasiga erishish kerak.

Bosimsiz kiritiladigan dizelda $\rho_k = \rho_0 = const$ bo'lganligi uchun M_b va p_e larning aylanishlar chastotasiga nisbatan o'zgarish xarakteri $(\eta_i / \alpha)\eta_V\eta_m$ ifoda bilan aniqlanadi. 4,5-a rasmda ko'rsatilganidek, n ni pasayishida η_i / α kamayadi, agar bir vaqtning o'zida α ozgina ortsa. $\alpha = const$ bo'lganida xarakteri bo'yicha shunga o'xshash bo'lib, lekin η_i / α kamroq o'zgarishga ega bo'ladi.

Bunga qaramasdan aylanishlar chastotasini n_n dan n_m gacha pasayishida (7.14-a rasmga qarang) η_v va ayniqsa η_m oshishini ustuvorligini ta'siri tufayli M_b ko'payadi. n ni keyinchalik pasayshida η_i / α va η_v larning kichiklashishini ustuvorligining ta'siri tufayli burovchi moment kamayadi. Ko'rib

chiqilayotgan holatda burovchi moment zaxirasini ortishiga yonilg'i uzatishni tezlik tavsifini tuzatish bilan erishish mumkin. Bunda n ni pasaya borishi bilan α kamayadi, η_i 4.5-a rasmda ko'rsatilganiga qaraganda ko'p darajada yomonlashadi, lekin η_i / α va M_b larni ortishi ta'minlanadi.

Demak, kerakli burovchi moment zaxirasini olish η_i kamayishi bilan bog'liq. Gaz turbinali bosim ostida kiritish tizimi sozlanmaydigan va rostlanmaydigan dizellarning burovchi momentining zaxirasi, n chastotasini pasayishida ρ_k ni kamayishi tufayli bosimsiz kiritiladigan dizellarnikiga qaraganda kam bo'lishi mumkin. Agar havo ta'minlanishini mos keladigan yo'l bilan tashkil etib, n ni pasayishida η_i ni yetarlicha yuqori qiymati saqlansa, u holda yonilg'ining sikllik uzatilishini ko'paytirish bilan burovchi momentni keraklicha o'sishiga erishish mumkin.

Bosimsiz kiritiladigan va, ayniqsa, rostlanmaydigan va sozlanmaydigan bosim ostida kiritiladigan tizimli dizellar uchun M_b aylanishlar chastotasiga bog'liq holda nisbatan kam o'zgaradi.

Aylanishlar chastotasini pasayishida qonunga ko'ra η_i kamayadi, η_m esa ortadi*. Solishtirma samarali yonilg'i sarfi, $\eta_i \eta_m$ ko'paytmani eng yuqori miqdorini ta'minlaydigan ayrim o'rtacha aylanishlar chastotasida eng kam qiymatga erishadi.

Agar dizelda purkashni ilgarilatish burchagining avtomati mavjud bo'lmasa, uning eng maqbul qiymati esa nominalga yaqin aylanishlar chastotasi doirasida tanlanadi, u holda past aylanishlar chastotasida $\varphi_{p.il}$ haddan tashqari ko'payib ketadi, bu o'zi bilan p_z, λ, $(\Delta p / \Delta \varphi)_{max}$ larni, detallar haroratini, IG dagi azot oksidi miqdorini va boshqalarni ko'payishiga olib keladi. Agar $\varphi_{p.il}$ barcha aylanishlar chastotasida eng optimaliga yaqin bo'lsa, yonishning eng yuqori bosimi n ni ortishi bilan o'sadi, bosim ostida kiritilishi rostlanmaydigan dizelda, ayniqsa, keskin ortadi. $(\Delta p / \Delta \varphi)_{max} = f(n)$ ni o'zgarish xarakteri dvigatel xususiyligini o'ziga xosligiga bog'liq.

Aylanishlar chastotasini ortishi bilan IG ning tutab chiqishi kamayadi, azot oksidlarini miqdori esa ortadi.

Tashqi tezlik tavsifi bo'yicha N_e, M_b, p_e va yonilg'ini sarfi standart atmosfera sharoitiga keltiriladi: barometrik bosim 100 kPa, havoning harorati 25°C va nisbiy namligi 50%. Yonilg'ining standart harorati 25°C, yonilg'ini standart zichligi esa 0,823 t/m^3 deb qabul qilinadi.

Tezlik tavsifini rostlagich tarmog'i. Regulator tarmog'i bo'yicha dizel ko'rsatkichlarini aylanishlar chastotasiga bog'liq holda shakllanishida, n ni o'sishi bilan avtomat rostlagich amalga oshiradigan sikllik uzatishni kamayishi hal qiluvchi bo'lib hisoblanadi. Regulator tarmog'i bo'yicha n ni o'zgarish oralig'i ko'p bo'lmaganligi tufayli, dizelning ko'rsatkichlarini

* Mexanik FIK ni sezilarli darajada orqaga qaytishga korreksiyalashda n ni kamayishi o'rtacha indikator bosimni tez pasaygani uchun juda kichik aylanishlar chastotasida pasayishi mumkin.

o'zgarishi, asosan, yuklamani o'zgarishi bilan bog'liq. Shuning uchun tezlik tavsifining regulator tarmog'ini tahlil qilish uchun yuklama tavsifini ko'rib chiqishda keltirilgan ma'lumotlardan foydalanish mumkin.

Regulator tarmog'i bo'yicha η_m ni birmunchaga keskin kamayishini ko'rsatib o'tamiz, chunki buni yuklamani pasayishidan tashqari bir vaqtning o'zida aylanishlar chastotasini biroz o'sishi ham keltirib chiqaradi. To'ldirish koeffitsiyenti regulator tarmog'i bo'yicha o'zgarmasligi mumkin, chunki isish kamayishini ta'siri n ni o'sishi bilan zaryad harakati tezligini ortishi tufayli kiritish tizimida bosim yo'qolishini ko'payishi bilan o'rni to'ldiriladi.

Dizelning rostlagich tavsifi. Dizel va uning quvvati iste'molchisini birgalikda ishlashini tahlil qilishda ayrim hollarda regulator tavsifi tezlik va yuklama tavsiflaridan qulayroq hisoblanadi (7.15-rasmga qarang). Yuklama tavsifiga nisbatan regulator tavsifi tashqi yuklamaga bog'liq holda ko'rsatkichlar o'zgarishini aniq aks ettiradi, chunki regulator tavsifi bo'yicha ko'rsatkichlarni o'zgarishiga ishlatish jarayonida o'rin bo'lganidek bir vaqtning o'zida yuklama va aylanishlar chastotasi ta'sir qiladi.

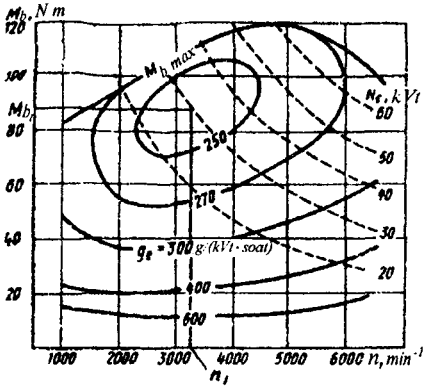
Tezlik tavsifiga nisbatan regulator tavsifi yaqqolroq va qulay, ayniqsa, dizel regulatorda ishlaganda uning olinadigan qismini ko'rib chiqilishida, chunki tezlik tavsifini mumkin bo'lgan masshtabda qurishda dizel ko'rsatkichlari aylanishlar chastotasini ko'p bo'lmagan oralig'ida keskin o'zgaradi, bu ularning o'zgarish darajasini aniq baholashni va tahlilini qiyinlashtiradi. Ko'rib chiqilayotgan tavsiflar uchun parametrlari orasidagi o'zaro bog'liqlik tezlik tavsifini tahlilida keltirilgan.

7.5. DVIGATELNING KO'P PARAMETRLI (UNIVERSAL) TAVSIFI

Yuqorida ko'rib chiqilgan dvigatel tavsiflarining ko'pchiligida turli ko'rsatkichlarini bitta bog'liq bo'lmagan o'zgaruvchiga bog'liqligi tahlil qilindi: tezlik tavsiflarida n ga nisbatan, yuklama tavsiflarida N_e yoki M_b ga va boshqalarga nisbatan. Amaliyotda dvigatelning parametrlari va ko'rsatkichlarini ikki va undan ortiq o'zgaruvchilarga bog'liq holda o'zgarishini o'rganishga ko'pincha zarurat tug'iladi, buni ko'p parametrli tavsiflardan foydalanish bilan bajarish mumkin. Tadqiqot qilinadigan ko'rsatkich ko'proq burovchi moment (yoki p_e) — aylanishlar chastotasi koordinatalarida uning doimiy miqdorlari chiziqlar ko'rinishida tasvirlanadi, bu uning o'zgarishini dvigatelning yuklama va tezlik rejimlarini barcha maydonlarida tahlil qilishga imkon beradi.

7.19-rasmda dvigatelning yonilg'i tejamkorligini tavsiflaydigan ko'p parametrli tavsifi $M_b - n$ koordinatalarida ko'rsatilgan.

g_e yoki η_e ning doimiy miqdorlari chiziqlar bilan ko'rsatilgan tavsifi maydonini yuqorisi tashqi tezlik tavsifi bo'yicha olingan burovchi momenti egri chizig'i, past tomoni salt yurish rejimiga muvofiq kelgan abssissa



7.19-rasm. M_b — n **koordinatalarida dvigatelning ko'p parametrli tavsifi.**

o'qi, o'ng va chap tomonlari esa eng yuqori va eng past aylanishlar chastotasi bilan cheklangan. Tahlil qilish qulay bo'lishi uchun grafikda N_e ning doimiy qiymatlariga mos keladigan chiziqlar to'ri qayd qilinadi.

Bunday tavsiflarni tahlili dvigatel ishlashini tejamliroq rejimi doirasini tezda baholashga, bir nechta dvigatellarni o'zaro yoki ushbu dvigatel modifikatsiyasi natijalarini taqqoslashga, eng foydali (qulay) ishlash rejimini tanlashga yordam beradi. Dvigatelning bir xil quvvati n va M_b larning birgalikdagi turli qiymatlarida olinishi mumkin; bunda yonilg'i tejamkorligi farqlanadi. Dvigatel (va avtomobil)ning eng yaxshi yonilg'i tejamkorligi, masalan, N_e = 30 kVtga teng bo'lgan quvvatida eng yaxshi tejamkorlik n_1 va M_{b1} larning birgaligida bo'ladi (7.19-rasm). Demak, shunga o'xshash ko'p parametrli tavsiflar ko'chmas qurilmalar dvigatellarining ishlashini tejamkor rejimini tanlash yoki avtomobil transmissiyasining uzatmasi nisbatini aniqlash uchun qulay hisoblanadi.

Ko'p parametrli tavsiflarni M_b — n koordinatalarida qurish bir nechta yuklama va tezlik tavsiflari asosida bajariladi. Boshlang'ich tavsiflar soni yetarlicha bo'lmagan holatda izo chiziqni oraliq nuqtalari grafik interpolyatsiyasi bilan topilishi mumkin.

Ko'p parametrli tavsiflar faqat yonilg'i tejamkorligini, mexanik FIK va boshqani tahlil qilishda ishlatilib qolmasdan, boshqa parametrlar kechishini ko'rib chiqishda ham ishlatilishi va ular boshqa koordinatalarda qurilishi mumkin.

Boshqarishni mikroprotsessor tizimlarini joriy qilinishi sababli ko'p parametrli tavsiflarda α, $\varphi_{o'.il}$ kabi va boshqalar parametrlarning doimiy miqdorlarini chiziqlari ko'proq tasvirlanadi, bu keyinchalik dasturli boshqarish tizimi uchun boshqariladigan parametrlar qiymatlarini muvofiq kelgan matritsalarini qurishga imkon beradi (7.7-bandga qarang).

Ko'p parametrli tavsiflarning qurishni EHM dan foydalanib avtomatlashtirish mumkin. Buning uchun tadqiqot ma'lumotlari (masalan, yuklama tavsiflari yoki ko'p omilli tajribalar natijalari) matematikaviy bog'liqlik bilan approksimatsiya qilinadi, so'ngra ulardan tadqiqot qilinadigan parametrning doimiy qiymatli nuqtalarini koordinatalari topiladi. Ushbu nuqtalar ko'p parametrli tavsiflarni grafiklarida qayd qilinadi va izochiziqni hosil qiluvchini chiziqli, kvadratli yoki murakkabroq bog'liqlik bilan qismlari bo'yicha approksimasiya qilinadi.

7.6. DVIGATELLARNING BARQARORLASHMAGAN REJIMLARDAGI TAVSIFLARI

Foydalanish sharoitida avtomobil dvigateli ko'proq barqarorlashmagan rejimlarda (BMR) ishlaydi. BMR lar orasida tezlatish rejimi ko'proq ahamiyatli hisoblanadi. BMR lar doimiy aylanishlar chastotasida ham bo'lishi mumkin, tashqi yuklamani o'zgarishida uni saqlash bevosita haydovchi yoki avtomat rostlagich yordamida amalga oshiriladi.

Dvigatelni ishga tushirish va qizdirishdagi barqarorlashmagan rejimlar, shuningdek, nobarqaror bo'ladigan majburiy salt yurish (MSYU) rejimlari ham ekologik nuqtayi nazardan noqulay hisoblanadi.

Xususan, BMR larning belgisi bo'lib, dvigatel beradigan energiya va iste'molchi sarflagan energiyaning tengsizligi (disbalans) hisoblanadi. Agar energiya dvigatel va iste'molchining burovchi momentlari bilan (M_q) xarakterlansa, u holda ushbu shart quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$M_b - M_q = \pm J \frac{d\omega}{d\tau}, \tag{7.2}$$

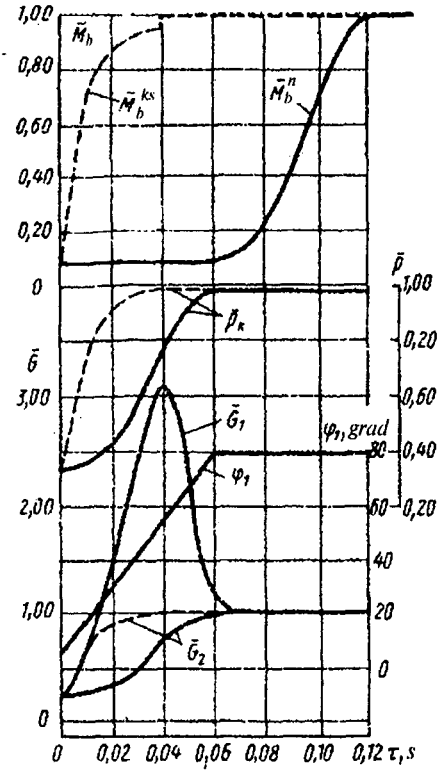
bunda: J — tirsakli val o'q chizig'iga keltirilgan dvigatel-iste'molchi tizimini aylanma va qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi massalari inersiyasining qutbiy momentlarining yig'indisi. Bunday BMR lar dvigatelning tezlik rejimini o'zgarishi bilan bog'liq.

BMR ning umumiy belgisi bo'lib, dvigatel holatini baholaydigan parametrlaridan hech bo'lmaganda birini vaqt bo'yicha o'zgarishi hisoblanadi.

BMR larning ketma-ketligi ko'rinishidagi dvigatel ish rejimini o'zgarishi *o'tish jarayoni* deb ataladi, ya'ni o'tish jarayoni vaqt bo'yicha tartiblashtirilgan BMR larni ko'pchiligi hisoblanadi. Agar ushbu o'tish jarayonini tashkil etuvchi barcha BMR larda dvigatel holatini xarakterlaydigan barcha parametrlar qiymati o'xshash BR lardagi qiymatlariga mos kelsa, unday o'tish jarayonlarini *kvazistatsionar* deb ataladi. Dvigatel valini aylanishlar chastotasi miqdorini va boshqarish qismlari holatini bir xilligidagi rejimlar o'xshash deb tushuniladi.

O'tish jarayonini sodir bo'lishiga, odatda, dvigatelning boshqarish qismlari (DBQ) holatini o'zgarishiga yoki tashqi yuklamani o'zgarishiga tashqi ta'sir sabab bo'lib hisoblanadi. O'tish jarayonida dvigatelning ko'rsatkichlari ta'sir boshlanishidan keyin o'tgan vaqtga va ta'sirning turiga bog'liq bo'ladi.

Dvigatelning tezlik rejimini o'zgarishi bilan bog'liq bo'lgan o'tish jarayonlarida chiqishdagi energetik ko'rsatkichlarni o'xshash BR larini mos kelgan qiymatlaridan farqlanishi, iste'molchiga beriladigan samarali burovchi moment $\left(M_b^n\right)$ga ta'sir qiladigan dvigatelning mexanik inersionligi bilan qisman keltirib chiqariladi. Masalan, dvigatelni tezlashishida M_b^n indikator moment $\left(M_i^n\right)$dan faqat ishqalanish, gaz almashinuvi va yordamchi mexanizmlarni yuritish $\left(M_m^n\right)$dagi yo'qotishlar miqdoriga farqlanib qol-



7.20-rasm. **Drossel to'smaqopqoq tez ochilishi keltirib chiqargan o'tish jarayonida karbyurator $\left(\bar{G}_1 = G_1 / G_0\right)$ va dvigatel $\left(\bar{G}_2 = G_2 / G_0\right)$ orqali havo sarfi, kiritish quvuridagi bosim $\left(\bar{p} = p_k / p_0\right)$ va burovchi moment $\left(\bar{M}_b^n = M_b / M_{bo}\right)$ ning nisbiy oniy o'zgarishi:** φ_1 — karbyuratorning birlamchi kamerasi drossel to'smaqopqog'ining burilish burchagi; G_0, M_{bo} — o'tish jarayoni nihoyasiga yetganidan so'ng havo sarfi va burovchi moment; p_0 — atrof-muhit bosimi; dvigatel *V*8; *iVh* = 7,7*l*, $n = 1000\,\text{min}^{-1}$; --- - kvazistatsionar o'tish jarayonida ko'rsatkichlar o'zgarishi.

masdan aylanuvchi va qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi massalarning tezlashishiga sarflangan miqdoricha ham farqlanadi:

$$M_b^n = M_i^n - M_m^n - J_D \frac{d\omega}{d\tau}, \quad (7.3)$$

bunda: J_D — dvigatelning aylanma va qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi massalari inersiyasini val o'q chizig'iga keltirilgan qutbiy momenti (keyinchalik — dvigatelni inersiya momenti).

M_b^b ga mos keluvchi (adekvatli) ko'rsatkich sifatida dvigatelning ko'rsatilgan massalarini tezlashishiga bo'lgan sarfni o'z ichiga oladigan nobarqaror rejimlariga *kvazieffektiv burovchi moment* $\left(M_e^{n'}\right)$ tushunchasi qo'llaniladi. U holda $M_b^b - M_b^{n'}$ ning farqi o'xshash BR va BMR lardagi dvigatelning ishchi jarayonlari va ichki yo'qotishlarini mos kelgan tashkil etuvchilarining farqlanishi bilan bog'liq.

O'tish jarayonlari η_i ni o'zgarishida ifodalanadigan η_v ni, silindrlardagi aralashma tarkibi α ni, aralashma hosil qilish, yonish va issiqlik ajralib chiqish sharoitini o'zgarishiga olib keladi. Masalan, uchqundan o't oldiriladigan dvigatelni tezlashishidan oldingi boshlang'ich rejimi DTQ ochilish burchagi φ_1 ni kamligi, kiritish o'tkazuvchi quvuridagi bosim p_k ni pastligi va mos holda undagi yonuvchi aralashma miqdorining kamligi bilan xarakterlanadi.

Aksincha, DTQ to'liq ochilishida kiritish quvuridagi bosim va undagi yonuvchi aralashmaning miqdori eng ko'p bo'ladi. DTQ tezlik bilan ochilishida

karbyurator orqali yoki kiritish quvuriga kirishida havoning sarfi $\bar{G}_1$ dastlabki paytda dvigatelning to'lishini emas, kiritish quvuri hajmida havoning massasini o'zgarish jadalligini belgilaydi (7.20-rasm.)

Dvigatel silindrlari to'lishini belgilaydigan havoni ular orqali sarfi $\bar{G}_2$ p_k va T_k larga (n = const bo'lganda) bog'liq va o'xshash BR larni mos kelgan qiymatlaridan ancha kam (ular shtrix chiziqlar bilan ko'rsatilgan. 7.20-rasm). Aynan ushbu gazodinamik hodisa $M_b^{n'}$ miqdorni kvazistatsionar moment M_b^{ks} dan farqlanishiga aniqlovchi bo'lib ta'sir qiladi. Lekin ushbu farq DTQ ni ochilishidan so'ng tezda tugaydi. O'tish jarayonlarini gaz almashinuvi tizimiga bo'lgan ta'siri DTQ ning ochilish tezligini kamayishi bilan pasayadi. DTQ ni to'liq ochilishidagi tezlashish rejimlarida ushbu omil amaliy ahamiyatga ega bo'lmaydi. Bosim ostida kiritiladigan dizellarda dvigatel va TK ni faqat gaz bilan bog'liqligi va TK ning mexanik inersionligi tufayli tezlashish paytida dizelning energetik ko'rsatkichlarini pasayishini keltirib chiqaradigan silindrlarni massali to'lishining kamayishi cho'zilib ketadi.

Bundan tashqari havo miqdorini uzatiladigan yonilg'i miqdoriga mos kelmasligi aralashmani quyuqlashishiga va IG ning tutab chiqishini ko'payishiga olib keladi.

BMR lardagi dvigatel detallarining issiqlik holatini ularning shunga o'xshash BR lardagi issiqlik holatiga mos *kelmasligi dvigatelning issiqlik inersiyasi* deb ataladi. Uning o'ziga xosligini xarakteri, o'tish jarayoniga nisbatan yonilg'i uzatish va gaz almashinuvi tizimlarida davomiyligini ko'pligi hisoblanadi

Kam yuklama bilan dvigatelning tezlashishida issiqlik inersiyasi uning to'lishini oshirishi mumkin, bu kiritish quvuri gaz bilan isitiladigan dvigatellar, havo bilan sovitiladigan dvigatellar va dizellar uchun xarakterli. Kiritish quvuri suyuqlik bilan isitiladigan dvigatellarda issiqlik inersiyasining silindrlarni to'lishiga bo'lgan ta'siri ko'p emas.

Issiqlik inersiyasi aralashma hosil qilish va yonish jarayonlariga sezilarli darajada ta'sir qiladi.

O'tish jarayonlarida DTQ ning tez ochilishi yoki yopilishi keltirib chiqargan karbyuratorli dvigatellarning silindriga uzatiladigan yonilg'ini o'zgarishi qisman karbyuratordagi, qisman esa kiritish quvuridagi hodisalar bilan bog'liq. Tezlashishdan oldin yonilg'ini uzatilishi salt yurish tizimi orqali amalga oshiriladi, bu bosh dozalovchi tizim kanallarida yonilg'i sathini pasaytiradi.

DTQ ni tez ochilishida yonilg'i oqimi o'z yo'nalishini diffuzor tomon o'zgartiradi, lekin yonilg'i to'zitkichdan chiqish paytigacha bosh dozalovchi tizim kanallarini to'ldirishi kerak. Ushbu transportli kechikishning davomiyligi 0,4...0,7 s oralig'ida yotadi va diffuzordagi havo oqimi tezligiga va karbyuratorni o'ziga xosligiga bog'liq.

Ushbu kechikishning kamaytirishni samarali vositasi bo'lib, ikkilamchi kamerasi pnevmatik boshqariladigan ikki kamerali karbyuratorlarni ishlatish hisoblanadi.

DTQ tez yopilishida salt yurish tizimi orqali yonilg'i uzatishni, uning uzun kanallarini yonilg'i bilan to'ldirilishini zarurligi tufayli kechikishi ham mumkin (0,5...1,3 s).

Tezlashishda dvigatelning silindrlarida aralashmani suyuqlashishini boshqa sababi kiritish quvuri devorlarida yonilg'i pardasini ko'payishi hisoblanadi.

DTQ keskin ochilganda to'zitkichdan oqib chiqadigan yonilg'ining bir qismi yonilg'i pardasi qalinligini oshirishga sarflanadi, u silindrlarga ancha kechikib tushadi. Ushbu hodisa bilan bog'liq bo'lgan aralashmani suyuqlashishi juda ko'p va tezlatish nasosi (TN) yordamida bartaraf qilinadi. TN uzatgan yonilg'i dvigatel silindriga kirayotgan aralashmani qisman quyuqlashtiradi, qisman kiritish quvuri devorlarida cho'kindi hosil qiladi va ma'lum vaqtdan so'ng silindrga kirayotgan aralashmani ikkinchi marta quyuqlashishiga olib keladi. Aralashma tarkibini stabillashishi DTQ siljishini boshlanishidan 2...4 s o'tgandan so'ng ro'y beradi.

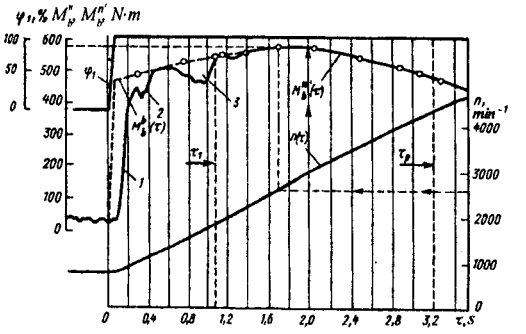
Dizellarning BMR larida yonilg'ini sikllik uzatilishini shunga o'xshash BR dagiga nisbatan o'zgarishi yuqori bosimli yonilg'i nasosi (YUBYON) plunjerini faol yo'liga yuqori bosimli yonilg'i naychasidagi qoldiq bosimni bog'liqligi bilan bog'langan. Nasos reykasi boshlang'ich holatidan eng ko'p uzatadigan holatigacha tezlik bilan siljitilishida navbatdagi sikldan (eng ko'p uzatish siklidan) oldin yonilg'i naychasidagi qoldiq bosim, plunjerni kam faol yo'lida kechgan oldingi sikldagi (boshlang'ich rejim sikli) qoldiq bosimga teng bo'ladi. Past aylanishlar chastotasida ushbu qoldiq bosim plunjerni eng ko'p faol yo'lidagiga mos keladigan miqdoridan ko'p, bu tezlashishdagi bir qancha birinchi ishchi sikllarida sikllik uzatishni oshishiga olib keladi. Ayrim hollarda bu IG ning tutab chiqishini oshirishi mumkin.

Dizellarni tezlashishida issiqlik inersiyasining ta'siri ayniqsa devor yonida aralashma hosil qilishda kuchliroq o'zini ko'rsatadi. Issiqlik inersiyasi alangalanishni kechikish davrini uzaytiradi va dizelni bikrli ishlashini orttiradi.

BMR larda dvigatellarni sinash, avtomobildagi yuklanishga adekvat bo'lgan dvigatel yuklamasini o'lchashga imkon beradigan maxsus modellashtiruvchi stendlarda o'tkaziladi.

BMR larni dvigatel ko'rsatkichlariga ta'sirini baholash, ularni o'xshash bo'lgan BR laridagi mos kelgan ko'rsatkichlari bilan taqqoslash orqali amalga oshiriladi.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelda DTQ ni tez va to'liq ochilishida amalga oshiriladigan tezlashish jarayoni boshlang'ich va asosiy fazalarga ajratilishi mumkin (7.21-rasm). Boshlang'ich fazada davomiyligi τ_1 bo'lgan o'tish tavsif $M_b^{n'}(t)$ va $M_b^b(\tau)$ lari miqdori va sifati bo'yicha keskin farq qiladi. Tezlashishning asosiy fazasi ($\tau \geq \tau_1$ bo'lgan)da $M_b^{n'}(\tau)$ ni o'zgarishi uning miqdori va statik tashqi tezlik tavsifi bo'yicha o'zgarishi bilan aniqlanadi, lekin $M_b^{n'} \approx M_b^b$. Umumiy holda asosiy fazaning boshlanishi deb, vaqt bo'yicha hosilalarning uzoq muddat va barqaror mos kelishi hisoblanadi: $M_b^{n'} \approx M_b^b$.



7.21-rasm. **Karbyuratorning birlamchi kamerasi DTQ ni tez ochish bilan amalga oshirilishida karbyuratorli dvigatelning tezlashish jarayoni.**

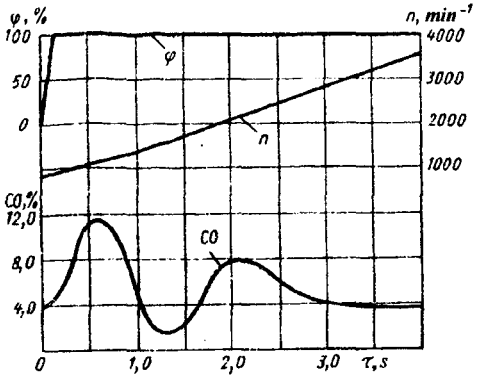
Dvigatel *V*8, *iVh* = 7,7*l*.

Tezlashishning boshlang'ich fazasida burovchi moment $M_b^{n'}(t)$ ni o'zgarishi, uning keskin ko'tarilish (1) qismini va uni qisqa vaqt davomida pasayadigan ayrim qismlari (2 va 3) ni o'z ichiga oladi (7.21-rasm). $M_b^{n'}(t)$ ni bunday o'zgarish xarakteri drossel to'smaqopqoqni ochilishi keltirib chiqaradigan kiritish va yonilg'i uzatish tizimlaridagi o'tish jarayonlari bilan aniqlanadi, shuningdek, dvigatel ishlashini sikllilik omillari bilan ham, u tufayli kiritishdagi har qanday o'zgarish faqat kiritish va siqish jarayonlari nihoyasiga yetganidan so'ng dvigatel silindrida amalga oshirilishi mumkin; shuning uchun $M_b^{n'}(\tau)$ egri chiziq ushbu jarayonlarni bajarish uchun zarur bo'lgan vaqt oralig'iga $\bar{G}_2(\tau)$ egri chiziqqa nisbatan faza bo'yicha siljigan (7.20-rasmga qarang).

$M_b^{n'}$ ning keskin ko'tariladigan qismi 1 (7.21-rasm), asosan, salt yurish tizimini ishlashi bilan aniqlanadi. 2-qismida $M_b^{n'}$ ni qisqa vaqtli buzilishi (7.21-rasm) bosh dozalovchi tizim ulanishini kechikishi va kiritish quvuri bo'yicha yuqorida yoritilgan hodisalar bilan bog'liq. $M_b^{n'}$ ni asta-sekin o'zgarish doirasi 3 da buzilishini karbyuratorning ikkilamchi kamerasini ishga tushishi keltirib chiqaradi (7.21-rasm).

Tezlashishning asosiy fazasini boshlanishi dvigatel tizimlarida o'tish jarayonlarini uning energetik ko'rsatkichlariga ta'sirini tugash paytiga mos keladi.

Tezlashishning asosiy fazasida bosimsiz kiritiladigan dizellar ko'rsatkichlari (yonilg'i nasosi reykasi siljitilgandan va yonilg'i uzatish tizimida o'tish jarayonlari nihoyasiga yetgandan so'ng), odatda, o'xshash bo'lgan BR lardagi mos miqdorlarga to'g'ri keladi. Tezlashishning boshlanish fazasida va regulator tarmog'iga chiqishda bunday dizellarning energetik ko'rsatkichlarini o'zgarishi rostlagich konstruksiyasiga bog'liq va uning dinamikaviy sifati bilan aniqlanadi.



7.22- rasm. **DTQ tez ochilishi keltirib chiqargan karbyuratorli dvigatelning tezlashish jarayonida IG dagi *CO* miqdorining o'zgarishi.**

Turbonadduvli dizelni tezlashishida TK ning rotorini mexanikaviy inersionligi tufayli tirsakli valning aylanishlar chastotasiga nisbatan massali to'lishi ko'payishini kechikishi energetik ko'rsatkichlarni kamayishini cho'zilib ketishiga (4...5 s gacha) va ko'p bo'lishiga (20%) olib keladi (o'xshash BR larga nisbatan).

BMR larda dvigatellarning tejamkorligi, odatda, barcha o'tish jarayoni uchun baholanadi. Bu birinchidan yonilg'i sarfini oniy sarfini o'lchaydigan ishonchli vositalarning yo'qligi, ikkinchidan yonilg'i uzatish va uning dvigatel silindrlarida amalga oshirish orasida vaqt bo'yicha uzilish bo'lishi bilan bog'liq, bu oniy solishtirma samarali yonilg'i sarfi tushunchasini noo'rin ishlatishga olib keladi.

BMR larda dizellarning tejamkorligi rostlagich turiga sezilarli bog'liq. Shahar sharoitida harakatlanishida eng yaxshi tejamkorlikni (4...6% ga) ikki rejimli rostlagich ta'minlaydi. Bunga YUBYON reykasini cheklagichga kam sonli chiqishi oqibatida erishiladi.

DBA ga ta'sir qilish keltirib chiqargan dvigatel tezlashishini o'tish jarayonlarida, odatda, IG zaharliligini shunga o'xshash BR laridagi mos kelgan ko'rsatkichlariga nisbatan ortishi ro'y beradi.

CO va *CH* otqinlarning ko'payishi TN ning qo'shimcha yonilg'i uzatishi bilan, ayniqsa, uni ortiqcha ish unumdorligida bog'liq (7.22-rasm). Ko'paygan yonilg'i pardasini dvigatel silindrlariga yetib kelishi *CO* ning ikkilamchi ortishini keltirib chiqaradi.

IG larda *CH* ni ancha ko'payishi MSYU ga o'tishda, yonilg'i pardasini jadal bug'lanishi tufayli silindrlardagi aralashmani o'ta quyuqlashishiga olib kelishida kuzatiladi.

NO_x otqinga nisbatan bir xil ma'noli baholash mavjud emas. Agar tezlashishda aralashmaning quyuqlashishi ustun bo'lsa, NO_x otqini kamayadi, agar aralashmani suyuqlashishi ustun bo'lsa, uni biroz ortishi kuzatiladi.

Dizellarda IG ning zaharliligini belgilovchi asosiy omillari bo'lib, aralashma tarkibi va dvigatelning issiqlik inersiyasi hisoblanadi.

Aralashmaning quyuqlashishini boshlanishi (turbonadduvli dizellarda davomiyligi ko'proq) *CO* va *CH* otqinlarni ko'payishiga, shuningdek, IG ning tutab chiqishini ham ortishiga olib keladi.

Dvigatelning issiqlik holatini pasayishi *CH* ni ko'payishiga yordam qilib, odatda, NO_x otqinlarni kamayishiga olib keladi. Ajratilgan yonish kamerali dizellarda tezlashish rejimlarida zaharli moddalar miqdori, o'xshash bo'lgan BR lardagi miqdorlardan ko'p bo'lmaydi. Bu bunday dizellarning issiqlik holatini barqarorlashganligi bilan tushuntiriladi.

Dizelda zaharli moddalar otqiniga rostlagich turi sezilarli ta'sir qiladi. Shahar sharoiti harakatida barcha rejimli rostlagichlar o'rniga ikki rejimli rostlagichlardan foydalanish *CO* va *CH* otqinlarni ancha kamaytirishga va , shuningdek, IG ni tutab chiqishini ham pasaytirishga imkon beradi. Rostlagichning turi NO_x otqinga deyarli ta'sir qilmaydi.

7.7. DVIGATEL ISHLASHINI KOMPLEKS MIKROPROTSESSORLI BOSHQARISH

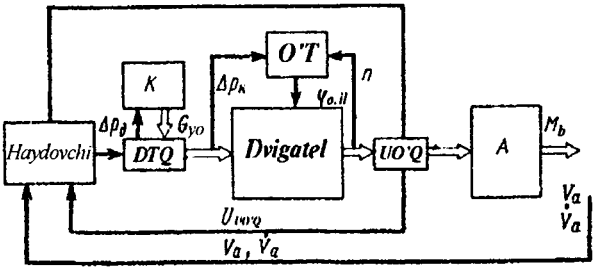
7.7.1. DVIGATEL VA UNI BOSHQARISHGA TALABLAR

Avtomobil dvigatellariga qo'yiladigan talablarning ko'pchiligi (masalan, quvvatiga, yonilg'i tejamkorligiga, dvigatelning ekologik tavsifiga, uning narxiga, massa tashqi o'lcham ko'rsatkichlariga, ishonchliligiga, ko'rsatilgan yonilg'ida ishlashi mumkinligiga va qator boshqalarga talab) muqobil hisoblanadi, ya'ni bir-biriga qarama-qarshi. Shuning uchun barcha talablarni to'laligicha qondirish deyarli mumkin emas va yechim kompromiss asosida qabul qilinadi.

Odatda, dvigatelga tatbiqan u yoki bu talablarni bajarishda turli yo'llar bilan erishish mumkin, shuning uchun bir nechta konsepsiya mavjudligi to'g'risida gapiriladi, masalan, yuqori tejamkorlik yoki quvvat bo'yicha yuqori kuchaytirilganlik yoki ekologik toza dvigatel.

7.23-rasmda karbyuratorli dvigatelni avtomobilda boshqarishni sodda sxemasi ko'rsatilgan.

Haydovchi karbyurator (K) ni DTQ ga ta'sir qilib, dvigatelga kiradigan aralashma miqdorini o'zgartiradi. Haydovchi bir vaqtning o'zida uzatishni o'zgartirish qutisi $U_{UO'Q}$ yordamida transmissiyani uzatish nisbati $u_{uo'q}$ ni o'zgartirishi mumkin. Transmissiyani uzatish nisbati avtomobil g'ildiragida-



7.23-rasm. **Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelni avtomobilda boshqarish sxemasi.**

gi burovchi momentni o'zgartirib qolmasdan, dvigatelning ko'p parametrli tavsifining ko'rinishiga qaraganda (7.19-rasmga qarang) dvigatel ishlash sharoitini o'zgartiradi, chunki avtomobilni berilgan tezlik bilan harakatlanishi uchun zarur bo'lgan samarali quvvati n va M_b larni birgalikdagi boshqa qiymatlarida olinadi. Bir vaqtning o'zida dvigatel ko'rsatkichlari — yonilg'i tejamkorligi, zaharli moddalar otqini, shovqini va boshqalar ham o'zgaradi.

An'anaviy sxema bo'yicha bajarilgan karbyuratorli dvigatellarda ishchi jarayonlarni kechishiga boshqarish ta'sirini imkoni cheklangan. Qizigan dvigatel uchun DTQ ni berilgan ochiq turishida ushbu imkoniyat α va $\varphi_{o'.il}$ larni rostlashdan iborat bo'ladi. Ushbu rostlashlarni ikkita alohida avtomat amalga oshiradi: karbyurator va o't oldirish tizimini uzgich — taqsimlagichining pnevmomexanik avtomati.

Shunday qilib, uchqundan o't oldiriladigan dvigatel $n = const$ bo'lganda, o'zgarmas atmosfera sharoitlarida va issiqlik rejimida ishlaganda samarali burovchi momenti, tejamkorligi va ekologik ko'rsatkichlari bir xil ma'noda uch omil bilan aniqlanadi: η_v, α va $\varphi_{o'.il}$.

Bosimsiz kiritiladigan dizelning ishchi jarayonlariga boshqarish ta'sirini imkoniyati yanada ko'proq cheklangan. Berilgan aylanishlar chastotasida va sikllik uzatishda ular faqat $\varphi_{p.il}$ ni o'zgarish imkoni bilan cheklanadi.

An'anaviy sxema bo'yicha bajarilgan dvigatellarda ishchi jarayonlar bilan boshqarish imkonini cheklanganligi tufayli barcha rejimlarda ishchi jarayonlarning yetarlicha yuqori darajada sifatli kechishini saqlashga muyassar bo'lmasdan, asosiy muhim rejimlarda ham mumkin bo'lgan ko'rsatkichlar chegarasini olishga muyassar bo'linmaydi. Masalan: past aylanishlar chastotasida gaz almashinuvini va dvigatelni barqaror ishlashini yomonlashishi tufayli, yuqori aylanishlar chastotasida mumkin bo'lgan eng yuqori quvvatini olish uchun gaz taqsimlash fazalarini amalga oshirib bo'lmaydi.

Dvigatelga qo'yiladigan talabni o'zi, uni ishlash rejimiga bog'liq holda o'zgarishi ham holatni murakkablashtiradi.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelda DTQ ning to'liq va unga yaqin holatda ochilish rejimida berilgan yonilg'ida detonatsiyasiz ishlashini ta'minlash bilan eng yuqori burovchi momentni olish eng muhim talab hisoblanadi.

Ushbu dvigatellar uchun qismiy yuklamalarda birinchi o'ringa zaharli otqinlarni cheklash va yonilg'i tejamkorligini yuqori bo'lish talabi ilgari suriladi. Bundan tashqari BMR larda o'ziga xos qo'shimcha talablar sodir bo'ladi (dvigatelni ishga tushirish va qizitish, yuklamani pasaytirish va ko'paytirish yoki aylanishlar chastotasini tez o'zgartirish va boshqalar).

Dvigatelning barcha rejimlarda ishlashida unga qo'yilgan talabni eng yuqori darajada qondirish, ishchi jarayonlarni eng yaxshi tashkil qilishni ta'minlaydigan boshqarish ta'sirini yangi va qo'shimcha usullarini barpo qilish bilan bog'liq.

Qo'shimcha usullardan ba'zilari, masalan, havoni oraliq sovitish bilan bosim ostida kiritishni, yonilg'ini taqsimlangan fazalashtirilgan purkashni (uchqundan o't oldirilgan dvigatellarda), IG dan foydalanishni (retsirkulyatsiya) va boshqalarni qo'llash keng miqyosda tarqalgan. Bosh-

qalari, masalan, zaryadni uyurma harakati tezligi ω ni, uzatilayotgan yonilg'i tarkibini, klapan ko'tarilishini va gaz taqsimlash fazalari o'zgarishini, zaryad qatlamlanishini boshqarish kabilar foydalanishda tekshirilmoqda va modellarni cheklangan sonida qo'llanilmoqda.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelni ishlashiga boshqarish ta'sirini noan'anaviy usullarini ayrimlari to'g'risida taassurotni 7.1-jadvalni tahlil qilishda olish mumkin.

Dizellarning rivojlanishi ham shunga o'xshash yo'l bilan bormoqda.

7.1-*jadval*

Dvigatel ishlashiga ta'sir qilish usuli	Asosiy maqsad	Dvigatelning ishchi jarayonlarini va ko'rsatkichlarini asosiy o'zgarishlari
O't oldirish manbalarini soni va uchqun razryadini energetik tavsifini boshqarish.	Aralashmani suyuqlashish oralig'ini kengaytirish. Yonilqi sarfi va zaharli otqinlarni kamaytirish.	Alangalanish jarayonini o'zgarishi. Aralashmani suyuqlashish chegarasini oshirish natijasida η_i, η_m va zaharli moddalar otqinini o'zgarishi.
Gaz taqsimlash fazalari va klapanlar ko'tarilishini boshqarish.	Tashqi tavsif bo'yicha quvvat ko'rsatkichlarini yaxshilash. Yonilg'i tejamkorligini oshirish. Zaharli otqinlarni kamaytirish.	η_v va p_i larni oshirish, yonilg'ini oktan soniga bo'lgan talabni oshirmasdan kengayish darajasini oshishini mumkinligi, zaryad turbuliziyalanishini va qismiy yuklamalarda suyuqlashish chegarasini va η_i, η_m, η_e larni o'zgarishi.
Yonilg'ini to'zitish va bug'lanish sifatini boshqarish.	Ishga tushirish tavsifini va yonilg'i tejamkorligini yaxshilash. Dvigatelni tezlasha olishini yaxshilash.	Aralashma hosil qilish, alangalanish, yonish jarayonlarini yaxshilash. Aralashmani suyuqlashish chegarasini kengaytirish.
Zaryad qatlamlanishini boshqarish.	Yonilg'i tejamkorligini oshirish va zaharli otqinlarni kamaytirish. Quvvatni sifatli rostlash doirasini kengaytirish.	Aralashma alangalanishi va yonishini yaxshilash. Uni suyuqlashish chegarasini kengaytirish, η_i, η_m, η_e larni oshishi, zaharli otqinlarni kamayishi.
Silindrlar va sikllarni uzib qo'yish.	Qismiy yuklamalarda yonilg'i tejamkorligini oshirish.	Sikl η_i ini yaxshilash va drossellashdagi yo'qotishlarni kamayishi. η_e, η_m larni oshishi. Dvigatelni bir tekis ishlashini yomonlashish.
Siqish darajasini rostlash.	Yonilg'ini oktan soniga bo'lgan talabni saqlagan holda dvigatel tejamkorligini oshirish.	Qismiy yuklamalarda η_i, va η_e larni oshishi.
Dvigatel ishchi hajmini rostlash.	Yuqori tejamkorlikni saqlagan holda dvigatel quvvatini o'zgartirish.	Dvigatel quvvatini rostlashda drossellashdan voz kechish hisobiga past yuklamalarda η_i, η_m va η_e larni oshishi.

Davomi

Uzatiladigan yonilg'i tarkibini boshqarish. Ikki yonilg'ili tizimlar.	Yuqori oktan sonli yonilg'ini tejash. Ekologik ko'rsatkichlarni yaxshilash. Muqobil yonilg'ilarni ishlatish.	Past yuklamalarda oktan soni kam bo'lgan yonilg'ilar ishlatilishida yuqori yuklamalarda qo'shilmalar yoki oktan soni yuqori bo'lgan yonilg'iga o'tish hisobiga detonatsiyali yonishni bartaraf qilish. Oktan soni kam bo'lgan asosiy yonilg'ini saqlagan holda ε ni oshirish imkoniyati.

Bosimsiz kiritiladigan dizellar uchun qo'shimcha ravishda ishlash rejimiga bog'liq holda $\varphi_{p.il}$ o'zgartiriladi va mexanik yoki gidromexanik tuzatkichlar yordamida tezlik tavsifi bo'yicha yonilg'ini sikllik uzatilishi tuzatiladi.

Dizellarning ishchi jarayonlarini boshqarishni keyingi rivojlanishi yonilg'i uzatish qonuniyatini va yonilg'ini to'zitilish sifatini boshqarishga imkon beradigan yonilg'i uzatish tizimlarini, siqish darajasi o'zgaruvchan dvigatellarni, IG dan foydalanish yoki suv purkash tizimlarini, qattiq zarrachalar tozalagichlari ishlarini boshqarish tizimlarini va boshqalarni barpo qilishdan iborat bo'ladi.

Dvigatelni ko'p parametrli boshqarish maxsus tizimni barpo qilishni talab qiladi va mikroprotsessor texnikasini paydo bo'lishi bilan bunga amaliy nuqtai nazardan erishishga imkon tug'ildi. Boshqa tomondan mikroprotsessorli boshqarish tizimlarini (MBT) qo'llash samarasi dvigatel ishiga boshqarishlar ta'siri sonini o'sishi bilan ortmoqda, chunki boshqarish tizimining narxi dvigatelni boshqarish funksiyasi soniga va ishchi jarayonini boshqarishdagi umumiy samarali foydasiga qaraganda sekinlik bilan ko'tarilmoqda.

7.7.2. DVIGATEL BOSHQARISH OBYEKTI SIFATIDA

Avtomat ravishda boshqarish obyekti sifatida dvigatelning uchta asosiy ta'sir qilish turlarini to'plami bilan xarakterlash mumkin: kirish, chiqish va g'alayonlovchi.

Obyektning holati chiqish miqdori vektori X ni hosil qiluvchi bir yoki bir necha chiqish miqdorlari x_i, ya'ni obyektni chiqish ko'rsatkichlarini majmuasi bilan xarakterlanadi.

Chiqish miqdori sifatida dvigatel validagi samarali burovchi momentni, aylanishlar chastotasini, dvigatelni yonilg'i tejamkorligi ko'rsatkichlarini, IG ning zaharliligini va boshqalarni ko'rib chiqamiz. Agar boshqarish obyekt holati IYOD ega bo'lganidek, bir qancha chiqish qiymatlari bilan xarakterlansa, bunday obyekt *ko'p o'lchovli* deb ataladi.

Boshqarishning maqsadi chiqish ko'rsatkichlari majmuasiga ma'lum qiymatni ta'minlash hisoblanadi.

Ba'zan boshqaruvchi parametrlar deb ataladigan kirish miqdorlarining

o'zgarishi obyektga nisbatan tashqi tizimlar ta'sirida ro'y beradi. Xususiy holda bunday tizimlardan biri haydovchi hisoblanadi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelni boshqarishda kirish miqdorlari sifatida DTQ ni ochilish burchagi, o't oldirishni ilgarilatish burchagi, uzatilgan yonilg'i miqdori va foydalaniladigan gazlar va boshqalar ko'rib chiqilishi mumkin. Kirish miqdorlari sifatida ko'rsatilgan miqdorlarga bog'liq bo'lgan parametrlar ham qabul qilinishi mumkin, masalan, α, η_v, retsirkulyatsiya klapanini siljish miqdori va boshqalar.

Chiqish (boshqaruvchi) miqdorlar bir qancha bo'lsa, dvigatel boshqarilishini ko'p parametrli deb qarash mumkin.

Tashqaridan obyektga tushadigan, boshqarish maqsadini amalga oshirishga to'siq bo'ladigan ta'sir *g'alayonlash* (shovqin) deb ataladi. Odatda, g'alayonlash tasodif miqdor hisoblanadi va nazorat qilinadigan va nazorat qilinmaydiganlarga bo'linadi. Dvigatelga nisbatan bunday ta'sirga atmosfera sharoiti, avtomobil harakatiga qarshilik, yonilg'i sifatini o'zgarishi va boshqalar kiritilishi mumkin.

Ko'rinishicha dvigatel ko'p o'lchovli va ko'p parametrli obyekt hisoblanadi, biroq har bir kirish miqdorini boshqarish dvigatel ishiga va chiqish ko'rsatkichlarini ko'pchiligiga sezilardi ta'sir qiladi. Chiqish ko'rsatkichlarini kerakli majmuasini olish uchun, ya'ni eng maqbul boshqarish uchun, barcha boshqaruvchi parametrlar miqdorini birgalikda tanlash kerak.

Boshqaruvchi ta'sirlaridan birini tanlash boshqa boshqaruvchi ta'sirini tanlashga bog'liq bo'lsa, bunday boshqarish *bog'liqlik boshqarish* deb ataladi.

BMR larda dvigatelning chiqish ko'rsatkichlarini vaqt bo'yicha kerakli o'zgarishini ta'minlash uchun vaqt bo'yicha mos holda boshqaruvchi ta'siri qiymatini ham o'zgartirish talab qilinadi. Shunday qilib, dvigatel boshqarishni *dinamik* obyekti bo'lib hisoblanadi.

Dvigatel silindridagi ishchi jarayonga ma'lum bo'lgan ta'sir qiluvchilarni ko'pchiligi uchun, boshqaruvchi ta'sirini amalga oshirishni amaliy mumkinligi ishchi yo'lini boshlanishigacha, ayrim hollarda esa kiritish klapanini yopilishi paytigacha tugaydi.

Boshqaruvchilar ta'sirining diskretli xarakterliligi, dvigatelni boshqarishni *impulsli* obyektlarga kiritishga majbur qiladi.

Foydalanish jarayonida dvigatel holati o'zgarib turadi. Shuning uchun, yangi dvigatelga tanlangan boshqaruvchi ta'siri avtomobildan foydalanish jarayonida eng maqbuli bo'lib qololmaydi. Bundan tashqari, ishlab chiqarilayotgan dvigatellar parametrlarini texnologik jihatdan sochilishi yangi bir dvigatelga qabul qilingan boshqarish shunday modeldagi boshqa yangi dvigatellar uchun eng maqbuli bo'lmasligi mumkin. Shunday qilib, dvigatelni boshqarishni *stoxastik nostatsionar obyekti* deb qarash kerak.

Dvigatel va uning agregatlarida kechadigan fizik-kimyoviy, issiqlik, gazdinamik va boshqa jarayonlarning majmuasini ko'p bog'liqliklari chiziqli bo'lmasligi sababli, ularni chiziqli differensial tenglamalari bilan yetarli-

cha aniq yoritib bo'lmaydi. Nochiziqli obyektlarga eng maqbul boshqarishni amalga oshirish chiziqliliga qaraganda murakkab.

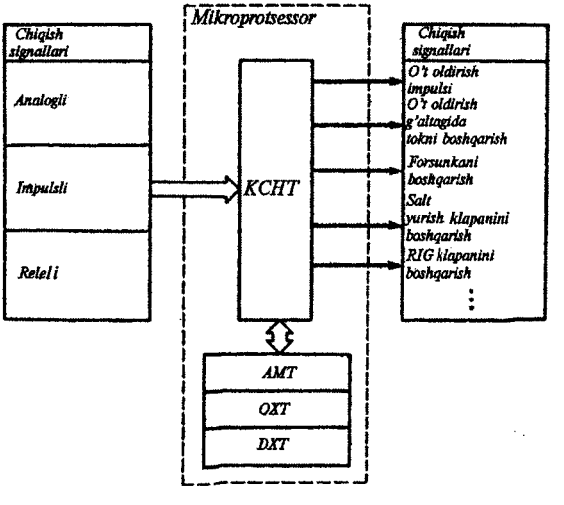
Keltirilganlarga qaraganda avtomobil dvigateli boshqarishni murakkab obyekti hisoblanadi. Bunday murakkab obyektlarga boshqarishni mikroprotsessor tizimlarini ishlab chiqishda eng maqbul boshqarishni zamonaviy nazariyasi usullari va apparatlaridan foydalaniladi. MBT ni paydo qilish va ishlab chiqish uchun boshqarish obyekti sifatida dvigatelning dinamik matematik modeli, maqbullashtirishni matematik usullari, avtomatlashtirilgan sinash stendlari, maxsus modellashtirish qurilmalari va sozlash majmualari keng ishlatiladi.

7.7.3. DVIGATELNI MIKROPROTSESSORLI BOSHQARISH TARKIBI VA TAMOYILLARI

Dvigatelni boshqarish tizimi, boshqarish uchun zarur bo'lgan ma'lumot bilan ta'minlaydigan dvigatel va avtomobilga o'rnatilgan datchiklarni, ushbu ma'lumotlar asosida boshqarish ta'sirini shakllantiruvchi mikroprotsessorli boshqarish blokini, boshqarish blokidan keladigan ishora bo'yicha boshqarish ta'sirini amalga oshirishni ijro etuvchi tuzilmani va boshqarish obyekti — dvigatelni o'z ichiga oladi.

7.24-rasmda mikroprotsessorli boshqarishni soddalashtirilgan blok-sxemasi ko'rsatilgan.

Boshqarish tizimlarida turli toifadagi datchiklardan foydalaniladi: o'xshash (analogli), impulsli, releli. Datchiklardan keladigan kirish ishoralariga dastlabki ishlov berilgan bo'lishi kerak. Ushbu ishlov berish boshqarish blokida yoki ayrim tuzilmalar bilan dasturli yoki apparatlar vositasi yordamida amalga oshiriladi. Masalan, o'xshash ma'lumot o'xshash-sonli o'zgartiruvchilarda sonli ma'lumotga qayta ishlab chiqilishi kerak.



7.24-rasm. **Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelni mikroprotsessorli boshqarish majmuasi blokining tarkibi.**

Boshqarish bloki (mikroprotsessor) ma'lumotlarni kiritish va chiqarish tuzilmasiga (KCHT), shuningdek, arifmetik mantiqiy tuzilmasiga (AMT), doimiy xotiralash tuzilmasiga (DXT) va operativ xotiralash tuzilmasiga (OXT) ham ega.

Olinadigan ma'lumotlarga ishlov berish va boshqarishni shakllantirish DXT va OXT laridan foydalanib, AMT da bajariladi. AMT DXT da saqlanadigan dasturlar bo'yicha faoliyat ko'rsatadi. Bundan tashqari DXT da har bir boshqaruv parametrini aniq miqdori matritsada saqlanadi, ular boshqarish blokiga tushgan boshqarish obyekti holati va tashqi omillar to'g'risidagi ma'lumotga bog'liq holda ijro etuvchi tuzilmasiga tushadigan chiqish ishorasini shakllantirishga imkon beradi.

Avtomat ravishda rostlash nazariyasida uchta fundamental tamoyillardan foydalaniladi: beriladigan ta'sir bo'yicha boshqarish, g'alayonlanish (o'rnini to'ldirish tamoyili) bo'yicha boshqarish, og'ishi bo'yicha rostlash (teskari bog'liqlik tamoyili).

Boshqarishning u yoki bu tamoyilini qo'llanilishini mumkinligi foydalaniladigan ma'lumotni turiga bog'liq bo'ladi.

Agar boshqarish jarayonida dvigatelning chiqish parametrlari x vektorining tashkil etuvchilarining haqiqiy qiymatlari o'lchanib, ushbu parametrlarning istalgan miqdori bilan taqqoslanganida va boshqaruvchi ta'siri chiqish ko'rsatkichlari haqiqiysini og'ishi kutilgan qiymatidan kamayadigan qilib ta'sir qiladigan darajada o'zgarganida edi, u holda bunday tizimda teskari bog'liqlik tamoyilli amalga oshirilgan bo'lar edi. Boshqarishni bunday tizimlari boshqarishni yuqori aniqlik bilan ta'minlaydigan *berk rostlash tizimiga* kiritiladi.

Biroq hozirgi paytda teskari bog'liqlik tamoyili uchqundan o't oldiriladigan IYOD ni boshqarishda cheklangan darajada foydalaniladi, chunki foydalanish sharoitida avtomobilda dvigatelning eng muhim chiqish ko'rsatkichlari bo'lgan quvvatini, IG zaharliligini va boshqalar nazorat qilish amaliy jihatdan juda murakkab.

Shuning uchun dvigatellarning zamonaviy MBT lari ishlashi asosida boshqarishni ajratilgan dasturli tamoyili yotadi. Boshqaruvchi ta'siri, boshqarish blokining kirish qismiga dvigatelni, avtomobilni ishlash rejimini yoki haydovchi ta'sirini xarakterlaydigan turli datchiklarni ishorasi ko'rinishida tushadigan ma'lumotlar bo'yicha beriladigan topshiriq ta'siri asosida mikroprotsessor xotirasida saqlanadigan dasturlar bo'yicha shakllanadi.

Dvigatelga ko'p g'alayonlovchilarni ta'sir etishida ko'rsatilgan topshiriq ta'siri bo'yicha boshqarishni zarur sifati ta'minlanmaydi. Ushbu holatlarda boshqarish blokiga o'lchanadigan g'alayonlovchilar to'g'risida qo'shimcha ma'lumot beriladi, bu g'alayonlashni hisobga olgan holda boshqarish ta'sirini tuzatishga imkon beradi. Shunday qilib, MBT larida berilgan topshiriq ta'siri bo'yicha ham, o'rnini to'ldirish tamoyili ham boshqaruvchi sifatida ishlatiladi.

Zamonaviy dvigatellarda boshqarish tizimini ko'p funksionalli majmuasi qo'llaniladi. Masalan, uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda MBT lari bir vaqtning o'zida $\varphi_{o'.il}$ ni, yonilg'ini sikllik uzatilishini, foydalaniladigan gazlarning uzatilishini, salt yurishda berilgan aylanishlar chastotasini saqlab turishni va boshqalarni boshqarishi mumkin.

Har bir boshqaruvchi parametr bilan boshqarishni shakllantirish, odatda, bog'liqsiz kontur bilan bir xil datchiklardan olingan umumiy ma'lumotdan faqat qisman foydalanib amalga oshiriladi.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellardagi eng muhim boshqaruvchi parametrlarning har birini dasturli boshqarish asosida boshqarishni bazali dasturi deb ataladigani yotadi (ikki o'lchovli bazali matritsa), unga asosan barqaror rejimda ishlayotgan, qizigan dvigatelning aylanishlar chastotasi va yuklamasiga bog'liq holda boshqaruvchi parametrning zarur miqdori aniqlanadi.

Yuklamani baholash uchun bilvosita o'lchashdan foydalaniladi: havoning sarfi, absolut bosim yoki kiritish quvuridagi siyraklanish, drossel to'sma-qopqoqning ochilish burchagi.

Dvigatelning qizishi yetarlicha bo'lmaganda, qandaydir g'alayonlovchi omillar ro'y berganida (atmosfera sharoitini, yonilg'i sifatini o'zgarishi va boshqalar) yoki dvigatel nobarqaror rejimlarda ishlaganida ikki-bir yoki nol-o'lchamli maxsus tuzatuvchi matritsalar yordamida bazali matrisa bo'yicha boshqarishni tuzatish yo'li bilan boshqarish shakllantiriladi. O'ziga xos rejimlarda (DTQ to'liq ochiq, salt yurish, majburiy salt yurish, ishga tushirish va boshqalar) boshqarish maxsus dasturlar orqali amalga oshiriladi.

Tuzatuvchi matritsalaridan foydalanilganda boshqaruvchini ta'sir miqdori uch usul bilan aniqlanadi: additiv, multiplikativ va aralash.

Masalan, uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda $\varphi_{o'.il}$ ning yakuniy miqdorini aniqlash uchun *additiv usulidan* foydalaniladi va boshqarish quyidagi ifoda bo'yicha hisoblanadi.

$$\varphi_{o'.il} = \varphi_{o'.il}\left(\omega, p_k\right) + \Delta\varphi_{o'.il}\left(t_{sov}\right) +$$
$$+\Delta\varphi_{o'.il}\left(t_0\right) + \Delta\varphi_{o'.il}\left(\omega, \dot{\omega}\right) + \ldots,$$

bunda: $\varphi_{o'.il}$ — o't oldirishni ilgarilatish burchagining qiymati; $\varphi_{o'.il}\left(\omega, p_k\right)$ — valning aylanishlar chastotasi va kiritish quvuridagi bosim bo'yicha aniqlanadigan bazali boshqarish; $\Delta\varphi_{o'.il}\left(t_{sov}\right)$ — sovitish harorati bo'yicha tuzatish; $\Delta\varphi_{o'.il}\left(t_0\right)$ — atrof havosining harorati bo'yicha tuzatish; $\Delta\varphi_{o'.il}\left(\omega, \dot{\omega}\right)$ tirsakli valning tezlashishiga bog'liq bo'lgan tuzatish.

Benzin purkalishini boshqarishda, boshqarishni shakllantirish uchun, *multiplikativ* yoki *aralash usullaridan* foydalaniladi. Ushbu holatda yonilg'ini kerakli miqdordagi uzatilishi (elektrmagnit forsunkasining ochiq turish davomiyligi τ) quyidagi ifoda bilan aniqlanishi mumkin:

$$\tau = \frac{G_h}{l_0 nmqk_1\left(t_0, \dot{\omega}\right)\alpha} + \tau\left(\varphi\right),$$

bunda: G_h — havoning massali sarfi; l_0 — havo va yonilg'ining stexiometrik nisbati; n — valning aylanishlar chastotasi; m — valning bir marta aylanishidagi purkashlar soni; q — forsunkaning sarflash tavsifi;

k_1 — tezlashish rejimlarida va boshqalarda dvigatelning issiqlik holatini o'zgarishida yonilg'i uzatishning tuzatilishini ta'minlaydigan o'zgaruvchan ko'paytma; α — boshlang'ich rostlashni belgilaydi (ushbu paytda bazali sath bo'yicha amalga oshiriladiganga nisbatan (bog'liq holda) o'zgarishi yoki $\alpha = 1{,}0$ ni ushlab turuvchi boshqarishni berk konturi ishlaydi); $\tau(\varphi)$ — forsunka ishlashini kechikishi bilan aniqlanadi va akkumulator batareyasi kuchlanishini o'zgarishida boshqarishni tuzatish uchun ishlatilishi mumkin.

Avtomobil va dvigatelning turli modifikatsiyalarida, shuningdek, avtomobillarga bo'lgan talabni o'zgarishida MBT laridan foydalanilganda matritsani kalibrlash o'zgarishi kerak.

Zamonaviy MBT larini ayrim konturlarida berk boshqarish ham ishlatiladi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda u, odatda, dasturli ajratilgan boshqarishga qo'shimcha bo'lib qo'llaniladi va stabillashishni, cheklashni yoki moslashishni xususiy funksiyasini bajaradi. Shuning uchun boshqarishning mahalliy berk konturlarini ishlatish to'g'risida gapirish mumkin.

Bunday mahalliy berk konturlarga, masalan, quyidagilarni kiritish mumkin:

— yonuvchi aralashmaning stexiometrik tarkibini ($\alpha = 1$) yuqori aniqlik bilan saqlashni ta'minlaydigan λ — zond ishorasi bo'yicha yonilg'i uzatishni berk boshqarilishi;

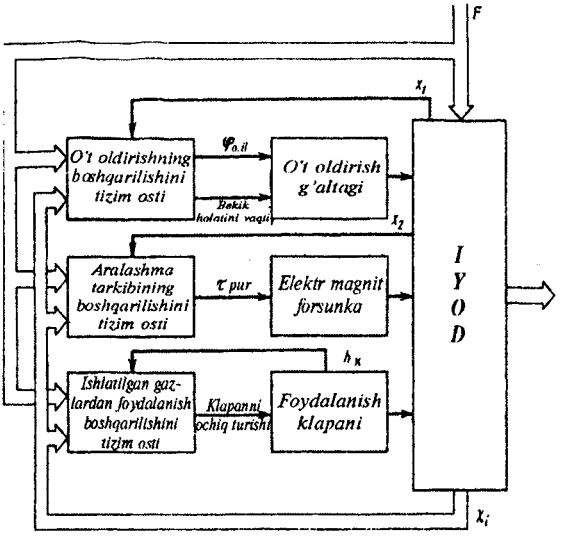
— dvigatel uchun tashqi yuklama o'zgarganda salt yurish rejimida n ning berilgan qiymati doimiyligini saqlash (generatordagi yuklamani o'zgarishi, kondensionerni ulash va boshqalar), bunga yonilg'i uzatish va o't oldirishni mos holda boshqarilishini tuzatib, dvigatelga kirayotgan havo miqdorini rostlash bilan erishiladi;

— bazali dastur bergan topshiriq bo'yicha klapanning ochilish miqdorini aniqroq ushlab turishni ta'minlaydigan siljish datchigini ishorasi bo'yicha teskari bog'liqlik bilan IG dan foydalanish klapanini berk boshqarish.

7.25-rasmda uchqundan o't oldiriladigan dvigatelni kompleks boshqarish tizimining ishlash sxemasi ko'rsatilgan. Tashqi manbalardan, shu jumladan haydovchidan ta'sirlanishlar to'g'risidagi ma'lumot boshqarish blokini kirish qismiga kiradi va o't oldirish, yonilg'i uzatish, IG dan foydalanish va boshqalarni boshqarish tizim ostilari bo'yicha taqsimlanadi.

Boshqarish blokining kirish qismiga dvigatelning ishlash rejimi to'g'risidagi x_i ma'lumot ham tushadi, bu o't oldirish g'altagi zanjirining berk holatini vaqti, yonilg'i uzatish forsunkasining ochiq turish davomiyligi, ishlatilgan gazlardan foydalanish klapanini siljish miqdori va boshqalar bilan $\varphi_{o'.il}$ ni dasturli ajratilgan boshqarishni shakllantirishga imkon beradi.

O't oldirishni ilgarilatilishi bilan asosiy boshqarilishi bazali va tuzatuvchi matritsalar bo'yicha ajratilgan boshqarish kabi quriladi. Sharoitning o'zgarishida detonatsiyali yonish sodir bo'lishi mumkin. Yonishning buzilishi akselerometrik datchik yordamida qayd qilinadi (7.25-rasmda, x_1). Boshqarish blokiga detonatsiya sodir bo'lishi to'g'risida ma'lumot tushsa tizim ish



7.25-rasm. **IYOD kompleks boshqarish tizimi ishlashining blok-sxemasi:**

$\varphi_{p.il}$ — o't oldirishni ilgarilatish burchagi; τ_{pur} — yonilg'i uzatish forsunkasining ochiq turishi davomiyligi; h_k — ishlatilgan gazlardan foydalanish klapani yo'li; F — dvigatelga ta'sir qiluvchi g'alayonlash.

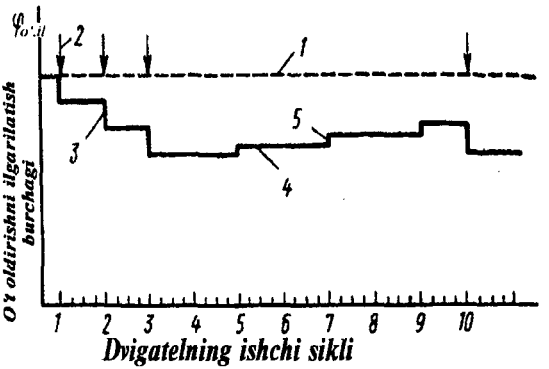
algoritmini o'zgartiradi: asosiy dasturda ko'rilganidek $\varphi_{o'.il}$ avval keskin kamayadi, so'ngra asta-sekin $\varphi_{o'.il.max}$ qiymatigacha ortadi, agar detonatsiya qaytadan ro'y bersa, u holda barcha amal qaytariladi (7.26-rasm). $\varphi_{o'.il}$ ning kamayish miqdori detonatsiyani jadalligiga bog'liq bo'lishi mumkin va ayrim hollarda faqat yonishni buzilishi sodir bo'lgan silindrda amalga oshiriladi. Bunday tizimlarni ishlashida davriy ravishda sodir bo'ladigan detonatsiyadan xoli bo'lish mumkin emas, biroq detonatsiyali sikllar soni keskin qisqaradi.

Dizel ishlashini mikroprotsessorli boshqarish uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarni boshqarish tamoyillari kabi quriladi, biroq dizellarning mikroprotsessorli boshqarish tizimlarida ko'proq bekik boshqarishdan foydalaniladi.

An'ana bo'yicha dizellarda aylanishlar chastotasini avtomat ravishda rostlash, ko'p hollarda esa mexanik va gidromexanik rostlagichlar yordamida yonilg'i purkashni boshlanish paytini avtomat ravishda tuzatish ham qo'llanilgan. Elektromagnit, elektrogidravlik yoki boshqa elektr bilan boshqariladigan ijro etuvchi tuzilmalarning ko'p plunjerli YUBYON reykasini yoki taqsimlash turidagi YUBYON ning yonilg'i dozalovchisini siljitish uchun foydalanib, dizelni mikroprotsessorli boshqarishga o'tkazish oson hisoblanadi. Ushbu holatda dvigatel valini aylanishlar chastotasini (avtomobil tezligi) boshqarilishini asosiy konturida berk rostlash amalga oshiriladi. Topshiriq beruvchi akselerator pedali bilan bog'langan, elektron blok esa topshiriq beruvchi ishorasini V_a va ning (avtomobil tezligini) haqiqiy qiymati to'g'risidagi ma'lumotni olib, yonilg'ini sikllik uzatilishini o'zgartiradi va berilgan tezlik rejimini yuqori darajada aniqlik bilan ushlab turishni ta'minlaydi.

Shunga o'xshash berk boshqarish uchqundan o't oldiriladigan dvigatelli ayrim avtomobillarda ham qo'llanilishini ko'rsatib o'tish lozim. Oxirgi holatda boshqarish DTQ holatini o'zgartirish bilan amalga oshiriladi.

Dizelning mikroprotsessorli boshqarishda tutab chiqishdan holi bo'lish uchun tezlik tavsifi bo'yicha yonilg'i purkashni ilgarilatish burchagini o'zgartirish va yonilg'i uzatishni tuzatish dasturli amalga oshiriladi, biroq $\varphi_{p.il}$ ni rostlashda bazali matritsa, odatda, aylanishlar chastotasiga va yonilg'ini sikllik uzatilishini rostlaydigan qismni holatiga bog'liq holda quriladi, tuzatuvchi matritsalar esa tashqi sharoitni, dvigatel va yonilg'i haroratlarini, nobarqaror rejim xususiyatini va boshqa omillarning o'zgarishini hisobga oladi. $\varphi_{p.il}$ ning berilgan qiymatini aniqroq ushlab turish uchun bir qator tizimlarda mahalliy berk konturdan foydalaniladi, buning uchun forsunkalarga purkashni boshlanish payti datchigi o'rnatiladi.

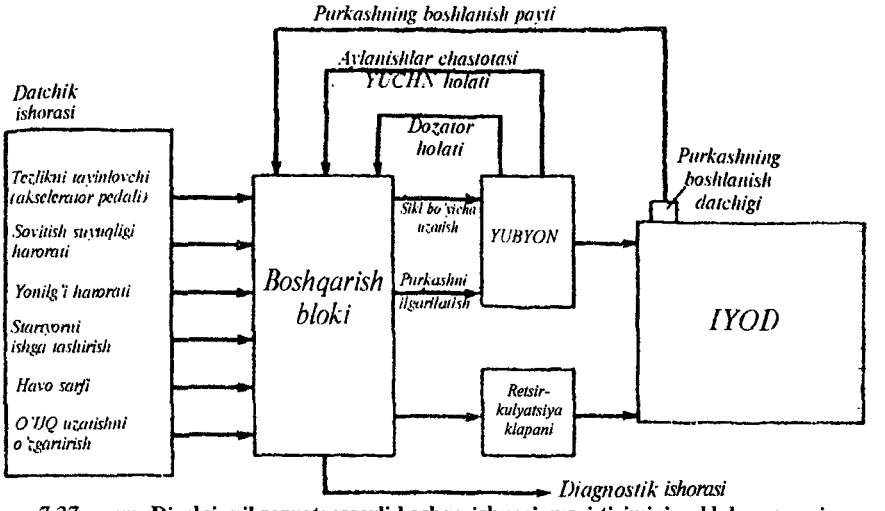


7.26-rasm. **To'rt silindrli dvigatelning silindrlaridan biridagi detonatsiyani yo'qotish konturining ishlash sxemasi:** 1 — $\varphi_{o'.il}$, dasturli o'rnatiladigan; 2 — detonatsiya ishorasi; 3 — detonatsiya ro'y berganda $\varphi_{o'.il}$ ning kamayishi; 4 — $\varphi_{o'.il}$ ni ushlab turish vaqti; 5 — $\varphi_{o'.il}$ ning boshlang'ich holatiga qaytish qadami.

Yonilg'i uzatishning tuzatadigan dasturli tizimlarida ba'zan α ning ruxsat etilgan chegara miqdorlarini ta'minlash uchun havo sarfi to'g'risidagi ma'lumotdan foydalaniladi.

Biroq yuqori bosimli yonilg'i nasosiga ega bo'lgan yonilg'i uzatish tizimi yonilg'i uzatish qonunini va purkash bosimini boshqarishni amalga oshirishga imkon bermaydi, bu dvigatellarning tejamkorlik va ekologik ko'rsatkichlariga va ularning bikrli ishlashiga bo'lgan zamonaviy talablarda muhim hisoblanadi. Akkumulator turidagi yonilg'i uzatish tizimlaridagi elektromagnit yoki elektr gidravlik ijro etuvchi yordamida forsunkani bevosita boshqarishda yoki nasos forsunkani elektr bilan boshqarishda yonilg'i purkash davomiyligini, $\varphi_{p.il}$ ni, yonilg'i uzatish qonunini va yonilg'i purkash bosimini bog'liq bo'lmagan holda rostlash bilan birgalikda bir vaqtning o'zida yonilg'i uzatishni boshqarilishi dasturli mikroprotsessor tizimi bilan amalga oshirilishi mumkin.

Dizeldagi boshqa tizimlar va jarayonlarni mikroprotsessorli boshqarish: ishlatilgan gazlardan foydalanish, suv yoki suv-yonilg'i emulsiyasini purkash, bosim ostida kiritiladigan havo bosimi va harorati, turbokompressor ishini va qattiq zarrachalar tozalagichi ishini boshqarish, silindrlarni uzib (o'chirib) qo'yish va boshqalar dasturli amalga oshiriladi, biroq bir qator hollarda, masalan, bosim ostida kiritiladigan havoning bosimi va haroratini boshqarishda mahalliy berk konturdan foydalaniladi.



7.27.-rasm. **Dizelni mikroprotsessorli boshqarish majmuasi tizimining blok-sxemasi.**

7.27-rasmda dizelni mikroprotsessorli boshqarish majmuasi tizimini blok-sxemasi misol sifatida keltirilgan. Bunday tizimlar faqat dizellarning yonilg'i tejamkorligi yaxshilanishini, tutab chiqishini, zaharli otqinlarini va shovqinli ishlashini pasaytirishni ta'minlab qolmasdan, xususan ishga tushish rejimlarida ularning ishonchli ishlashini va foydalanish xususiyatlarini ham yaxshilaydi.

7.7.4. MIKROPROTSESSOR BOSHQARISH TIZIMLARINI ISHLASH ASOSLARI

Dvigatellarning boshqarishni amalga oshirish uchun mikroprotsessorli boshqarish tizimlarida ayrim amallar bajarilishini ta'minlaydigan, uni ishlash algoritmi kiritilgan bo'lishi kerak. Dastavval, ularga quyidagilar kiradi:

— *vaqtni va valni burilish burchagini kuzatish.* Boshqarish amali siklning ma'lum fazasiga bog'langan, ayrim hollarda esa ma'lum silindrlarga ham bog'liq, mikroprotsessor bajaradigan barcha ishlarni ularga bog'lab tirsakli val holatini doimo kuzatib turish kerak (to'rt taktli dvigatellar uchun esa taqsimlash vali holatini ham). Boshqacha aytganda vaqt dispetcheri zarur;

— *datchikdan keladigan ma'lumotni olish, ishlov berish va taqsimlash.* Bunda datchiklarning haqiqiy tavsiflarini e'tiborga olish kerak, ayrim hollarda esa ushbu tavsiflarga avtomat ravishda tuzatish amalga oshiriladi, agar ular ishlatish jarayonida o'zgarsa;

— *dvigatel ish rejimini tanish (identifikatsiyalash)*, dvigatel ushbu paytda qanday rejimda ishlayotganligini o'rnatish va boshqarishni shakllantirish uchun algoritmning mos kelgan tarmog'ini va dasturini tanlash (rejimlar dispetcheri).

Ish rejimini identifikatsiyalash uchun maxsus algoritm bo'yicha datchiklar so'roq qilinadi va tushadigan ma'lumotlarga asosan ishlash rejimi o'rna-

tiladi. Qoidaga ko'ra identifikatsiyalash uchun maxsus datchik — kalitlardan tushadigan axborot va dvigatel valini aylanishlar chastotasi to'g'risida berilgan ma'lumotlardan foydalaniladi. Rejimni identifikatsiyalash tamoyili 7.27-rasmdan tushunarli, unda ish rejimini aniqlash uchun olinadigan axborotning mumkin bo'lgan variantlaridan biri berilgan;

— tez o'tuvchi rejimlarning identifikatsiyalash uchun valning aylanishlar chastotasi tezligini o'zgarishi, havo sarfi va drossel to'smaqopqoq holati to'g'risidagi axborotlardan foydalaniladi;

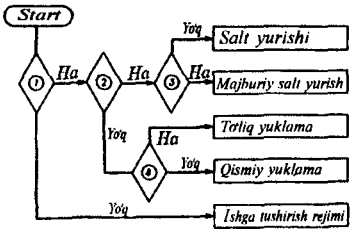
— dvigatelning ish rejimini identifikatsiyalashdan, algoritm va boshqarish dasturini tanlashdan so'ng matritsalarni kalibrlash asosida mikroprotsessor maxsus dastur bo'yicha *boshqarishni kerakli qiymatlarini hisoblaydi.* Boshqarishni muhim konturlari bo'lgan yonilg'i uzatishni, o't oldirishni yoki yonilg'i purkashni ilgarilatishini va boshqalar kabilarni boshqarish uchun ma'lumotlarni ishlab chiqish jarayoni sikl vaqtini faqat bir qismini egallaydi, bu har bir ketma-ket siklda boshqarishni o'zgartirishga imkon beradi;

— boshqarishni hisoblangan qiymatlariga muvofiq *chiqish ma'lumotlariga ishlov beriladi va ijrochi tizimga mos buyruq chiqariladi,* bu amal maxsus algoritm bo'yicha amalga oshiriladi;

MBT larini rivojlana borishi bilan ularning imkoniyati kengaymoqda — zamonaviy tizimlarni ayrimlari qat'iy dasturlar bo'yicha faqat boshqarishni shakllantirib qolmasdan, dvigatelni, datchiklarning holatlarini va ishlatish sharoitini o'zgarishiga bog'liq holda *foydalanish jarayonida boshqarish matritsalarini kalibrlashni ham dasturlarni o'zi moslashtiradi.* Shuning uchun MBT larida muvofiq keladigan moslashish algoritmlari ko'zda tutiladi;

— MBT lari boshqarishni shakllantirish vazifasidan tashqari *dvigatel ishini, datchiklarini nazorat impulslarini kirishga uzatishda tizim ishini to'g'riligini diagnostikalashni* amalga oshiradi. Har bir nuqson ma'lum kodga ega, undan avtomobilni asboblari o'rnatilgan taxtacha paneliga ma'lumotlarni chiqarish yoki uni xotiralash va maxsus testerlarga chiqarish uchun foydalanish mumkin (avtomobillarga xizmat qilishda). Murakkabligi turli darajada bo'lgan testlar mavjud, shu jumladan mikroprotsessor bilan ta'minlangani ham, bu displey ekraniga faqat nuqsonlar to'g'risidagi ma'lumotlarni chiqarishga imkon berib qolmasdan ularning tuzatish uchun tadbirlar to'g'risidagi axborotlarni ham chiqaradi.

MBT lari *boshqarish tizimini bir yoki bir nechta elementlarini ishlamay qolishida ham dvigatel yoki avtomobilning ishlash qobiliyatini ta'minlashi kerak.* Buning uchun MBT elementlarini ishlamay qolishida dvigatel ishlashini kafolatlaydigan, ba'zan boshqarishning sifatini birmunchaga yo'qolishi bilan aylanib o'tadigan qo'shimcha boshqarish algoritmi ham ko'zda tutiladi. Masalan, λ — zond ishlamay qolganda yonuvchi aralashmani stexiometrik tarkibini saqlashda, maxsus matritsa bo'yicha havoni sarfi to'g'risidagi ma'lumotga bog'liq holda boshqarishni amalga oshirish mumkin, biroq ushbu holda $\alpha = 1$ ni saqlab turish aniqligi pasayadi va bunda neytralizatorni ishlashi ham yomonlashadi. Har qanday holatda ham boshqarish tizimini ishlashida



7.28-rasm. **Dvigatel ish rejimini indifikasiyalash algoritmining sxemasi:** 1 — starter ulangan; 2 — drossel to'smaqopqoq berk; 3 – $n > n_{syu}$; 4 — drossel to'smaqopqoq to'liq ochiq.

nuqsonlar sodir bo'lganida, tortish — tejamkorlik ko'rsatkichlari yomonlashishiga qaramasdan avtomobilning texnik xizmat ko'rsatish stansiyasigacha harakati ta'minlanishi kerak.

Kelajak boshqarish tizimlarini yangi avlodlarini ishonchligiga talab anchaga oshirilgan. Xususan, ushbu tizimlar avtomobilning ekologik ko'rsatkichlarini o'rnatilgan me'yordan kam bo'lmagani holda uning uzoq muddat ishlashini ta'minlashi kerak.

II DINAMIKA VA KONSTRUKSIYALASH

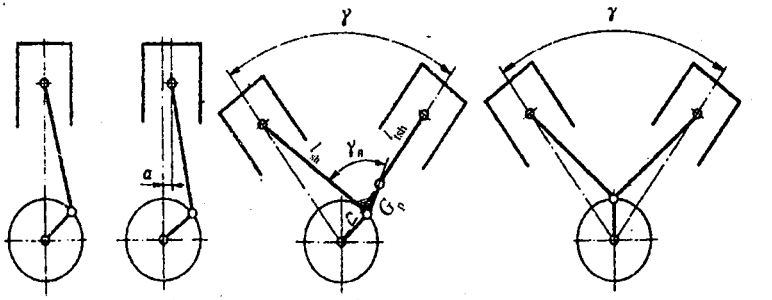
I BOB
KRIVOSHIP-SHATUN MEXANIZMINING KINEMATIKASI VA DINAMIKASI

1.1. KSHM KINEMATIKASI

Avtotraktorlarning IYOD larida krivoship-shatun mexanizmining (KSHM) quyidagi uch turi ishlatiladi: *markaziy* (aksial), *siljitilgan* (dezaksial) va *tirkama shatunli mexanizm* (1.1-rasm). Bu sxemani kombinatsiyalab KSHM ni chiziqli va ko'p qatorli, ko'p silindrli IYOD sifatida bayon qilish mumkin.

Siljitilgan (dezaksial) mexanizmni ikki variantda amalga oshirish mumkin. Birinchi holatda silindrning o'q chizig'i IYOD tirsakli vali o'q chizig'ini kesib o'tmaydi, ikkinchi holatda esa porshen barmog'ining o'q chizig'i silindr o'q chizig'iga nisbatan siljitilgan bo'ladi.

Tirkama shatunli KSHM boshqa sxemalardan asosiy shatunning kallagiga barmoq bilan biriktirilgan tirkama shatunning mavjudligi bilan farqlanadi. Bosh shatun mexanizmining kinematikasi markaziy va siljitilgan KSHM kinematikasidan farq qilmasligini ko'rsatib o'tish lozim.



1.1-rasm. **KSHM kinematik sxemalari:**
a – markaziy chiziqli; *b* – siljitilgan chiziqli; *d* – tirkama; *e* – markaziy V-simon.

KSHM detallarining harakatlanish qonunlarini o'rganish, birikuvchi qismlarning orasida tirqish mavjud bo'lmaganda va krivoshipning o'zgarmas burchak tezligida uning harakatini va ishqalanish kuchini keltirib chiqaradigan kuchga bog'liq bo'lmagan holda faqat KSHM strukturasi va mexanizm qismlari orasidagi geometrik munosabatlarni hisobga olgan holda amalga oshiriladi.

IYOD ishlashida KSHM ning asosiy qismlari turli xil siljishlarni sodir qiladi.

Porshen qaytma-ilgarilanma harakatlanadi. Shatun o'zining tebranish tekisligida murakkab tekis parallel harakat sodir qiladi. Tirsakli val krivoshipi uning o'q chizig'iga nisbatan aylanma harakat qiladi.

1.1.1. MARKAZIY KRIVOSHIP-SHATUN MEXANIZMINING KINEMATIKASI

1.2-rasmda KSHMni hisoblash kinematik sxemasi keltirilgan.

Markaziy KSHM qismlari harakati qonunini aniqlovchisi bo'lib, quyidagi asosiy geometrik parametrlar hisoblanadi: r – tirsakli val krivoshipining radiusi, l_{sh} – shatun uzunligi.

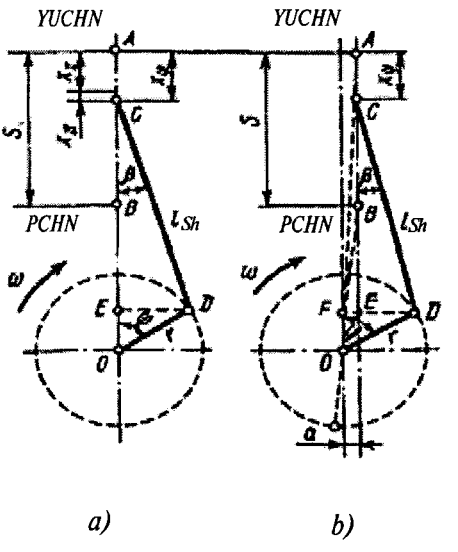
$\lambda = r/l_{sh}$ parametr markaziy mexanizmning kinematik o'xshashlik mezoni hisoblanadi. Bunda turli o'lchamli KSHM uchun λ bir xil bo'lganda o'xshash qismlarning harakat qonuni o'xshash bo'ladi. Avtotraktor IYOD larida $\lambda = 0{,}24...0{,}31$ qiymatli KSHM ishlatiladi. Siljitilgan (dezaksial) KSHM lar uning kinematikasiga ta'sir qiluvchi yana bir geometrik parametrga ega silindr (barmoq) o'q chizig'ini tirsakli val o'q chizig'iga nisbatan siljish miqdori (a). Bunda nisbiy siljish $k = a/r$ siljitilgan KSHM kinematik o'xshashligi mezoni λ ga qo'shimcha hisoblanadi. Shunday qilib, o'xshash siljitilgan KSHM bir xil λ va k larga ega bo'ladi, bunda k-0,02...0,1 oralig'ida o'zgaradi.

Agar quyidagi parametrlarning vaqt bo'yicha o'zgarish qonuni ma'lum bo'lsa, keltirilgan sxemadan kelib chiqqan holda (1.2-rasm) KSHM kinematikasi to'liq yoritiladi:

- porshenning ko'chishi (x). Hisobning boshlanishi *($x=0$)* porshenning YUCHN dagi holati. Soat strelkasi bo'yicha krivoshipning aylanishida porshenning YUCHN dan PCHN tomon harakatida hisoblashni musbat yo'nalishi deb qabul qilingan;
- krivoshipning burilish burchagi (φ). Hisobning boshlanishi – porshen YUCHN da bo'lganda krivoshipning holati;
- shatun burchagi β ning silindr o'q chizig'idan og'ishi ($\varphi = 0$ bo'lganda $\beta = 0$).

Krivoship kinematikasi. Agar burilish burchagi (φ), burchak tezligi (ω) va tezlanishi (ε) ni vaqt (t) ga bog'liqligi ma'lum bo'lsa, tirsakli val krivoshipining aylanma harakati aniqlangan bo'ladi.

KSHM ning kinematik tahlilida tirsakli valning burchak tezligi (aylanish chastotasi) (ω) doimiy deb yo'l qo'yish qabul qilingan. Bunday holda $\varphi=\omega t$, $\omega=\text{const}$ va $\varepsilon=0$. Tirsakli val krivoshipining burchak tezligi va aylanishlar chastotasi (n) $\omega=\pi n/30$ nisbat bilan



1.2-rasm. **KSHM ni hisoblash sxemalari:** *a* – markaziy; *b* – siljitilgan.

bog'langan. Bu yo'l qo'yish KSHM qismlarining harakat qonunini oddiyroq ko'rinishda, krivoshipning burilish burchagi funksiyasida o'rganishga imkon beradi, zarurat tug'ilganda φ va t larning chiziqli bog'liqligidan foydalanib, vaqt ko'rinishiga o'tish mumkin.

Porshen kinematikasi. Qaytma-ilgarilanma harakatlanayotgan porshenning kinematikasi uning ko'chishi (x_φ) ni, tezligi (v_φ) ni va tezlanishi (j_φ) ni krivoshipning burilish burchagi (φ) funksiyasiga bog'liqligi bilan yoritiladi.

• Krivoship φ burchakka burilganda *porshenning ko'chishi* krivoshipning $\varphi(x_I)$ burchakka burilishida va shatunning $\beta(x_{II})$ burchakka og'ishida uning siljishlarining yig'indisi sifatida aniqlanadi:

$$x = r + l_{sh} - r\cos\varphi - l_{sh}\cos\beta,$$

yoki $\lambda = r/l_{sh}$ bo'lishini hisobga olib, quyidagi formulalarni yozamiz:

$$x = r\left[(1-\cos\varphi)+(1/\lambda)(1-\cos\beta)\right]. \qquad (1.1)$$

φ va β burchaklar orasidagi bog'liqlik *ODE* va *CDE* uchburchaklarning umumiy tomoni bo'lgan *DE* bo'yicha aniqlanadi (1.2-a rasm), bundan markaziy mexanizm uchun $r\sin\varphi = l_{sh}\sin\beta$ yoki $\lambda\sin\varphi = \sin\beta$, siljitilganda esa *DE* ni $r\sin\varphi - a = l_{sh}\sin\beta$, $\lambda(\sin\varphi - k) = \sin\beta$ kabi aniqlab, bu munosabatlardan foydalanib, shuningdek, $\cos\beta = \sqrt{1-\sin^2\beta}$ bo'lishini e'tiborga olinsa, porshen ko'chishini krivoshipning burilish burchagiga bog'liqligi hosil bo'ladi.

Bu markaziy KSHM uchun

$$x = r\left[(1-\cos\varphi)+(1/\lambda)\left(1-\sqrt{1-\lambda^2\sin^2\varphi}\right)\right]. \qquad (1.2)$$

Siljitilgan KSHM da

$$x = \left[\sqrt{\left(1+\frac{1}{\lambda}\right)^2 - k^2} - \frac{1}{\lambda}\cos\beta - \cos\varphi\right]. \qquad (1.3)$$

Markaziy KSHM uchun hisoblash bog'liqliklarni soddalashtirish maqsadida $\sqrt{1-\lambda^2\sin^2\varphi}$ radikalni Nyuton binomi ifodasi bo'yicha qatorga yoyib chiqiladi:

$$\sqrt{1-\lambda^2\sin^2\varphi} = 1 - \frac{1}{2}(\lambda\sin\varphi)^2 - \frac{1}{8}(\lambda\sin\varphi)^4 - \frac{1}{16}(\lambda\sin\varphi)^6 - \frac{5}{128}(\lambda\sin\varphi)^8 + \ldots.$$

$\lambda=0{,}25$ bo'lganda yoyilishni garmonikli hadlarining amplitudalari $1:0{,}031:0{,}000488:0{,}000015$, $\lambda = 0{,}30$ bo'lganda esa $1:0{,}045:0{,}001012:0{,}000046$ kabi nisbatda bo'ladi. Buni amaliy aniqlik uchun yetarliligini hisobga olib, yoyilishning birinchi ikki hadi bilan chegaralanishi mumkin

$$\sqrt{1-\lambda^2\sin^2\varphi}\approx 1-\frac{1}{2}\lambda^2\sin^2\varphi=1-\frac{1}{4}\lambda^2\cos 2\varphi.$$

U holda $x\cong r\left[(1-\cos\varphi)+(\lambda/4)(1-\cos 2\varphi)\right]=x_I+x_{II}$ (1.4)

• *Porshenning tezligi* uning vaqt bo'yicha ko'chishidan birinchi hosilasi sifatida aniqlanadi, ya'ni

$$\upsilon=\frac{dx}{dt}=\frac{dx}{d\varphi}\cdot\frac{d\varphi}{dt} \tag{1.5}$$

bu (1.1) va (1.4) tenglamalarga tatbiqan aniq

$$\upsilon=r\omega\frac{\sin(\varphi+\beta)}{\cos\beta} \tag{1.6}$$

va taxminiy

$$\upsilon=r\varpi[\sin\varphi+(\lambda/2)\sin 2\varphi] \tag{1.7}$$

porshen tezligini krivoship burilish burchagiga bog'liqligini ifodalaydi.

(1.6) tenglamadan ko'rinishicha, tezlikning eng yuqori qiymati $\sin(\varphi+\beta)=1$ ga teng bo'lib, $\varphi+\beta=90°$ bo'lganda erishadi. Bu paytda shatun o'q chizig'i krivoship radiusiga perpendikular bo'ladi va

$$\upsilon_{\max}=r\omega\sqrt{1+\lambda^2}\ . \tag{1.8}$$

IYOD konstruksiyasini baholash uchun keng miqyosda qo'llaniladigan, $c_p=Sn/30$ kabi aniqlanadigan porshenning o'rtacha tezligi uning eng yuqori tezligi bilan $v_{\max}/c_p=\frac{\pi}{2}\sqrt{1+\lambda^2}$ nisbatda bog'langan va ishlatiladigan λ uchun 1,62...1,64 ga teng.

• *Porshen tezlanishi* vaqt bo'yicha uning tezligi hosilasidan aniqlanadi, mos holda aniqrog'i

$$j=r\omega\left[\frac{\cos(\varphi+\beta)}{\cos\beta}+\lambda\frac{\cos^2\varphi}{\cos^3\beta}\right], \tag{1.9}$$

va taxminan

$$j=r\varpi^2(\cos\varphi+\lambda\cos 2\varphi)\,. \tag{1.10}$$

Zamonaviy IYOD larda j=5000...20000 m/s^2 oralig'ida bo'ladi.

Eng katta qiymati $j_{\max}=r\omega^2(1+\lambda)$ ga $\varphi=0$ va 360 grad TVB da ega bo'ladi.

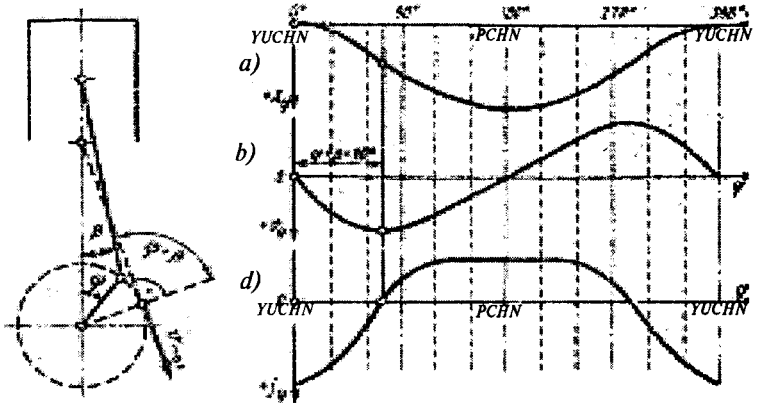
$\lambda<0{,}25$ uchun burchak φ=180 grad TVB tezlanishning eng kichik miqdori $j_{min}=-r\omega^2(1-\lambda)$ ga muvofiq keladi. Agar $\lambda>0{,}25$ bo'lsa, u holda $\varphi'=180°\pm\arccos[1/(4\lambda)]$ bo'lganda yana ikkita ekstremum $j'=-r\omega^2\left(\lambda+\frac{1}{8\lambda}\right)$ ga ega bo'ladi.

1.3-rasmda porshen ko'chishi, tezligi va tezlanishi tenglamalarini grafikli izohlash keltirilgan.

Dezaksial KSHM uchun υ va j larning taxminiy qiymatlari quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\upsilon = r\varpi[\sin\varphi + (\lambda/2)\sin 2\varphi - k\lambda\cos\varphi],$$

$$j = r\varpi^2(\cos\varphi + \lambda\cos 2\varphi - k\lambda\sin\alpha].$$



1.3-rasm. **Porshenning kinematik parametrlari:**
a – ko'chishi; *b* – tezligi; *d* – tezlanishi.

Bu bog'liqliklarni taqqoslab, shuningdek, (1.3) o'xshash markaziy KSHM uchun, ularning qo'shimcha haddagi farqi $\kappa\lambda$ ga proporsional ekanligini ko'rsatish mumkin. Zamonaviy dvigatellarda $\kappa\lambda$=0,01...0,05 oralig'ida bo'ladi, uning mexanizm kinematikasiga ta'siri juda oz, shuning uchun amaliyotda ular, odatda, hisobga olinmaydi.

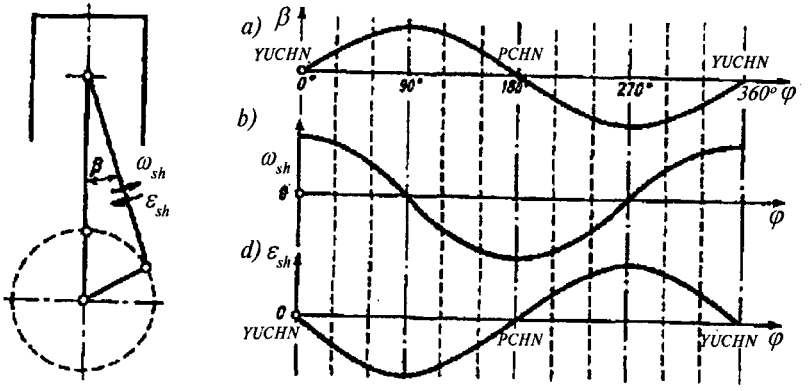
Shatun kinematikasi. Shatunning tekis parallel murakkab harakati uning yuqori kallagini porshenning kinematik parametrlari va uning pastki krivoship kallagi krivoship uchi parametrlari bilan harakatidan shakllanadi. Bundan tashqari, shatun uning porshen bilan birikish nuqtasiga nisbatan aylanma harakat qiladi.

- *Shatunning burchakli ko'chishi* $\beta = \arcsin(\lambda\sin\varphi)$.

Ekstremal qiymat $\beta = \pm\arcsin\lambda$ tirsakli valning $\varphi = 90$ va 270 grad TVB da ega bo'ladi. Avtotraktor dvigatellarida $\beta_{max} = \pm(12...18^\circ)$ oralig'ida bo'ladi.

- *Shatun tebranishining burchak tezligi* $\omega_{sh} = \dfrac{d\beta_{sh}}{dt}$ yoki $\omega_{sh} = \lambda\omega\dfrac{\cos\varphi}{\cos\beta_{sh}}$.

Ekstremal qiymat $\varpi_{sh} = \pm\lambda\varpi$ tirsakli valning burilish burchagi $\varphi = 0$ va 180 gradusga ega bo'lganda kuzatiladi.



1.4-rasm. **Shatunning kinematik parametrlari:**
a – ko'chishi; *b* – tezligi; *d* – tezlanishi.

- *Shatunning burchak tezlanishi*

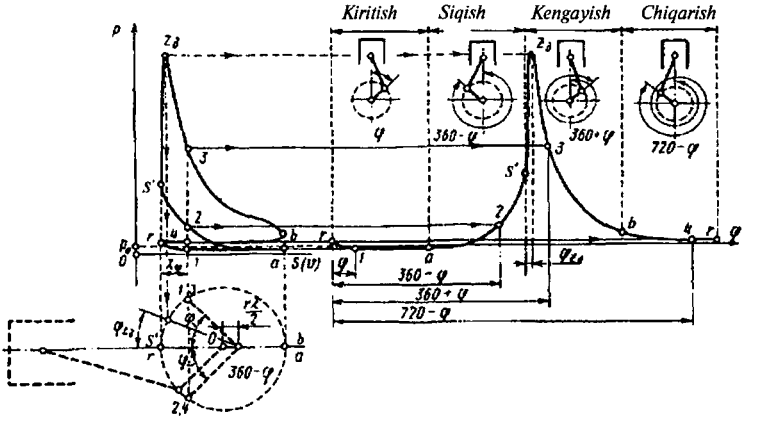
$$\varepsilon_{SH} = \frac{d\omega_{sh}}{dt} = \frac{d\omega_{sh}}{d\varphi}\frac{d\varphi}{dt} = \omega\frac{d\omega_{sh}}{dt} = \lambda\omega^2 \sin\varphi \frac{\lambda^2 - 1}{\left(1 - \lambda^2 \sin^2\varphi\right)^{3/2}}.$$

Ekstremal qiymat $\varepsilon_{sh} = \pm\lambda\omega^2 / \sqrt{1+\lambda^2}$ TVB $\varphi = 90$ va 270° ga ega bo'lganida erishadi.

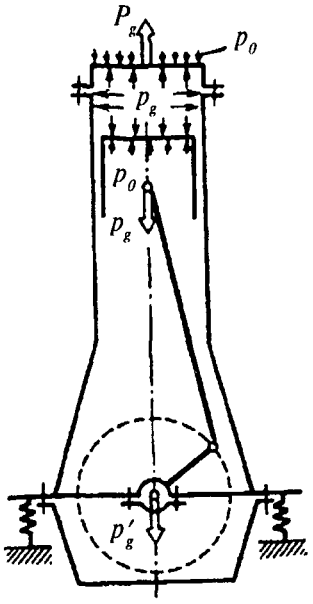
1.4-rasmda shatunning kinematik parametrlarini tirsakli valning burilish burchagi bo'yicha o'zgarishi ko'rsatilgan.

1.2. KSHM DINAMIKASI

Dvigatel ishlayotganda KSHM ga quyidagi asosiy kuch omillari ta'sir qiladi: gazlarning bosim kuchi, mexanizmning harakatlanuvchi massalarining inersiya kuchlari, ishqalanish kuchi va foydali qarshilik momenti. KSHM



1.5-rasm. **Indikator diagrammani $p-V$ dan $p-\varphi$ koordinatasida qayta qurish.**



1.6-rasm. **KSHM konstruksiyasi qismlariga gazlar kuchining ta'siri.**

ning dinamikaviy tahlilida ishqalanish kuchlari, odatda, inobatga olinmaydi.

1.2.1. GAZLARNING BOSIM KUCHI

Silindrda ishchi siklning amalga oshishi natijasida gazlarning bosim kuchi paydo bo'ladi. Bu kuch porshenga ta'sir qiladi va uning miqdori porshendagi bosimlar farqini uning sathiga bo'lgan ko'paytmasi sifatida aniqlanadi: $P_g = (p_g - p_0)F_p$. Bunda: P_g – silindrning porshen ustidagi bosimi, P_0 – karterdagi bosim, F_p – porshen sathi.

KSHM elementlarining dinamikaviy yuklanganligini baholash uchun kuch P_g ning vaqtga bog'liqligi muhim ahamiyatga ega. Uni, odatda, indikator diagrammani $p-V$ koordinatadan (1.1) bog'liqlik yoki grafikli usullardan foydalanib (1.5-rasm) $V_\varphi = x_\varphi F_p$ ni aniqlash orqali $p-\varphi$ koordinatada qayta qurish bilan olinadi.

Porshenga ta'sir qiluvchi gazlarning bosim kuchi KSHM ning harakatlanuvchi qismlarini yuklantiradi, karterning o'zak tayanchlariga uzatiladi va 16-rasmda ko'rsatilganidek, silindr kallagiga ta'sir qiluvchi P'_g kuch ta'siridan blok-karterni tutib turuvchi qismlari va P_g kuchning elastik deformatsiyasi hisobiga silindr ichida muvozanatlashadi. Bu kuchlar dvigatel tayanchlariga uzatiladi va uning nomuvozanatlanganligini keltirib chiqarmaydi.

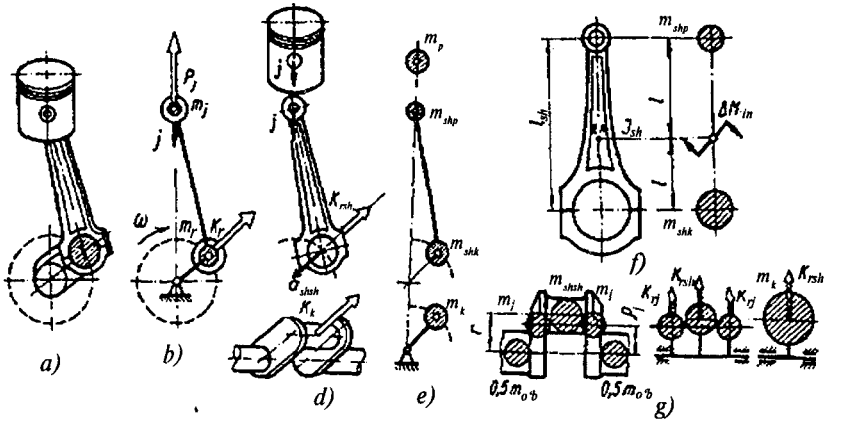
1.2.2. KSHM HARAKATLANUVCHI MASSALARINING INERSIYA KUCHLARI

Qismlari notekis harakatlanib, inersiya yuklamalarining paydo bo'lishiga olib keladigan haqiqiy KSHM umumiy holda taqsimlangan parametrlar ko'rinishiga ega.

Bunday tizimni mufassal ravishda tahlil qilish mumkin, biroq u ko'p hisoblash hajmi bilan bog'liq.

Unga bog'liq holda muhandislik amaliyotida masalalar o'rnini bosadigan usul asosida paydo qilingan parametrlari mujassamlangan model IYQD dinamikasini tahlil qilishda keng qo'llaniladi. Ular ma'lum qoidalar bo'yicha qabul qilingan KSHM nuqtalarida mujassamlangan masalalardan tashkil topadi, ular o'zaro mutlaq bikr inersiyasiz qismlar bilan bog'langan.

O'rnini bosuvchi nuqtalar KSHM zvenolari tarkibiy qismlarining shakli va harakatlanish xususiyati e'tiborga olinib aniqlanadi va odatda,



1.7-rasm. **KSHM ikki massali dinamikaviy modelini tashkil qilish:** *a* – KSHM; *b* – KSHM modeli; *d* – KSHM dagi kuchlar; *e* –KSHM massalari; *f* – shatun massalari; *g* – krivoship massalari.

kinematik juftlar tutashgan joylar tanlab olinadi. Bunda istalgan vaqt lahzasi uchun modelni va ko'rib chiqilayotgan haqiqiy tizimning dinamikaviy ekvivalentligi bajarilishi kerak, bu ularning kinetik energiyalarining tengligi bilan ta'minlanadi.

IYOD KSHM dinamikasini tahlil qilish uchun, odatda, ikki massali modeldan foydalaniladi (1.7-rasm). O'rnini bosuvchi birinchi massa m_j porshenning shatun bilan tutashgan nuqtasida mujassamlangan va porshenning kinematik parametrlari bilan qaytma-ilgarilanma harakatni sodir qiladi, ikkinchisi m_r shatunning krivoship bilan tutashgan nuqtasida joylashadi va burchak tezligi ω bilan tekis aylanadi. m_j va m_r massalar kattaligi modelning va uning mexanizmi o'rnini bosuvchisining ekvivalentligini ta'minlash sharti bilan tanlanishi lozim.

• *Porshen guruhi detallari silindr o'q chizig'i bo'ylab to'g'ri chiziqli qaytma-ilgarilanma harakat qiladi.* Porshen guruhi massalari markazi amalda porshen barmog'ining o'q chizig'i bilan mos keladi, u holda inersiya kuchi P_{jp} ni aniqlash uchun ushbu nuqtaga mujassamlashtirilishi mumkin bo'lgan porshen guruhining massasi m_p ni va porshenning tezlanishi j ga teng bo'lgan massalar markazining tezlanishini bilish yetarli bo'ladi: $P_{jp} = -m_p j$.

• *Tirsakli val krivoshipi tekis aylanma harakatni sodir qiladi.* U konstruksiyasi bo'yicha o'zak bo'yinning ikki yarmi, ikki jag' va shatun bo'yni majmuasidan tashkil topgan. Tekis aylanishida uning massasiga va markazga intiluvchi tezlanishga proporsional bo'lgan markazdan qochma kuch krivoshipning ko'rsatilgan elementlarini har biriga ta'sir qiladi. Krivoshipning o'zak bo'yinlari massalarini markazi aylanish o'q chizig'ida yotganligi inobatga olinsa, ularning markazdan qochma inersiya kuchlari nolga teng. Shatun bo'yni massalari markazi tirsakli val o'q chizig'idan r masofada uning o'q chizig'ida joylashgan. Bo'yinning markazga intiluvchi

tezlanishi $a_{shb} = r\omega^2$ ga teng. Shatun bo'ynining massasi m_{shb} uning massalar markazida mujassamlangan deb qarab, markazdan qochma kuchni aniqlaydigan ifodani olamiz: $K_{r\,shb} = -m_{shb} r\omega^2$. Shunga o'xshash jag'ning massasi m_j va tirsakli val o'q chizig'idan uning massalari markazigacha bo'lgan masofasi ρ_j bo'yicha massalar markazining markazga intiluvchi tezlanishi $a_j = \rho_j \omega^2$ va mos holda markazdan qochma inersiya kuchi $K_{rj} = -m_j \rho_j \omega^2$ aniqlanadi. Ekvivalent modelda krivoship aylanish o'q chizig'idan r masofada bo'lgan massa m_k bilan almashtiriladi. Massa m_k ning kattaligi uning hosil qiladigan markazdan qochma kuchi bilan krivoship elementlarining massalarini markazdan qochma kuchlari yig'indisining tengligi shartidan aniqlanadi: $K_k = K_{r\,shb} + 2K_{rj}$ yoki $m_k r\omega^2 = m_{shb} r\omega^2 + 2m_j \rho_j \omega^2$, bundan o'zgartirishlardan so'ng $m_k = m_{sh_b} + 2m_j \rho_j / r$ ni olamiz.

• *Shatun guruhi elementlari murakkab tekis parallel harakatni sodir qiladi.* KSHM ning ikki massali modelida shatun guruhi massasi m_{sh} o'rnini bosadigan ikki massaga ajratiladi: porshen barmog'i o'qida mujassamlangan m_{shp} va tirsakli val shatun bo'yni o'qiga keltirilgan m_{shk}. Bu holatda uning barcha inersiya kuchlarini natijalovchi kuchlarga keltirish uchun o'rnini bosuvchi nuqtalar usulining tamoyili quyidagi shartlarni bajarishga keltiriladi:

1) modelning o'rnini bosadigan nuqtalarda mujassamlangan massalar yig'indisi KSHM tarkibiy qismlarining o'rni bosiladigan massalariga teng bo'lishi lozim. Shatun guruhiga tatbiqan $m_{shp} + m_{shk} = m_{sh}$;

2) haqiqiy KSHM va modelda uning o'rnini bosuvchi tarkibiy qismlari massalarining markazi holati o'zgarmas bo'lishi lozim. Shatunning porshen va krivoship kallaklari markazlaridan uning massalarining markazigacha bo'lgan masofalarni ℓ_{shp} va ℓ_{shk} kabi belgilaymiz. Agar $m_{shp}\ell_{shk} - m_{shk}\ell_{shp} = 0$ bo'lsa, massalar markazining holatini o'zgarmaslik sharti bajariladi. 1- va 2-bandlarda keltirilgan munosabatlardan $m_{shp} = m_{sh}\ell_{shk} / \ell_{sh}$ va $m_{shk} = m_{sh}\ell_{shp} / \ell_{sh}$ bo'lishi kelib chiqadi.

Birinchi ikki shartni bajarish o'rnini bosadigan tizimni haqiqiy KSHM ga statik ekvivalentliligini ta'minlaydi;

3) o'rnini bosadigan modelning dinamikaviy ekvivalentlik sharti modelning ahamiyatli nuqtalarida joylashgan massalar inersiya momentlari J_{ekv} ning yig'indisini va shatunning tebranish tekisligiga perpendikular bo'lgan zveno massalarining markazi orqali o'tadigan o'qqa nisbatan haqiqiy shatunning inersiya momenti J_{sh} ni tengligida ta'minlanadi. Bu shart mavjud IYOD shatunlarining ikki massali modellari uchun, odatda, bajarilmaydi, bu tizimga inersiya momenti $\Delta M_{sh} = J_{sh} - J_{ekv}$ ni qo'shish bilan o'rnini to'ldirish mumkin.

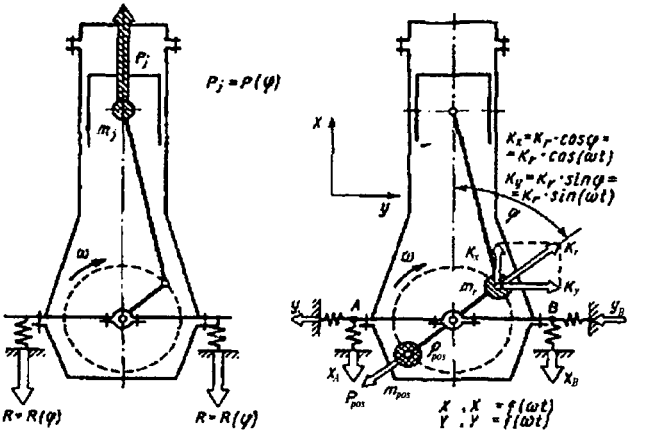
Zamonaviy avtotraktor dvigatellarining KSHM ni ko'rib chiqilgan parametrlari bo'yicha statistik ma'lumotlar konstruktiv massalar $m' = m / F_p$

ko'rinishida 1.1-jadvalda ko'rsatilgan, bunda: F_p – porshen yuzasi, m – KSHM ning mos kelgan tarkibiy qismining massasi.

KSHM ning barcha zvenolaridan olingan massalarini birlashtirib, KSHM dinamikaviy modelining o'rnini bosadigan nuqtalarida nihoyat quyidagilarni olamiz:

- barmoq o'qida mujassamlangan va silindr o'qi bo'ylab qaytma-ilgarilanma harakatni sodir qiladigan massani, $m_j = m_p + m_{shp}$;
- shatun bo'ynida joylashgan va tirsakli val o'qi atrofida aylanma harakat sodir qiladigan massani, $m_r = m_k + m_{shk}$. Tirsakli valning bitta shatun bo'ynida ikki shatun joylashgan V simon IYOD uchun, $m_r = m_k + 2m_{shk}$.

KSHM ning qabul qilingan modeliga mos holda porshenning kinematik parametrlari bilan notekis harakatlanuvchi birinchi o'rnini bosadigan massa m_j inersiya kuchi $P_j = -m_j j$ ni keltirib chiqaradi, ikkinchi massa m_r esa krivoshipning burchak tezligida tekis aylanadi va markazdan qochma inersiya kuchi $K_r = -a_{shb} m_r$ ni sodir qiladi.



a) *b)*

1.8-rasm. **Dvigatel tayanchiga inersiya kuchining ta'siri:** a – P_j kuch; b – K_r kuch.

1.1-jadval

Dvigatelning turi	Aylanishlar chastotasi, min^{-1}	Konstruktiv massa m', kg/m^2		l_{shk}/l_{sh} nisbat	
		Porshen guruhi	shatun	qatorli	V simon
Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar	$n < 4500$ $n > 4500$	(1,2...1,3)D* (1,3...1,4)D	(1,5...1,6)D (1,9...2,2)D	0,26...0,28 0,26...0,28	0,28...0,30 0,28...0,30
Avtomobil dizellari	$n < 3000$ $n > 3000$	(2,0...2,2)D (1,7...1,9)D	(2,3...2,5)D (1,8...2,1)D	0,26...0,30 0,22...0,23	0,30...0,34 0,22...0,23
Traktor dizellari	–	(2,2...2,4)D	(2,5...2,8)D	0,26...0,30	0,30...0,34

**D – silindr diametri, mm.*

Inersiya kuchi P_j dvigatel o'rnatilgan tayanch reaksiyasi bilan muvozanatlashadi. Miqdori va yo'nalishi bo'yicha o'zgaruvchan bo'lgani uchun, uni agar muvozanatlashga maxsus tadbirlar ko'rilmasa, 1.8-*a* rasmda ko'rsatilganidek, dvigatelning tashqi muvozanatlanmaganligiga sabab bo'lishi mumkin.

Tezlanish j ni krivoship burilish burchagi (φ) ga ilgari olingan bog'liqligini inobatga olib, IYOD dinamikasi va ayniqsa, muvozanatlanganligi tahlili P_j birinchi (P_{jI}) va ikkinchi (P_{jII}) tartibli inersiya kuchlari yig'indisi ko'rinishidaligini ko'rsatadi:

$$P_j = -m_j r\omega^2(\cos\varphi + \lambda\cos 2\varphi) = C\cos\varphi + \lambda C\cos 2\varphi = P_{jI} + P_{jII},$$

bunda

$$C = -m_j r\omega^2.$$

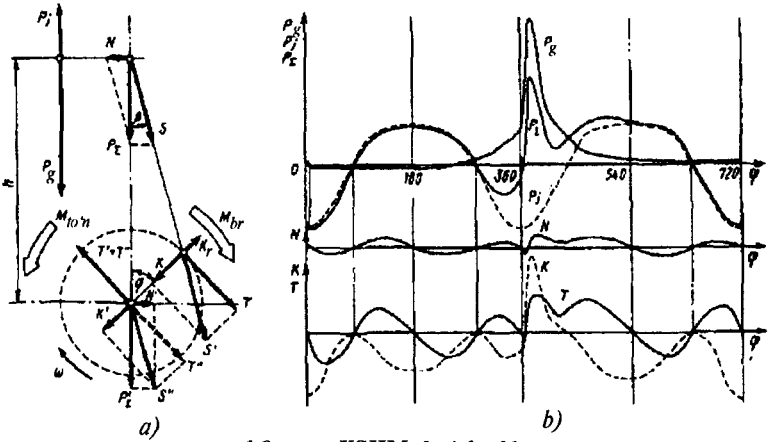
KSHM *aylanuvchi massalarining markazdan qochma inersiya kuchi* $K_r = -m_r\omega^2$ krivoship radiusi bo'yicha yo'nalgan va doimiy burchak chastotasi ω bilan aylanadigan, kattaligi bo'yicha o'zgarmas vektor ko'rinishiga ega. Kattaligi bo'yicha o'zgaruvchan reaksiyani keltirib chiqaradigan kuch K_r dvigatelning tayanchiga uzatiladi (1.8-*b* rasm). Shunday qilib, K_r kuch P_j kuch kabi IYOD ning tashqi muvozanatlanmaganligiga sabab bo'lishi mumkin.

1.2.3. KSHM ga TA'SIR QILUVCHI YIG'INDI KUCHLAR VA MOMENTLAR

KSHM ning dinamikaviy tahlilida, tizimga qo'yiladigan umumiy nuqtaga va yagona chiziqli ta'sirga ega bo'lgan P_g va P_j kuchlar ularning algebraik yig'indisi hisoblangan yig'indi kuch bilan almashtiriladi: $P_\Sigma = P_g + P_j$ (1.9-a rasm).

KSHM ning tarkibiy qismlariga P_Σ kuchning ta'sirini tahlil qilish uchun u ikki tashkil etuvchiga ajratiladi: S va N. S kuch shatun o'qi bo'ylab ta'sir qiladi va uning tarkibiy qismlarida takrorlanuvchi – o'zgaruvchan siqish-cho'zishni keltirib chiqaradi, N kuch esa silindr o'qiga tik va porshenni uning ko'zgusiga qisadi. S kuchni shatun-krivoship tutashgan joyiga ta'sirini baholash uchun uni shatun o'qi bo'ylab, ularni sharnirli birikkan nuqtasiga ko'chirib, ikki krivoship o'qi bo'ylab yo'nalgan normal K va tangensial T kuchlarga ajratiladi.

K va T kuchlar dvigatelning o'zak tayanchlariga uzatiladi. Ularning ta'sirini tahlil qilish uchun ushbu kuchlar o'zak tayanchni markaziga ko'chiriladi, unga 1.9-a rasmdagi K', T' va T'' kuchlar muvofiq keladi. T va T' kuchlar r yelkada burovchi moment M_{bur} ni sodir qiladi, keyinchalik u maxovikka uzatiladi, u yerda foydali ish bajaradi. K' va T'' kuchlar yig'indisi S'' kuchni beradi, u o'z navbatida ikki tashkil etuvchiga ajratiladi: N' va P'_Σ. Ma'lumki, $N = -N'$ $P_\Sigma = P'_\Sigma$. N va N' kuchlar h yelkada to'nkaruvchi moment $M_{to'n} = Nh$ ni hosil qiladi, u keyinchalik dvigatel



1.9-rasm. **KSHM dagi kuchlar:**
a – hisoblash sxemasi; *b* – KSHM dagi kuchlarning tirsakli val burilish burchagiga bog'liqligi.

tayanchlariga uzatiladi va ularning reaksiyasi bilan muvozanatlanadi. $M_{to'n}$ va u keltirib chiqaradigan tayanch aks ta'siri vaqt bo'yicha o'zgarib turadi va dvigatelning tashqi muvozanatlanmaganligiga sabab bo'lishi mumkin.

Ko'rib chiqilgan kuch va momentlar uchun asosiy nisbatlar:

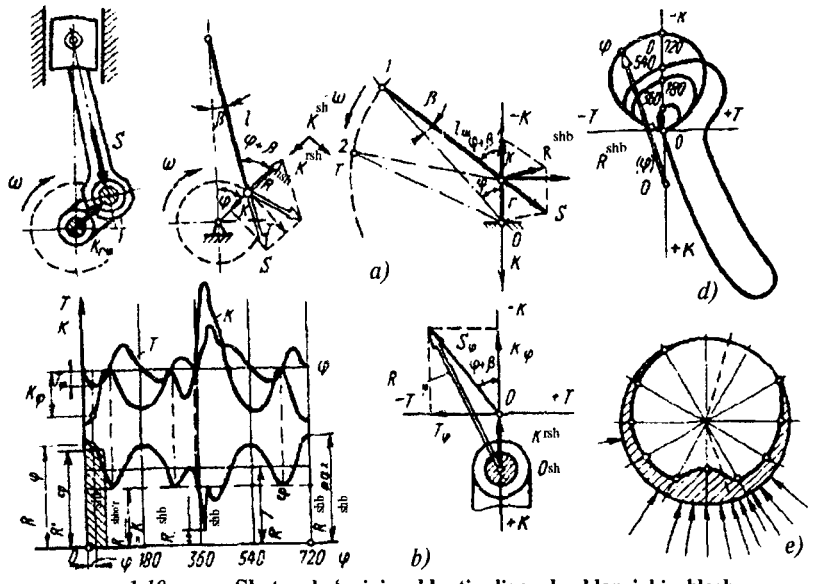
$$N = P_\Sigma tg\beta, \quad S = P_\Sigma \left(1/\cos\beta\right), \quad K = P_\Sigma \frac{\cos(\varphi+\beta)}{\cos\beta},$$

$$T = P_\Sigma \frac{\sin(\varphi+\beta)}{\cos\beta}, \qquad M_{bur} = Tr,$$

$$M_{to'n} = -Nh = -P_\Sigma tg\beta\left(l_{sh}\cos\beta + r\cos\varphi\right) = -P_\Sigma r\frac{\sin(\varphi+\beta)}{\cos\beta} = -Tr = -M_{bur}$$

1.2.4. TIRSAKLI VAL BO'YINLARIGA TA'SIR QILUVCHI KUCHLAR

• *Tirsakli valning shatun bo'yniga ta'sir qiluvchi kuchlar.* Krivoshipning shatun bo'yniga shatun o'qi bo'ylab yo'nalgan S' kuch, shuningdek, krivoship radiusi bo'ylab ta'sir qiluvchi markazdan qochma kuch K_{rsh} ta'sir qiladi (1.10-rasm). Shatun bo'ynini yuklantiradigan natijaviy kuch R_{shb}, ushbu ikki kuchlar vektorlarining yig'indisi kabi aniqlanadi. Uning tirsakli val burilish burchagi (φ) ga bog'liqligi shatun bo'yinga yuklamani qutb diagrammasi (SHBYUQD) ko'rinishida ko'rsatish mumkin, u krivoship bilan bog'langan koordinatalar tizimlariga nisbatan yo'naltirilgan radius-vektor R_{shb} ning oxirgi nuqtalarining geometrik o'rni hisoblanadi. Bunda krivoship shartli ravishda qo'zg'almas, silindr o'qi esa o'shanday burchak tezligi bilan qarama-qarshi tomonga aylanadi deb qaraladi. Bunday tasavvur KSHM tarkibiy qismlarining o'zaro joylashishini o'zgartirmaydi, demak, ularga nisbatan ta'sir qiluvchi kuchlarning miqdori va yo'nalishini ham o'zgartirmaydi. Chunki qo'zg'almas krivoshipda



1.10-rasm. **Shatun bo'ynini yuklantiradigan kuchlarni hisoblashga:** *a* – hisoblash sxemasi; *b* – SHBYUQD ni qurish; *d* – SHBYUQD; *e* – shatun bo'yni yeyilishining nazariy diagrammasi.

K, T va K_{rsh} kuchlarning yo'nalishi bir xil hamda shatun va krivoshipning o'zaro joylashishi bilan oddiy aniqlanadi. Bu holda R_{shb} kuchlar diagrammasini qurish jarayoni oson shakllanadi va R_{shb} kuchlar vektor diagrammasini qurish birmunchaga soddalashadi.

SHBYUQD ushbu paytda krivoshipga nisbatan shatun bo'ynining yuklantiradigan kuch miqdori va yo'nalish ta'siri hamda uning qo'yilgan shartli nuqtasi to'g'risida ko'rgazmali tasavvur beradi.

R_{shb} – φ to'g'ri burchak koordinatalarda qurilgan R_{shb} kuch modulining burilish burchagiga bog'liqligidan keyinchalik shatun podshipnigini hisoblashda foydalaniladi.

Yuqorida bayon qilinganlarni inobatga olgan holda, SHBYUQD ni qurish usuli quyidagiga olib keladi. To'g'ri burchakli koordinatalarda shatun bo'yinni markaziga mos kelgan qutb *O* dan (1.10-b rasm) har bir burilish burchagi φ uchun K_φ va T_φ kuchlar qiymati bo'yicha S_φ kuch quriladi. Bu vektorning uchlari ketma-ket ravon egri chiziq bilan tutashtiriladi, natijada bu kuchning qutb diagrammasi olinadi. So'ngra *O* nuqtaga *K* o'qi bo'ylab krivoshipga keltirilgan shatun qismi massalarining markazdan qochma kuchlari vektori K_{rsh} joylashtiriladi. K_{rsh}vektorining boshlanishi hisoblangan O_{sh} nuqtadan *S* vektor uchiga muvofiq keladigan nuqtaga o'tkazilgan vektor natijaviy kuch R_{shsh} hisoblanadi. SHBYUQD ning ushbu nuqtalari majmuasi qutb O_{sh} ga nisbatan tirsakli valning istalgan burilish burchagi uchun bo'yin sathiga R_{shb} kuch miqdori va yo'nalishini olishga imkon beradi.

V simon dvigatelning SHBYUQD shatunlarning tirsakli val bilan birikish turiga qarab aniqlanadi. Bir shatun bo'yinda yonma-yon joylash-

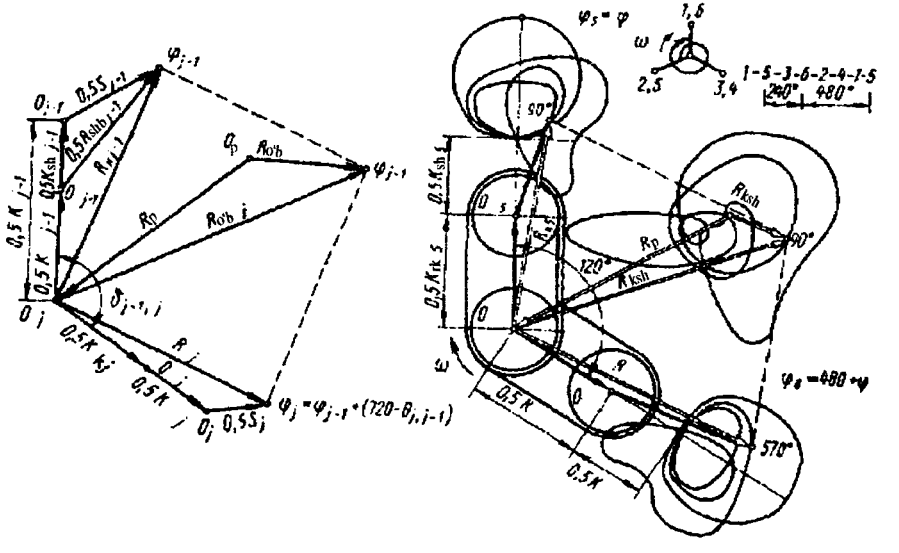
gan shatunli dvigatel uchun har bir shatunga, shatun bo'yni mos keladigan qismini yuklantiradigan natijaviy kuch qatorli dvigatel holatida bajarilganiga o'xshash alohida-alohida aniqlanadi. Biriktirilgan shatunga ega bo'lgan V simon dvigatelni SHBYUQD da shatun bo'ynini yuklaydigan natijaviy R_{shsh} kuch chap va o'ng tomondagi silindrlar bo'yinga bir vaqtda uzatadigan $\sum\bar{K}$ va $\sum\bar{T}$ vektorlarning juftlab qo'shilgani bilan aniqlanadi. Bunda $\sum\bar{K}=\bar{K}_{ch}+\bar{K}_{o'}$ va $\sum\bar{T}=\bar{T}_{ch}+\bar{T}_{o'}$. Ularning natijasi aniqlanganidan so'ng K_{rsh} vektor bilan qo'shiladi.

Tirsakli val o'zak bo'yinni yuklaydigan kuchlar. Bir silindrli dvigatel krivoship o'zak bo'yinlari $\bar{R}_{shb}=\bar{S}+\bar{K}_{rsh}$ kuch va krivoship massalarining markazdan qochma inersiya kuchi $\bar{K}_k$ bilan yuklanadi (1.11-rasm). Krivoshipga ta'sir qiluvchi ularning natijaviy kuchi $\bar{R}_k=\bar{R}_{shb}+\bar{K}_k$ ning ikki o'zak tayanchlari qabul qiladi. Shuning uchun har bir o'zak bo'yinga ta'sir qiluvchi kuch yig'indi kuch $\bar{R}_k$ ning yarmiga teng va qarama-qarshi tomonga yo'nalgan:

$$\bar{R}_{o'b}=-0{,}5\bar{R}_k=-0{,}5(\bar{S}+\bar{K}_{rsh}+\bar{K}_k)=-0{,}5(\bar{S}+\bar{K}_r),$$

bunda, $\bar{K}_r=\bar{K}_{rsh}+\bar{K}_k$.

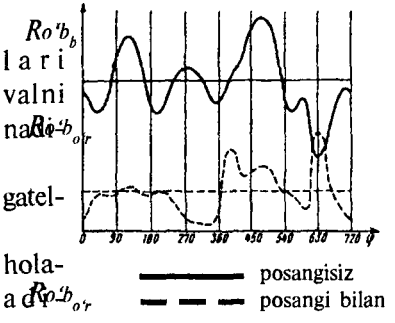
Bir silindrli dvigatelda SHBYUQD dan foydalanib, krivoshipning istalgan burilish burchagi uchun o'zak bo'yindagi yuklamani aniqlash mumkin, agar uning qutbi O_{sh} nuqtadan O_k nuqtaga ko'chirilgan bo'lsa, uning holati $\overrightarrow{O_{sh}O_k}=|\bar{K}_r|$ kesim kattaligi bilan aniqlanadi. Bu holatda $\overline{OO}_k$ kesim $\bar{K}_r$ va $\bar{K}_\kappa$ vektorlar yig'indisining moduli bo'lib qoladi. Kuchlar



1.11-rasm. **O'zak bo'yinga yuklamaning qutb diagrammasini qurish (olti silindrli to'rt taktli dvigatelning oltinchi o'zak bo'yni).**

masshtabini ikki marta kamaytirib va boshlang'ich qutb diagrammasi R_k ning yo'nalishini qarama-qarshi tomonga o'zgartirib, noma'lum bo'lgan o'zak bo'yindagi yuklamaning qutb diagrammasini olamiz (O'BYUQD).

Posangining o'zak bo'yinga ta'sirini, uning inersion natijaviy kuchi R_p ni O_k nuqtaga qo'yib inobatga olish mumkin.



1.12-rasm. **O'zak bo'yindagi yuklama diagrammasi**

Ko'p silindrli dvigatelning o'zak bo'ynidagi yuklamani, krivoship-bir xilda aylanadigan va tirsakli joylashtirish sxemasidan aniqlagan bir-biriga nisbatan δ burchakka burilgan, bir silindrli dvilarning majmuasi ko'rinishida tasavvur qilish mumkin. Bu tda j–o'zak tayanchni yuklantirgan yig'indi kuch $\bar{R}_{o'bj}$ ikki qo'shni krivoshiplarning vektor-qo'shish bilan olinadi: $\bar{R}_{o'bj} = \bar{R}''_{o'bj-1} + \bar{R}'_{o'bj}$ – bir vaqtda o'zak bo'yinlarga ta'sir qiluvchi. Alohida krivoshiplarga bir momentda ta'sir qiluvchi vektorlar silindrlarning ishlash tartibini inobatga olgan holda tenglashtiriladi (identifikatsiyalanadi). Krivoshipning burilishiga mos kelgan burchaklarining bog'liqligi $\varphi_j = \varphi_{j-1} + (720 - \theta_{j,j-1})$ ifoda bo'yicha hisoblanadi, bunda: $\theta_{j,j-1} - j$ silindr ishlashining $(j-1)$–ga nisbatan kechikish burchagi.

1.11-rasmda qatorli olti silindrli dvigatelning oltinchi o'zak bo'yniga yuklamani qutbiy diagrammasini qurish misoli berilgan. Buning uchun beshinchi va oltinchi krivoshiplarning O'BYUQD tirsakli valda ularning o'zaro joylashishiga mos holda bir-biriga nisbatan mo'ljallanadi (bu holatda $\delta = 120°$ burchak ostida). Ikkala diagrammaning qutblari O_k ustma-ust tushiriladi. So'ngra $\bar{R}_{o'bj-1}$ va $\bar{R}_{o'bj}$ vektorlarni juftlab geometrik qo'shish amalga oshiriladi. Olingan O'BYUQD ning burchaklarini hisoblash chap krivoship bo'yicha olib boriladi.

1.12-rasmda posangilarning o'zak bo'yin yuklanishiga ta'siri ko'rsatilgan.

1.2.5. VAL BO'YINLARI YEYILISHINING NAZARIY DIAGRAMMASI

Qutbli diagrammalardan foydalanib, val bo'yni yeyilishining nazariy diagrammasi quriladi (VBYEND). Uning yordami bilan bo'yin sathiga moy keltiriladigan kanal chiqish joyini belgilash maqsadga muvofiqligi asoslanadi. VBYEND qurilishi quyidagi yo'l qo'yishlarda bajariladi:

- bo'yinning yeyilish miqdori unga ta'sir qiluvchi kuchga proporsional;
- 60° yoyda qo'yilgan kuch shartli nuqtasidan ikki tomonga yoyilishi bir tekis taqsimlangan, bu val va podshipnik yoyning 120° oralig'idagi tegib turish doirasiga mos keladi;

• bo'yinning korroziyali va eroziyali yeyilishi mavjud emas.

VBYEND ni qurish uchun quyidagi ketma-ketlikni qabul qilish mumkin (1.10-*d*, *e*, rasm):

1. Ixtiyoriy masshtabda tasvirlangan bo'yin sathiga qutbli diagrammadan tirsakli valning bir xil burilish burchagi oralig'ida 360° ga karrali bo'lgan (masalan, 30°), olingan R_{shb} kuch bo'yin markazi tomon yo'nalishi bo'yicha tekis parallel ko'chiriladi.

2. Burchak bissektrisasidan yoyi pastga yo'nalgan krivoshipning vertikal o'qi bilan mos keladigan bo'yinda 120° li sektor ajratiladi.

3. Bu sektorga tushgan barcha kuch R_{shb} larni qo'shish amalga oshiriladi. Qabul qilingan yo'l qo'yishlarni e'tiborga olib, yeyilish bu sektor oralig'ida bir tekis va kattaligi bo'yicha olingan yig'indi kuchlarga proporsional bo'ladi.

4. Sektor burchagi bissektrisasida qabul qilingan masshtabda (kuchlar yig'indisi ko'rgazmali bo'lishi uchun taxminan bo'yinni radiusi 1/3ni tashkil etishi kerak) bo'yin tashqi sathidan aylana markazi tomon yeyilishiga proporsional bo'lgan kesim joylashtiriladi.

5. So'ngra qabul qilingan burchak R_{shb} ga mos keluvchi (bizning misolda 30°), avvalgiga nisbatan qayd qilingan burchakka burilgan navbatdagi sektor ajratiladi 3 va 4 amallar takrorlanadi. Bu amal bo'linish oralig'i bo'yicha barcha aylanani kesib o'tgunicha ketma-ket bajariladi.

6. Yeyilishni xususiyatlaydigan olingan nuqtalar tekis egri chiziq bilan tutashtiriladi.

7. Shakllantirilgan egri chiziq asosida podshipnik va bo'yin orasidagi eng kam solishtirma bosimga mos keladigan, eng kam yeyiladigan doirada joylashadigan moy keltiriladigan kanal o'qi tanlanadi. Aynan ushbu doirada podshipnik sathi kanalni kam berkitishi mumkin. VBYEND bo'yinning yeyilish xususiyatini faqat sifatli yoritilishi mumkinligini ko'rsatib o'tamiz. Bo'yinda moy uchun teshik joylashishining maqbul o'rnini tanlashda uning mustahkamligiga ta'sir qiluvchi omillarni ham e'tiborga olish kerak.

1.2.6. DVIGATEL BUROVCHI MOMENTINING YIG'INDISI

Ko'p silindrli dvigatelning o'zak bo'ynini buruvchi momentlar. Bir silindrli dvigatelda burovchi moment $M_{bur} = Tr$ bo'ladi. r – kattalik o'zgarmas bo'lganligi uchun, krivoship burilish burchagi bo'yicha uning o'zgarish xarakteri to'laligicha tangensial kuch T ning o'zgarishi bilan aniqlanadi.

Ko'p silindrli dvigatelni i ta bir silindrli dvigatellar majmuasi sifatida tasavvur qilamiz, ulardagi ish jarayonlari dvigatel ishlashining qabul qilingan tartibiga mos holdagi burchak oralig'ida bir-biriga nisbatan siljigan holda bir xil kechadi. O'zak bo'yinni burovchi moment, bu shatun bo'yindan oldingi barcha krivoshiplarga ta'sir qiluvchi momentlarning geometrik yig'indisi sifatida aniqlanishi mumkin.

1.13-rasmda misol sifatida silindrlari 1–3–4–2–1 tartib bilan ishlaydigan to'rt taktli (τ=4) to'rt silindrli (i=4) qatorli dvigatelda burovchi momentning shakllanish sxemasi keltirilgan. Bu dvigatel uchun chaq-

nashlarni bir me'yorda almashishida ketma-ket kelgan ishchi yo'llar orasidagi siljish burchagi $\theta = 720^0 / i = 720^0 / 4 = 180^0$ ni tashkil etadi. Bu holda ishlash tartibi e'tiborga olinishida birinchi va uchinchi silindrlar orasida momentning siljish burchagi 180^0 ni tashkil etadi, birinchi va to'rtinchi silindrlar orasida -360^0, birinchi va ikkinchi silindrlar orasida esa -540^0. Keltirilgan sxemadan kelib chiqqan holda istalgan (i-) o'zak bo'yinni burovchi momenti quyidagiga teng:

$$M_{o'b_i} = \sum_0^{i-1} M_i = r \sum_0^{i-1} T_i .$$

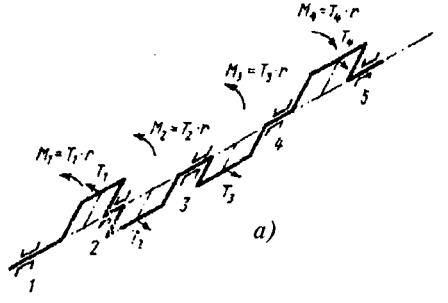
Krivoship burilish burchagi bo'yicha $M_{o'b_i}$ egri chizig'ining o'zgarishi bu holatda undan oldingi barcha i−1 krivoshiplarga ta'sir qiluvchi T kuchlarning egri chiziqlarini qo'shish bilan aniqlanadi.

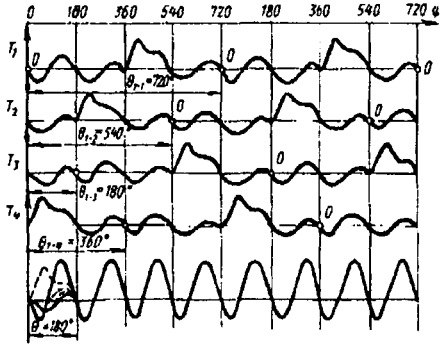
Oxirgi o'zak bo'yinni burovchi moment, dvigatelning yig'indi burovchi momenti M_Σ hisoblanadi, u keyinchalik transmissiyaga uzatiladi. Ularning bajaradigan ishi dvigatelning ishchi sikliga muvofiq keladigan θ (to'rt taktli dvigatel uchun $\theta = 720^0$ va ikki taktli dvigatel uchun $\theta = 360^0$) burchak oralig'ida krivoshipning burilish burchagi φ bo'yicha $M_\Sigma(\varphi)$ ni integrallash bilan olinishi mumkin:

$$L_\Sigma = \int_0^\theta M_\Sigma(\varphi)\, d\varphi .$$

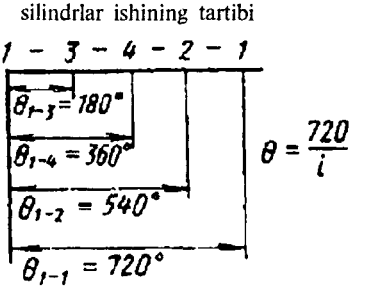
Uni ishchi sikl burchagi oralig'ida me'yorlash, dvigatel erishadigan indikator moment M_i ga mos keladigan o'rtacha yig'indi burovchi momentni beradi:

$$M_{br\,or} = \frac{1}{\theta} \int_0^\theta M_\Sigma(\varphi)\, d\varphi .$$





b)



1.13-rasm. **To'rt taktli dvigatelning yig'indi burovchi momentining shakllanish sxemasi:** *a* − ayrim krivoshiplarga ta'sir qiluvchi momentlar sxemasi; *b* − yig'indi burovchi momentni qurish sxemasi.

● *Ko'p silindrli dvigatelda shatun bo'ynini buruvchi momentlar.* Bir silindrli dvigatelda tirsakli valning o'zak podshipniklariga yig'indi kuchlar ta'sirida R_k va R_T qarshi ta'sir sodir bo'ladi, ulardan biri R_T=0,5T, krivoshipga perpendikulyar tekislikda ta'sir qiluvchisi shatun bo'ynini buraydi. U holda buruvchi momentning kattaligi $M_{shb} = R_T r = 0,5Tr$ ga teng bo'ladi.

Ko'p silindrli dvigatelni bir silindrli dvigatellar majmuasi ko'rinishida tasavvur qilib va krivoshiplarga faqat tangensial kuchlar ta'sirini qarab, *i*- shatun bo'ynining buruvchi momentini olamiz:

$$M_{shb\ i} = M_{o'b.i} + R_T r = M_{o'b.i} + 0,5T_i r ,$$

bunda: $M_{o'b.i}$ – *i*- o'zak bo'yindagi moment.

Krivoshipning burilish burchagi funksiyasidagi moment $M_{shb\ i}$ ni *i*-shatun bo'yniga «bostirib keluvchi» deb ataladi.

1.2.7. KSHM dagi KONSTRUKTIV NISBATLARNING DVIGATEL PARAMETRLARIGA TA'SIRI

KSHM konstruksiyasi IYOD ning kuchaytirilganlik darajasiga, tashqi o'lchamlariga, massasiga, ko'pga chidamliligiga va boshqa tavsiflariga jiddiy tarzda ta'sir qiladi. IYOD parametrlariga uning KSHM dagi asosiy konstruktiv nisbatlarining ta'sir qilish mexanizmini ko'rib chiqamiz: $\lambda = r / l_{sh}$ koeffitsiyent va K=S/D nisbatni.

● *Krivoship radiusi r ning shatun uzunligi l_{sh} ga bo'lgan nisbati* ($\lambda = r / l_{sh}$). IYOD parametlariga λ ta'sirining tahlili silindr ishchi hajmi va diametri *D* ni doimiyligida o'tkazilgan. Bu holatda λ ning o'zgarishi shatun uzunligining o'zgarishini keltirib chiqaradi. λ ning kichrayishida massa m_{sh} va uning tashkil etuvchilari m_{shp} va m_{shk} kattalashadi. Bunda inersiya kuch K_{rsh} ni o'sishi yuz beradi, buni krivoship jag'lari davomiga posangini o'rnatish bilan o'rnini to'ldirish mumkin.

λ ning kamayishini P_j ga ta'siri qarama-qarshi: bir tomondan m_{shp} va u bilan bog'liq bo'lgan massa m_j ham kattalashadi, bu P_j ning o'sishiga olib kelishi kerak. Boshqa tomondan ikkinchi tartibli inersiya kuchi P_{jII} ni amplitudasi kattaligini aniqlovchi ifodada λ ning mavjudligi sababli uni kichraytirish mumkin. λ ning kichraytirish IYOD balandligi va massasining ortishiga olib keladi, bu shatunni uzaytirish bilan bog'liqdir. Shatunning yanada uzun bo'lishi β_{max} burchakning kichiklashishiga olib keladi, chunki bu yon kuch *N* ning kamayishini keltirib chiqaradi. Bir xil sharoitda *N* va β larning kichik qiymatlari silindr-porshen guruhlarining harakatlanuvchi birikmalarida yeyilishining kamayishini ta'minlaydi.

Uchqundan o't oldiriladigan zamonaviy dvigatellar shatunlari dizellarnikiga qaraganda uzun. Bu uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarning tezyurarligining yuqoriligi va ularda P_j ga ikkinchi gormoniklar ustuvorligining ta'siri bilan bog'liq. Dizellarda gaz yuklamalari eng yuqori bo'lishi tufayli shatun sterjenining ko'ndalang kesimi ko'p va shatunning uzunlashishida m_{shb} ortishi P_{jII} amplitudasi kamayishiga qaraganda P_j ga ko'proq ta'sir qiladi.

Silindrning yeyilishi bir tekis emas – porshen ishchi yo'lida ko'p siqiladigan tomon ko'p yeyiladi, bu kengayish takti boshlanishida YUCHN yaqinida eng yuqori qiymatga erishadigan P_g ning o'sishiga va u bilan bog'liq N kuchga bog'liq. Dezaksaj kiritilishida ishchi yo'lida shatun og'ishining eng katta burchagi β absolut qiymati bo'yicha kam bo'ladi, bu silindrning perimetri bo'yicha yeyilishining tenglashishiga yordam beradi.

«Kalta» shatunlar ishlatilishi ayrim hollarda dvigatelning kompanovka qilishni murakkablashtirishi mumkin, chunki β_{max} ning katta qiymati tufayli shatun silindrining pastki qismiga yoki porshen etagiga tegishi mumkin.

● *Porshen yo'li S ning silindr diametri D ga nisbati* (K=S/D). Dvigatel ishchi hajmi V_h ning o'zgarmas holatida K ning ortishi D ning kamayishi bilan bir vaqtda porshen yo'li S ni ortishida mumkin bo'ladi (uzun yo'lli dvigatellar). K ni kamaytirish S ni qisqartirish (qisqa yo'lli IYOD) va D ni kattalashtirish yo'li bilan mumkin bo'ladi. Dvigatelning berilgan konstruksiyasi uchun K ning eng qulay kattaligini tanlash ko'p jihatdan porshenning o'rtacha tezligi $c_p = Sn/30$ bilan bog'liq. Bu parametr IYOD ning dinamikaviy va issiqlikdan kuchlanganligi nuqtayi nazaridan uning konstruksiyasi, shuningdek, tarkibiy qismlari yeyilishini (ayniqsa, uning silindr-porshen guruhlari) xarakterlaydi. KSHM tarkibiy qismlarining inersiya yuklamalaridan kuchlanishi c_p^2 ga proporsional, dvigatelning issiqlikdan zo'riqishi va silindr-porshen guruhi detallarining chiziqli yeyilishi esa c_p ga proporsionalligi ma'lum.

Porshen o'rtacha tezligini aniqlaydigan ifodaning qonuniy tahlili, tirsakli valning o'zgarmas aylanishlar chastotasi (n) da uni kamaytirish mumkinligini, ya'ni S ni kamaytirish hisobiga dvigatelning ko'rib chiqilgan tavsifini yaxshilashni ko'rsatadi.

Biroq, bunda KSHM tarkibiy qismlaridagi inersiya yuklamalarining ortishi bilan hisoblashish kerak. Bu KSHM detallari massalari D^3 ga proporsionalligi, ushbu vaqtda porshen yo'li kamayishi hisobiga uning tezligining pasayishi D^1 ga proporsionalligi bilan tushuntiriladi. D ning kattalashishida porshen yuzasi ortadi va demak, KSHM ga tushadigan gazlar yuklamasi ko'payadi.

Shunday qilib, K ning kamayishi dvigatelning uzoqqa chidamliligiga bir xilda ta'sir qilmaydi. Bir tomondan c_p kamayishi tufayli u ortadi, boshqa tomondan esa – KSHM detallarida inersiya va gazlar yuklamasi ortishi tufayli kamayadi. Keltirilgan omillardan qaysi biri ko'proq ta'sir qilishi, har bir aniq holat uchun yakka holda hal qilinadi.

Zamonaviy tezyurar uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda qisqa yo'lli K=0,9...1,0 konstruksiyalardan foydalanish an'anasi kuzatilmoqda, bu c_p ning o'zgarmas holatida K ni orttirish uchun qo'shimcha zaxira olishga imkon beradi. Dizellarning tezyurarligi past bo'lganligi uchun K=1,0...1,2 bo'lgan uzun yo'lli KSHM lar ishlatiladi.

K ning kamaytirilishi IYOD tashqi uzunligini va tirsakli val uzunligining ortishiga olib keladi. Bu holda yonish kamerasining balandligi ham kamayadi, bu uning talab qilingan shaklining olinishini murakkablashtiradi. Bu aralashma hosil qilish va yonish jarayonlarining kechish sha-

roitlari yomonlashishiga olib keladi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda detonatsiya sodir bo'lishining ehtimolliligi ham ortadi. Qisqa yo'lli konstruksiyalarning afzalligiga silindr devorlariga issiqlik berishning kamayishi, klapanlar bo'g'zining o'tish kesimini oshirish mumkinligining yaxshilanishi, tirsakli val bo'yinlarining bir-biriga ko'proq o'tishini ta'minlanishi, karterning ko'ndalang kesimi va IYOD massasining kamayishini kiritish mumkin.

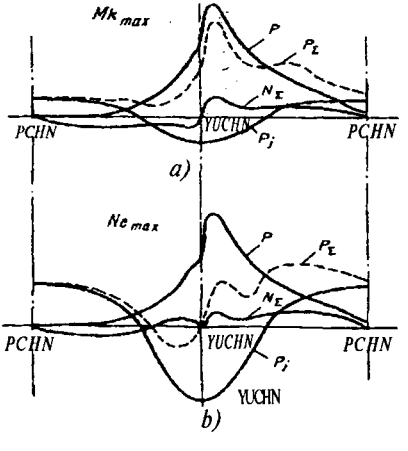
1.3. KRIVOSHIP-SHATUN MEXANIZMIDAGI ZARBALAR

Ishchi sikl davomida krivoship-shatun mexanizmining barcha birikmalariga ta'sir qiluvchi kuchlar o'zining belgisini ko'p karrali o'zgartiradi. Ta'sir qiluvchi kuchlar yo'nalishining o'zgarishi harakatlanuvchi zvenolarga nisbatan zarbalar va titrash impulslarining turtkilari paydo bo'lishiga olib keladi. Zarbalar tirsakli valning o'zak va shatun podshipniklarida, shatun-porshen barmog'i – porshen birikmalarida, shuningdek, porshen va silindr gilzasi orasida sodir bo'lishi mumkin.

Dvigatel shovqinini pasaytirish muammosiga bag'ishlangan adabiyotlarda yon kuch N ta'sirida porshenning «joylashishiga» dvigatelning shovqinini ortishi birdan-bir ehtimolliligi sifatida katta e'tibor beriladi:

$$N \cong \left(P_r + P_j\right) \lambda \sin\varphi .$$

Bu kuch belgisining o'zgarishi porshenning yon tomonga siljishi va silindr devoriga urilishi mumkinligini ko'rsatadi. To'rt taktli dvigatelda yon kuch belgisining o'zgarish payti va joylashishlar soni inersiya kuchi P_j va $\sin\varphi$ egri chizig'i bilan aniqlanadi. Gaz kuchlari kattaligi hal qiladigan YUCHN dagi ish bundan istisno.



1.14-rasm. **Eng yuqori burovchi moment (*a*) va eng yuqori quvvatdagi (*b*) rejimlarda porshenga ta'sir qiluvchi kuchlar.**

Zamonaviy avtotraktor dvigatellarida konstruksiyasining o'ziga xosligiga bog'liq holda YUCHN doirasida porshenga ta'sir qiluvchi kuchlarning turlicha o'zgarishini kuzatish mumkin.

1.14-rasmda dvigatel ishlashining ikki rejimi uchun porshenga ta'sir qiluvchi kuchlar o'zgarishini ko'rsatuvchi egri chiziqlar keltirilgan. Ulardan birinchisi eng yuqori burovchi momentga, ikkinchisi – nominal quvvatga mos keladi. Birinchi rejimda gazlar kuchi porshenning silindr devoriga zarbali ta'sirini chuqurlashtiradi, ikkinchisida – undan porshenning qayta joylashishi mavjud emas. Birinchi rejim kam va o'rtacha aylanish chastotali (1500min^{-1} gacha) dizellar uchun ham xarakterlidir.

Dizelning 2500–3500 min^{-1}'gacha kuchaytirishda inersiya kuchlarining birmunchaga ortishi tufayli YUCHN dan oldingi holatda yig'indi kuch manfiy bo'lishi mumkin. Bu siklning ushbu bosqichida yana qayta joylashish jadalligini pasaytiradi.

1.14-b rasmda ko'rsatilgan kuchning o'zgarishi UO'OD lar uchun boshqacha xarakterga ega. Bunda ushbu dvigatellarning miqdorli rostlanishini ham ko'zda tutish kerak. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda porshenning silindr devoriga urilishi faqat to'liq yuklamani 75% dan ko'p bo'lganida valning aylanishlar chastotasi 2000–2500 min^{-1} dan kam bo'lmaganda YUCHN doirasida sodir bo'lishi mumkin.

Ishchi siklning qolgan barcha vaqtlarida yonlama kuch belgisi o'zgarganda zarba sodir bo'ladi, uning jadalligi aylanishlar chastotasi ortishi bilan o'sadi. Bunda zarba jadalligi tezlik rejimidan tashqari porshen-gilza birikmasidagi tirqishning kattaligi, qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi detallar massasi, porshen yo'lining diametrga ko'paytmasi bilan ham aniqlanadi. Bunda sanab o'tilgan parametrlarning ortishi zarbaning jadalroq bo'lishiga olib keladi.

Dvigatelda yonlama kuch ta'siridan porshenning sodir qiladigan harakati murakkab hisoblanadi. Odatda, u porshen to'plami og'irlik markazining ilgarilanma harakati va massalar markazi orqali hamda porshen barmog'i o'qiga parallel o'tuvchi o'q atrofida aylanma harakati yig'indisi sifatida ko'riladi.

Tirqish oralig'ida porshenning bu harakati qattiq jismning tekis parallel harakatini yorituvchi tenglamalar tizimi yordamida tadqiq qilinadi. Koordinata o'qlarini barmoq o'qiga perpendikulyar, ulardan biri silindr o'qiga parallel qilib tanlangan holatda, ayniqsa, sodda tizim olinadi.

Tenglamalarning bunday tizimlarini tahlili asosida V.D.Kurnatov porshenning zarbidan tebranishni qo'zg'atishga sarflangan energiyani xarakterlaydigan quyidagi ifodani keltirib chiqardi:

$$W = A^3 \sqrt{m\left(\frac{\Delta}{l}\right)\left[\frac{\zeta}{\rho} + \frac{\rho}{l} n \frac{dN(0)}{d\varphi}\right]^2},$$

bunda: $\frac{dN(0)}{d\varphi}$ – yonlama kuchning nol orqali o'tishida undan olingan hosilaning qiymati;

m – porshen to'plami detallarining massasi;

Δ – porshen va silindr orasidagi diametral tirqish;

ρ – porshen to'plami inersiyasining radiusi;

l – porshenning aylanish o'qidan etakning pastki chekkasigacha bo'lgan masofa;

ζ – porshen barmog'i va o'qi hamda porshen to'plami va massasi markazi orqali o'tuvchi o'q orasidagi masofa;

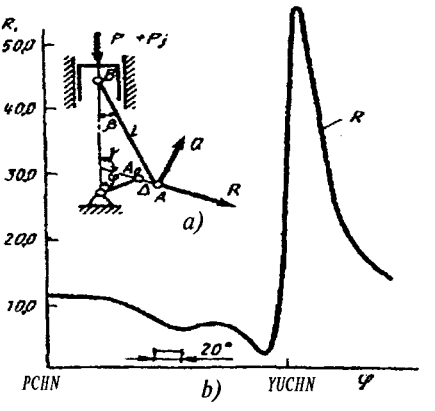
A – sonli koeffitsiyent;

n – aylanishlar chastotasi.

Bu tenglamadan porshen zarbidan shovqinni pasaytirish uchun

(1,0...1,25)D gacha uzaytirilgan etakli konstruksiya maqsadga muvofiqligi kelib chiqadi. Etak uzunligining keyinchalik orttirilishi massa va inersiya radiusining ortishi tufayli maqsadga muvofiq emas.

Barmoq o'qining silindr o'qiga nisbatan siljishi zarba tezligiga ta'sir qilishi mumkin. Bunday siljishning val aylanishining qarama-qarshi tomonida 0,03D oralig'ida yotadigan eng maqbuli mavjud. Barmoq o'qining ko'p siljishi zarbani kuchaytiradigan gazlar kuchidan moment paydo bo'lishiga olib keladi. Tirsakli valning silindr o'q chizig'iga nisbatan siljishi ham qayta joylashish jadalliligiga ta'sir qiladi.



1.15-rasm. **Shatun podshipnikdagi tirqish Δ ni hisobga olinishidagi sxemasi (*a*) va tirsakli valning burilish burchagiga dinamikaviy reaksiya R ning bog'liqlik grafigi (*b*); A – yuklamaning keskin oshish qismi.**

KSHM ning podshipnikli tugunlarida natijaviy kuch belgisining o'zgarishi tutashuvchi zvenolar urilishiga har doim ham olib kelmaydi. Podshipnik tarkibiy qismlarining bir-biriga nisbatan siljishi o'zaro kontaktli yoki kontaktsiz sodir bo'ladi. Erkin harakatdan kontaktli harakatga o'tish jarayoni zarba bilan kuzatiladi.

Birikkan detallar orasida kontakt yo'qolganda zarbalar jadalligi ham tirqish kattaligiga va urilish paytida yuklamaning tezligi ortishiga bog'liq. Kontakt saqlab qolinganda zarbalar hodisasining jadalligi faqat qo'yilgan yuklama xarakteri bilan aniqlanadi.

Shatun podshipniklarida zarbaning sodir bo'lish sharoiti va zarbali yuklamalarning qo'yilish xarakteri analitik ko'rib chiqilishi mumkin. Bu topshiriq podshipnikdagi reaksiyani o'rganishga olib keladi.

1.15-rasmda shatun podshipnikdagi tirqishni hisobga oladigan mexanizm sxemasi va dinamikaviy reaksiyaning egri chizig'i keltirilgan. γ burchakning berilishi bilan dinamikaviy reaksiya R tenglamasi va uning ta'sir chizig'i barcha kuchlarning R va Q o'qlariga proyeksiyalash bilan topiladi:

$$R = f(\varphi)\sin\gamma + \nu(\varphi)\cos\gamma,$$

bunda:

$$f(\varphi) = \left[k - \frac{\lambda}{\cos\beta}\left(\cos\varphi + \lambda\cos 2\varphi - \frac{P_g}{m_j r\omega^2}\right)\right]\sin\varphi;$$

$$\nu(\varphi) = (1+k)\times\cos\varphi + \lambda\cos 2\varphi - \frac{P_g}{m_j r\omega^2};\quad k = m_{shk}/m_j;$$

bunda: m_{shk} – shatun quyi kallagining keltirilgan massasi;

m_j – qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi detallar massasi;
ω – tirsakli valning burchak tezligi;
λ – krivoship radiusining shatun uzunligiga bo'lgan nisbati.

Podshipnikning harakatlanuvchi tarkibiy qismlari orasida kontaktning yo'qolish sharti $R=0$. Bu nazariy tomondan bir vaqtda quyidagi shartlar bajarilganda amalga oshishi mumkin:

$$\varphi = 2\pi k\,(k = 1,2,3,\ldots); \qquad P_g = (1+k+\lambda)m_j r\omega^2.$$

1.2-jadvaldagi ma'lumotlarga muvofiq, uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda bu shart doimo bajariladi, dizellarda esa – faqat katta aylanishlar chastotasida bajariladi.

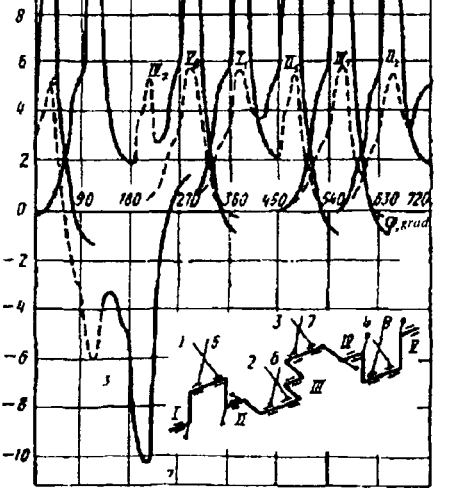
Agar dvigatellarning o'zak tayanchlaridagi dinamikaviy reaksiyalar tahlilida tirqish e'tiborga olinsa, u holda statik aniqlikdan voz kechishga to'g'ri keladi. Bunday yo'l qo'yishlarni uch tayanchli vallarga tatbiqan ishlatish mumkin, unda dinamikaviy reaksiyaning nolga aylanish sharoiti shatun podshipniklari uchun qilinganga o'xshash analitik ifodalanishi mumkin.

Murakkabroq sxemalar tahlilini ayrim yo'l qo'yishlarni qabul qilib amalga oshirish mumkin. Masalan, ZIL-130 ning har bir o'zak podshipnigi uchun mos kelgan krivoshipga ta'sir qiluvchi (1.16-rasm) dinamikaviy kuch R_q va krivoshipning aylanuvchi massalari inersiya kuchi P_c dan natijaviy kuchni aniqlash uchun ifodani tuzish mumkin:

$$P_m = R_{qn}^{j,i} + R_{q(n+i)}^{j,i} + P_{cn} + P_{c(n+i)},$$

bunda: i, j, m, n – mos holda chap (i=1, 2, 3, 4) va o'ng (j=5, 6, 7, 8) qatordagi silindrlar shatun podshipniklarida tirsakli valning shatun (n=1, 2, 3, 4) va o'zak (m=1, 2, 3, 4, 5) bo'yinlarining tartib raqamlari.

Asosiy yo'l qo'yishlar quyidagilardan iborat: ta'sir qiluvchi kuch $R_q^{j,i}$ va P_{sn} larni (har bir krivoshipda) faqat yaqin joylashgan ikki podshipnik qabul qiladi, ikkinchi va uchinchi krivoshiplarning aylanma harakatlanuvchi posangilarining inersiya kuchini esa, ikkinchi va to'rtinchi o'zak podshipniklar qabul qiladi. 1.16-rasmdan ko'rinishicha, o'zak podshipnikdagi dinamikaviy reaksiyaga yaqin turgan shatun podshipniklarga ta'sir qiluvchi



1.16-rasm. **ZIL-130 dvigatelining tirsakli validagi o'zak podshipnigiga ta'sir qiluvchi kuchlar (drossel qopqog'i 100% ochiq holda, n=1000 min^{-1}).**

kuchlar ko'proq ta'sir qiladi. Dinamikaviy reaksiya nolga teng bo'lganda ayrim rejimlarda (uchinchi o'zak podshipnik uchun ehtimoli ko'proq) shart mavjud bo'ladi.

Tabiiyki, ko'rsatilgan yo'l qo'yishlarda kattalik R_q taxminiy hisoblanadi.

Bu tahlil podshipnikda sapfa aylanishida va ular orasidagi tirqishda moy mavjud bo'lganda sodir bo'ladigan gidrodinamik kuchni hisobga olmaganda KSHM ishi uchun to'g'ri deb hisoblanadi.

Me'yorida ishlash sharoitida podshipniklarda zarbalar bo'lishiga yo'l qo'yib bo'lmaydi, podshipnikni loyihalashda suyuq ishqalanish sharoitini saqlashga imkon beradigan h_{kp} dan kam bo'lmagan kattalikkacha yuqorida ko'rib chiqilgan kuch omillari ta'sirida radial tirqish kamayishiga yo'l qo'ymaydigan ishlashning gidrodinamik rejimini paydo qilishga intilinadi.

1.2-jadval

IYOD turi	n, min^{-1}	$\frac{1+k+\lambda}{F_p} m_j r\omega^2$	P_{sn}	IYOD turi	n, min^{-1}	$\frac{1+k+\lambda}{F_p} m_j r\omega^2$	P_{sn}
Dizel	1300	0,45...1,35	3,9... ...4,6	Uchqundan o't oldiriladigan	2500	0,78...1,5	0,9... ...1,4
	1600	0,82...1,78			2800	0,98... 1,88	
	1900	1,5...2			3000	1,13... 2,16	
	2100	1...2,5			3600	1,6... 3,1	
	4000	4...6			4000	2...2,45	

I BOB
MUVOZANATLANGANLIK VA DVIGATELNI MUVOZANATLASH

Dvigatel ishlaganda uning tarkibiy qismlarida («ichki» muvozanatlanmaganlik), shuningdek, avtomobil (traktor) – dvigatel («tashqi» muvozanatlanmaganlik) tizimida tebranma hodisalarni keltirib chiqaradigan kuchlar dvigatel konstruksiyasida paydo bo'ladi.

Dvigatel barqaror rejimda ishlaganda uning tayanchlaridagi reaksiya kattaligi va yo'nalishi bo'yicha o'zgarmas bo'lib qolsa, bunday dvigatellar *tashqi muvozanatlangan* deb ataladi. Bunday dvigatelning o'zi osmada tebranish hosil qilmaydi va tebranma energiyani uzatmaydi hamda o'zi o'rnatilgan mashina konstruksiyasida tebranishlarni uyg'otmaydi.

Muvozanatlanganlikni yaxshilaydigan tadbirlar majmuasi *dvigatelni muvozanatlash* deb ataladi.

2.1. BIR SILINDRLI DVIGATELNING MUVOZANATLANMAGANLIGINI KELTIRIB CHIQARADIGAN KUCH OMILLARI

Bir silindrli dvigatelning ishlashida KSHM da paydo bo'ladigan kuch omillari tahlilida tayanch reaksiyalari bilan ularning quyidagilari muvozanatlanishi o'rnatilgan edi (2.1-rasm): birinchi P_{jI} va ikkinchi tartibli P_{jII} kuchlar, aylanuvchi massalarning markazdan qochma inersiya kuchlari, shuningdek, to'nkaruvchi moment va dvigatelning og'irligi, ya'ni

$$R_A;\ R_B = f(P_{jI},\ P_{jII},\ K_r,\ M_{to'n},\ G_{dv}).$$

Dvigatelning og'irligidan tashqari barcha sanab o'tilgan kuch omillari vaqt bo'yicha o'zgaradi va dvigatelning muvozanatlanmaganligiga sabab bo'lishi mumkin.

Shunday qilib, bir silindrli dvigatelning muvozanatlanmaganligini keltirib chiqaradigan omillarga P_{jI}, P_{jII}, K_r, $M_{to'n}$ lar kiritiladi.

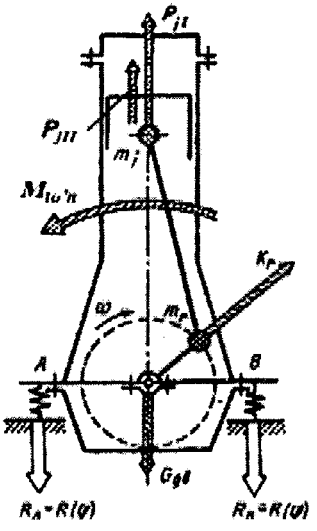
Yuqorida sanab o'tilgan omillarning birortasi, amplitudalarining o'zgarish davrini va qo'yilgan nuqtalarining turliligi tufayli boshqalarining ta'sirini bartaraf qila olmaydi yoki kuchaytira olmaydi, lekin bir silindrli dvigatelni muvozanatlash uchun ularning har birini xususiy holda muvozanatlash kerak.

2.2. KO'P SILINDRLI DVIGATELLARNING MUVOZANATLANGANLIK SHARTI

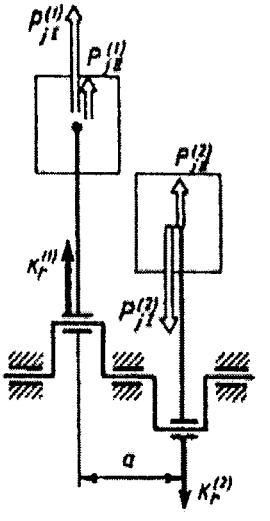
Bir qatorli ko'p silindrli IYOD (*i*-son silindrli) tayanchlarida o'zgaruvchan reaksiyani keltirib chiqaradigan kuch omillarini tahlil qilish uchun dvigatelni kompanovkalash sxemasi, krivoshiplari bir-biriga

nisbatan δ burchakka burilgan va ishchi jarayoni qabul qilingan ishlash tartibiga mos holda faza bo'yicha burchak oralig'ida siljigan, bir silindrli dvigatellarning i ta majmuasi ko'rinishida tasavvur qilish mumkin*.

Shartli bir silindrli dvigatellarning (SHBD) har biriga muvozanatlanmaganlikni keltirib chiqaradigan kuch omillarining to'plami ta'sir qiladi. Ularning kattaligi va ta'sir qilish yo'nalishi har bir SHBD larning yuqori chekka nuqtalariga nisbatan krivoshiplarining joylashishi bilan aniqlanadi.



2.1-rasm. **Bir silindrli dvigatelning muvozanatlanmaganligini keltirib chiqaradigan kuch omillari.**



2.2-rasm. **Ko'p silindrli dvigatellarning muvozanatlanmaganligini keltirib chiqaradigan kuch omillarining tahliliga.**

Bu ko'p silindrli dvigatelni shakllantiradigan bir silindrli dvigatellarga ta'sir qiluvchi bir xil nomli kuch omillari bir-biriga muvozanatlanmaganlik ta'sirini kuchaytirishi yoki yumshatishi (bartaraf qilish oralig'ida) mumkin, shuningdek, dvigatel tayanchlariga ta'sir qiluvchi bo'ylama momentlarning hosil bo'lishini keltirib chiqaradigan kuchlar to'plamini shakllantirishi ham mumkin.

Misol uchun silindrlari bir qator joylashgan va krivoshiplari orasidagi burchak 180° (δ=180°) ni tashkil etgan ikki silindrli dvigatelning (i=2) muvozanatlanmaganligini ko'rib chiqamiz, uning sxemasi 2.2-rasmda keltirilgan.

Birinchi SHBD birinchi silindr va unga tegishli krivoship bilan shakllanadi. Krivoship burchak φ ga burilganda unga kuch omillarining kattaligi quyidagicha bo'ladi:

$$P_{jI}^{(1)} = C\cos\varphi\,;\quad P_{jII}^{(1)} = C\lambda\cos 2\varphi\,;\quad K_r^{(1)} = m_r r\omega^2\,.$$

* Ko'p qatorli IYOD lar uchun ham tahlil to'g'ri hisoblanadi, chunki ularni bir nechta bir qatorli dvigatellar majmuasi sifatida ko'rish mumkin.

Kuchlarning qo'yilgan o'rni va ularning ta'sir chizig'i ma'lum, ularni e'tiborga olgan holda ushbu kuch omillari sxemada qayd qilingan.

Ikkinchi SHBD (ikkinchi silindr va unga tegishli krivoship) birinchiga nisbatan krivoshipi 180° ga burilgan va birinchi shartli dvigatelning krivoshipi φ burchakka burilganda ikkinchini krivoshipi yuqori chekka holatiga nisbatan $(\varphi + 180°)$ ga burilgan bo'ladi, bunga mos holda kuch omillarining kattaligi quyidagicha bo'ladi:

$$P_{jI}^{(2)} = C\cos(\varphi + 180°) = -C\cos\varphi;$$

$$P_{jII}^{(2)} = C\lambda\cos 2(\varphi + 180°) = C\lambda\cos 2\varphi;$$

$$K_r^{(2)} = m_r r\omega^2.$$

Bu kuch omillari ularning kattaligi va yo'nalishining ta'sirini ham hisobga olgan holda sxemada qayd qilingan.

Keyinchalik dvigatelning muvozanatlanmaganligini keltirib chiqaradigan bir xil nomli kuch omillarining o'zaro ta'sirini ko'rib chiqamiz. $P_{jI}^{(1)}$ va $P_{jI}^{(2)}$ kuchlar moduli bo'yicha teng va qarama-qarshi tomonga yo'nalgan, ularning dvigatel tayanchlariga ta'siri o'zaro neytrallashadi, chunki $\sum_{k=1}^{2} P_{jI}^{(k)} = 0$.

Bu vaqtda $P_{jII}^{(1)}$ va $P_{jII}^{(2)}$ kuchlar bir-birini muvozanatlanmaslik ta'sirini kuchaytiradi, chunki absolut kattaliklari teng bo'lganda ularning yo'nalishi bir xil va $\sum_{k=1}^{2} P_{jII}^{(k)} = 2C\lambda\cos 2\varphi$.

Shunga o'xshash mulohaza qilib, $K_r^{(1)}$ va $K_r^{(2)}$ kuchlar bir-birini muvozanatlashini o'rnatish qiyin emas va $\sum_{k=1}^{2} K_r^{(k)} = 0$.

Shu bilan bir vaqtda ular yelka a da bo'ylama moment $\sum_{k=1}^{2} M_r^{(k)} = K_r a$ ni paydo qiladigan kuchni hosil qiladi, u dvigatelning muvozanatlanmaganligini keltirib chiqaradi.

Shunga o'xshash $P_{jI}^{(1)} - P_{jI}^{(2)}$ juft ham muvozanatlanmagan bo'ylama momentni paydo qiladi:

$$\sum_{k=1}^{2} M_{jI}^{(k)} = P_{jI} a.$$

Shu bilan birga bir vaqtning o'zida $P_{jII}^{(1)}$ va $P_{jII}^{(2)}$ kuchlar bo'ylama sxemadan kelib chiqqan holda muvozanatlanmagan momentni paydo qilmaydi, chunki

$$\sum_{k=1}^{2} M_{jII}^{(k)} = 0.$$

Ko'p silindrli dvigatel uchun aytilganlar e'tiborga olinganda uning muvozanatlanmaganligi quyidagi omillar bilan keltirib chiqariladi:

1) $\sum_{k=1}^{i} P_{jI}^{(k)}$ – birinchi tartibli inersiya kuchlar yig'indisi;

2) $\sum_{k=1}^{i} P_{jII}^{(k)}$ – ikkinchi tartibli inersiya kuchlar yig'indisi;

3) $\sum_{k=1}^{N} K_r^{(k)}$ – markazdan qochma inersiya kuchi (N – tirsakli val krivoshiplarining soni);

4) $\sum_{k=1}^{i} M_{jI}^{(k)}$ – birinchi tartibli inersiya kuchlarining yig'indi momenti;

5) $\sum_{k=1}^{i} M_{jII}^{(k)}$ – ikkinchi tartibli inersiya kuchlarining yig'indi momenti;

6) $\sum_{k=1}^{N} M_r^{(k)}$ – markazdan qochma kuchlarning yig'indi momenti.

Ko'p silindrli dvigatelning muvozanatlanmaganligini keltirib chiqaradigan omillar qatoriga to'nkaruvchi moment $\sum M_{to'n}$ ni ham kiritish kerak.

Yuqorida sanab o'tilgan kuch omillari dvigatelni kompanovkalashni mos kelgan sxemasini tanlash yoki quyida ko'rsatilganidek, mos kelgan mexanizmlarni o'rnatish bilan $\sum M_{to'n}$ ni muvozanatlashning amaliy usuli hozirgi paytda o'zlashtirilmagan. Bundan kelib chiqqan holda porshenli dvigatel inersiya kuchlar va ularni momentlarining yig'indilari bo'yicha to'liq muvozanatlangan bo'lishi mumkin. Shunday qilib, «to'liq muvozanatlangan» termin quyidagi shart bajarilgan dvigatelga taalluqli:

$$\sum_{k=1}^{i} P_{jI}^{(k)} = 0;\ \sum_{k=1}^{i} P_{jII}^{(k)} = 0;\ \sum_{k=1}^{N} K_r^{(k)} = 0;\ \sum_{k=1}^{i} M_{jI}^{(k)} = 0;\ \sum_{k=1}^{i} M_{jII}^{(k)} = 0;$$

$$\sum_{k=1}^{N} M_r^{(k)} = 0.$$

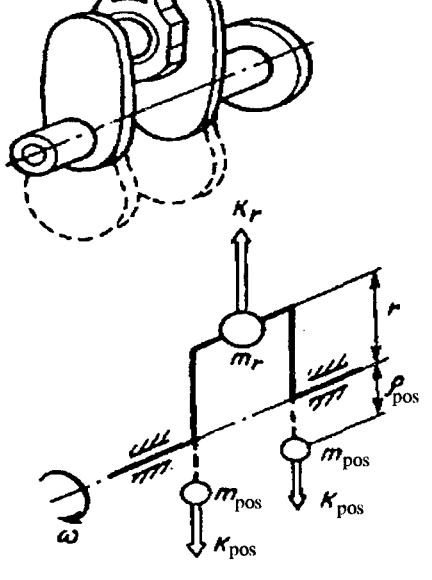
2.3. MARKAZDAN QOCHMA INERSIYA KUCHLARINI VA ULARNING MOMENTLARINI MUVOZANATLASH TAMOYILLARI

$\sum_{k=1}^{N} K_r^{(k)} = 0$ va $\sum_{k=1}^{N} M_r^{(k)} = 0$ shartlarni bajarilishiga yo'naltirilgan texnik tadbirlar majmuasi *tirsakli valni muvozanatlash* deb ataladi.

Agar dvigatelni joylashtirishning boshlang'ich sxemasida bu shart bajarilmasa, u holda tirsakli val uning jag'lari davomiga posangilar o'rnatish bilan muvozanatlanadi.

Misol sifatida bir silindrli dvigatel valini muvozanatlashni ko'rib chiqamiz. 2.3-rasmda bunday valning sxemasi keltirilgan, bundan $\sum_{k=1}^{N} K_r^{(k)} = K_r = m_r r\omega^2$ bo'lishi kelib chiqadi.

Uni muvozanatlash uchun rasmda ko'rsatilganidek, jag'larning davomiga ikkita posangi o'rnatilgan, val aylanganda ular ikki markazdan qochma kuch K_{pos} larni paydo qiladi. Agar $K_r = 2\,K_{pos}$ bo'lsa, u holda bunday val muvozanatlangan bo'ladi, chunki bunda $\sum K_r = 0$ va $\sum M_r = 0$. Buning uchun ρ_{pos} ma'lum bo'lganda (posangi massalari markazidan aylana o'qigacha bo'lgan masofa) m_{pos} quyidagiga teng bo'lishi kerak:



2.3-rasm. **Bir silindrli dvigatel valini muvozanatlash.**

$$m_{pos} = 0{,}5 m_r \frac{r}{\rho_{pos}}.$$

Keyinchalik silindrlari bir qator joylashgan va krivoshiplar orasidagi burchak δ=180° bo'lgan tirsakli valning mumkin bo'lgan muvozanatlash usullarini ko'rib chiqamiz, uning sxemasi 2.4-rasmda keltirilgan.

Bu dvigatel uchun asosiy sxemasi tahlilidan quyidagi kelib chiqadi:

$$\sum_{k=1}^{2} K_r^{(k)} = 0 \quad \text{va}$$

$$\sum_{k=1}^{2} M_r^{(k)} = K_r a = m_r r\omega^2 a,$$

bunda: a – silindrlar o'qlari orasidagi masofa.

Markazdan qochma kuchlar momentini muvozanatlash uchun chekkadagi jag'larning davomiga ikkita posangi o'rnatiladi, ular valning aylanishida juft markazdan qochma kuch K_{pos} larni sodir qiladi. Natijada b yelkada muvozanatlovchi moment $M_{mu} = K_{pos}b$ ga teng bo'ladi. Uning kattaligi muvozanatlanmagan momentlar yig'indisiga teng bo'lishi kerak:

$$M_{mu} = \sum_{k=1}^{2} M_r^{(k)} .$$

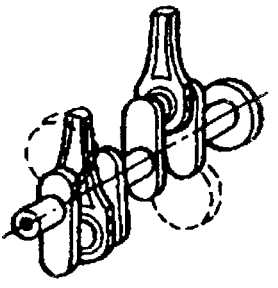
Bu holatda $K_{pos}b = K_r a$.

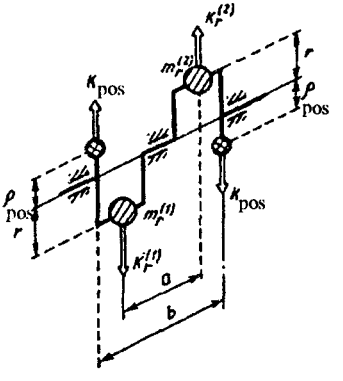
Aylanish o'qidan posangilar massalarining markazigacha bo'lgan masofa berilganda markazdan qochma kuchlar kattaligi o'rnatilgandan so'ng muvozanatlash uchun zarur bo'lgan uning massasi aniqlanishi mumkin:

$$m_{pos} = m_r \frac{r}{\rho_{pos}} \cdot \frac{a}{b} .$$

Bu dvigatel va boshqa ko'pchilik dvigatellar uchun muvozanatlashning bu tizimi yagona emas.

O'rtadagi jag'lar davomiga joylashtirilgan posangilar bilan ham valni muvozanatlash mumkin (2.5-rasm).





2.4-rasm. δ=180° bo'lgan bir qatorli ikki silindrli dvigatelning tirsakli valini muvozanatlash.

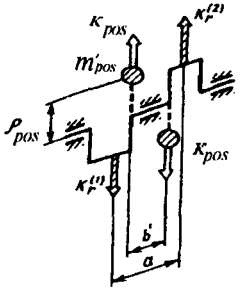
2.5-rasmda keltirilgan muvozanatlash varianti ρ_{pos} bir xil bo'lganda 2.4-rasmdagi variantga qaraganda $b > b'$ va $m'_{pos} = m_{pos}\frac{b}{b'}$ bo'lganligi uchun posangi massasini ko'p bo'lishini talab qilishini ko'rsatib o'tish kerak.

Muvozanatlash sxemasini tanlashda qabul qilinayotgan yechimning maqbulini aniqlaydigan quyidagi ikki asosga e'tibor qaratish kerak. Qabul qilingan muvozanatlash sxemasi ta'minlashi kerak:

– markazdan qochma kuchlar $(\sum K_r = 0)$ va ularning momentlarining $(\sum M_r = 0)$ muvozanatlash shartlarini har tomonlama bajarish;

– posangilar tizimi massasining kamligi, shuningdek, valni ishlab chiqarishga eng kam xarajat qilish.

Dvigatelsozlik amaliyotida $\sum K_r = 0$ va $\sum M_r = 0$ shartni posangilar tizimini o'rnatmasdan avtomatik ta'minlaydigan o'zi muvozanatlashgan deb ataladigan vallar keng tarqalgan. Bunday konstruksiyaga 2.6-rasmda sxemasi keltirilgan to'rt silindrli to'rt taktli bir qatorli dvigatelning tirsakli valini misol qilish mumkin.



2.5-rasm. **Bir qatorli ikki silindrli dvigatel valini muvozanatlash sxemasining varianti.**

Keltirilgan rasmdan kelib chiqqan holda $\sum_{k=1}^{4} K_r^{(k)} = 0$ bo'ladi. Kuchlarning bosh vektori nolga teng bo'lishida mumkin bo'lgan momentlarning hisoblash nuqtasini valning geometrik markazi deb qabul qilib (O nuqta),

$$\sum_{k=1}^{4} M_r^{(k)} = 0$$

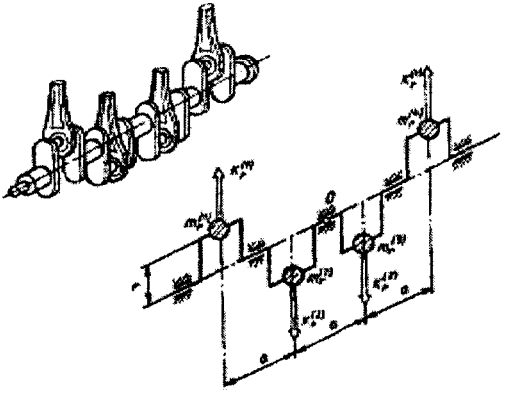
bo'lishini isbotlash qiyin emas, chunki

$$\left|M_r^{(k)}\right| = K_r^{(1)} 1{,}5a = \left|M_r^{(4)}\right| = K_r^{(4)} 1{,}5a \quad \text{va}$$

$$\left|M_r^{(2)}\right| = K_r^{(2)} \cdot 0{,}5a = \left|M_r^{(3)}\right| = K_r^{(3)} \cdot 0{,}5a .$$

O'zi muvozanatlanadigan xususiyatga krivoshiplari juft sonli bo'lgan (to'rt va undan ortiq) tirsakli vallar ega bo'ladi, ular uchun bo'ylama o'qqa perpendikulyar bo'lgan geometrik markaz orqali o'tadigan tekislik, ko'zguli simmetriyaning tekisligi hisoblanadi. Bunday xususiyatga qatorli olti va sakkiz silindrli to'rt taktli dvigatellarning tirsakli vallari ega bo'ladi.

Biroq, markazdan qochma kuchlar va ularni momentidan muvozanatlanganligiga qaramasdan o'zi muvozanatlanadigan vallar jag'larining davomiga deyarli har doim posangilar o'rnatiladi. Ularning vazifasi – o'zak podshipniklarni markazdan qochma kuchlar ta'siridan hamda val va karter konstruksiyalarining mahalliy eguvchi momentlardan yuksizlantirishdan iborat. Ta'rifdan kelib chiqqan holda, ushbu tadbir tirsakli val – dvigatel korpusi tizimining ichki muvozanatlanganligini yaxshilashga yo'naltirilgan. 2.7-rasmda R reaksiyadan o'zak tayanchlarni to'liq, shuningdek, markazdan qochma kuch K_r lar ta'sirida valning egilishini keltirib chiqargan momentlardan ko'p miqdorda yuksizlantirishga imkon beradigan to'rt silindrli dvigatel tirsakli valining posangilar tizimi ko'rsatilgan.



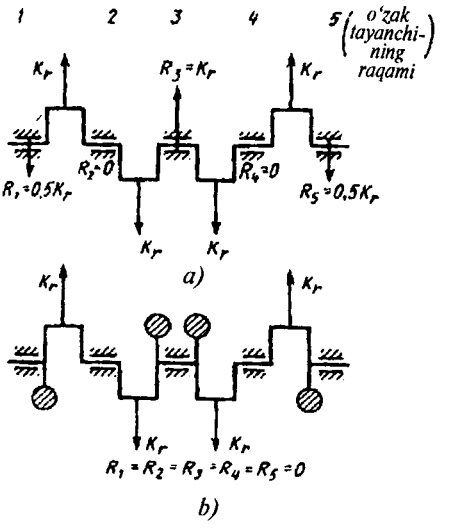
2.6-rasm. **To'rt taktli to'rt silindrli bir qatorli dvigatelning o'zi muvozanatlanadigan tirsakli vali.**

Istalgan valning muvozanatlashuvida (faqat o'zi muvozanatlashgan emas) boshqa bir xil sharoitda K_r kuchlardan o'zak tayanchlarni va eguvchi momentlardan konstruksiyasini eng yaxshi tarzda yuksizlantiradigan, ya'ni dvigatelning

ichki muvozanatlashuvini eng yaxshi darajada ta'minlaydigan posangilarning joylashish tizimlarini yaxshiroq deb bilishni aytib o'tish kerak.

2.4. «FAZOVIY» TIRSAKLI VALLARNI MUVOZANATLASH

Ko'p silindrli dvigatellarning ayrim silindrlaridagi ishchi yo'llarining orasida burchak oraliqlarining bir tekisligini ta'minlash uchun krivoshiplari turli tekislikda joylashgan «fazoviy» tirsakli vallar ishlatiladi. Bunday konstruksiyali vallarga uch silindrli bir qatorli dvigatel vali misol bo'lib hisoblanadi (shuningdek, olti silindrli $\gamma = 90°$ va $\gamma = 120°$ bo'lgan V simon IYOD). 2.8-rasmda uning sxemasi keltirilgan.



2.7-rasm. **Bir qatorli to'rt silindrli dvigatelning o'zak tayanchlaridagi yuklama:** *a* — posangilar o'rnatilmaganda; *b* — posangilar o'rnatilganda.

Keltirilgan rasmdan kelib chiqib, bu holatda markazdan qochma kuchlarning umumiysi alohida krivoshiplarga ta'sir qiluvchi K_r kuchlarni geometrik qo'shish bilan aniqlanadi:

$$\sum \overline{K}_1 = K_r^{(1)} + K_r^{(2)} + K_r^{(3)} = 0.$$

Bu kuchlarning O nuqtaga nisbatan momenti birinchi va uchinchi krivoshiplar tekisligida ta'sir qiluvchi $M_1 = K_r^{(1)} a$ va $M_3 = K_r^{(3)} a$ momentlarning geometrik yig'indisiga teng:

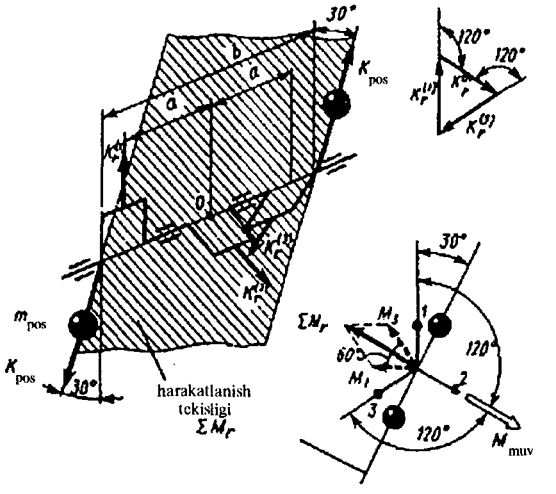
$$\sum M_r = \overline{M}_1 + \overline{M}_3.$$

Bu momentlarning vektorlarini qo'shish (2.8-rasm) markazdan qochma kuchlarning muvozanatlanmagan momenti moduli bo'yicha $\left|\sum M_r\right| = \sqrt{3} K_r a$ ga tengligini va birinchi krivoshipga 30° burchak osti tekisligida ta'sir qilishini ko'rsatadi.

Uning muvozanatlanishi uchun o'shanday tekislikda absolut qiymati bo'yicha teng, lekin qarama-qarshi tomonga yo'nalgan muvozanatlovchi moment M_{mu} ni sodir qilish kerak. Bu soddaroq konstruksiyada $\sum M_r$ ning ta'sir qilish tekisligida chekkadagi jag'larga m_{pos} massali ikkita posangilarni va aylanish o'qidan massalar markazigacha bo'lgan masofa ρ_{pos} bilan amalga oshiriladi.

Muvozanatlash sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$\left|\sum M_r\right| = M_{mu};\ \sqrt{3} m_r r \omega^2 a = m_{pos} \rho_{pos} \omega^2 b,\ \text{bundan}\ m_{pos} = \sqrt{3} m_r \frac{a}{b} \cdot \frac{r}{\rho_{pos}}.$$



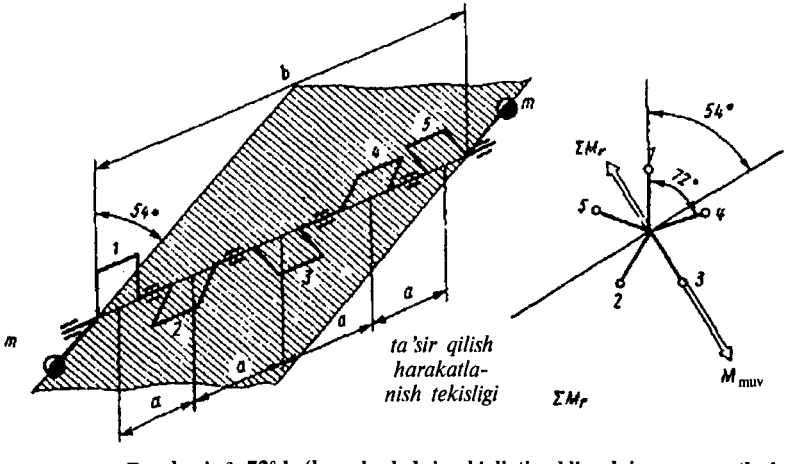
2.8-rasm. δ = **120° burchak ostida bo'lgan uch krivoshipli fazoviy tirsakli valni muvozanatlash.**

Fazoviy tirsakli vallar besh silindrli bir qatorli (2.9-rasm), shuningdek, γ=90° bo'lgan sakkiz silindrli *V*-simon dvigatelda ham bor (2.10-rasm).

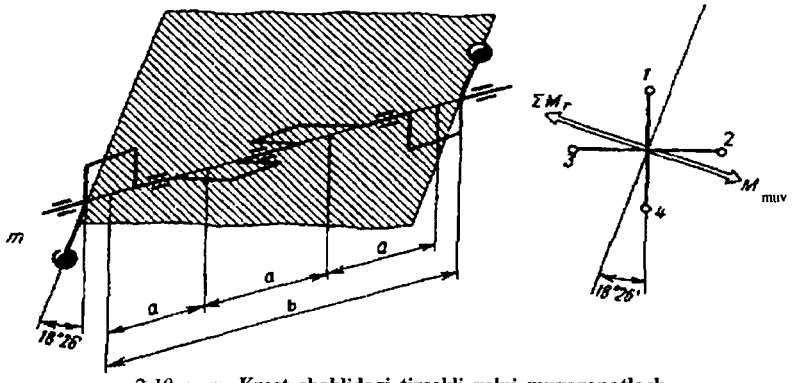
Tirsakli vallarning bu turdagi kompanovkasi muvozanatlanganligini oldingi holatda foydalanilgan usul bo'yicha o'tkazilgan tahlili quyidagilarni ko'rsatadi:

1) δ = 72° burchak bilan joylashgan besh krivoshipli val uchun

$$\sum K_r = 0 \;;\; \left|\sum M_r\right| = 0{,}499 m_r r \omega^2 a \;;$$



2.9-rasm. **Burchagi** δ=72° **bo'lgan besh krivoshipli tirsakli valni muvozanatlash.**



2.10-rasm. **Krest shaklidagi tirsakli valni muvozanatlash.**

muvozanatlanmagan moment birinchi krivoship o'qiga nisbatan 54° burchak ostidagi tekislikda ta'sir qiladi, $\sum M_r$ ning ta'sir qilish tekisligida chekkadagi jag'larga joylashtirilgan $m_{pos} = 0,499 m_r \frac{r}{\rho_{pos}} \cdot \frac{a}{b}$ massali ikki posangi bilan muvozanatlash mumkin (variant sifatida);

2) to'rt krivoshipli krest shaklidagi tirsakli val uchun $\sum K_r = 0$; $|\sum M_r| = \sqrt{10} m_r r \omega^2 a$; $\sum M_r$ moment birinchi krivoship o'qiga nisbatan $18°26'$ burchak ostidagi tekislikda ta'sir qiladi, 2.10-rasmda ko'rsatilganidek, massalari $m_{pos} = \sqrt{10} m_r \frac{r}{\rho_{pos}} \cdot \frac{a}{b}$ ga teng bo'lgan ikki posangini o'rnatish bilan muvozanatlash mumkin.

Tirsakli val, karter va o'zak podshipniklarini yuksizlantirish uchun $\sum M_r$ ni muvozanatlashda dvigatelning ichki muvozanatlanganligini yaxshilashga yordam beradigan chekkalardagi jag'lar bilan birgalikda boshqa jag'larning davomiga posangilarni o'rnatish ham amaliyotda ko'p foydalaniladi. Bunda qabul qilingan posangilar tizimi yuqorida ko'rib chiqilgan variantlar kabi muvozanatlovchi moment M_{mu} kattaligini, yo'nalishini va ta'sir qilish tekisligini saqlab qolishi kerak.

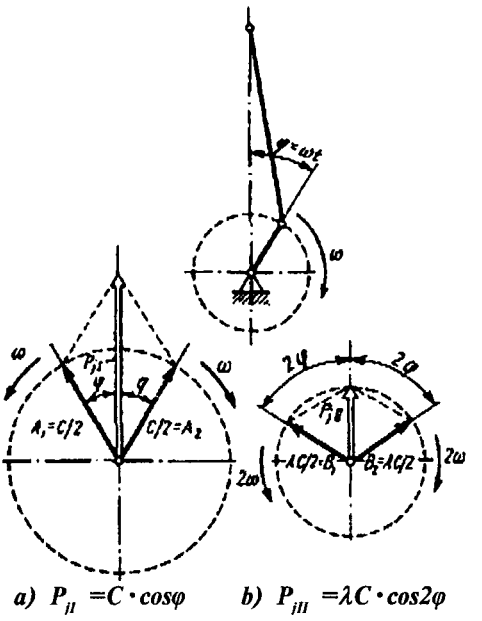
2.5. QAYTMA-ILGARILANMA HARAKATLANUVCHI MASSALARNING INERSIYA KUCHLARINI MUVOZANATLASH TAMOYILLARI

2.11-rasmda keltirilgan inersiya kuch P_{jI} va P_{jII} larning grafikli usulda aniqlashni ko'rib chiqamiz.

Ta'sir chizig'i silindr o'qiga mos keladigan inersiya kuchi $P_{jI} = C \cos\varphi$ ning KSHM sxemasida qarama-qarshi tomonga $\pm\omega$ burchak chastotasi bilan aylanayotgan $C/2 = 0,5 m_j r \omega^2$ modulli ikki A_1 va A_2 kuchlar vektor-

larining yig'indisi sifatida bevosita olish mumkin, biroq ulardan biri krivoship bilan birga aylanadi. 2.11-a rasmdagi bajarilgan tuzilishiga mos holda $\overline{A}_1 + \overline{A}_2 = \overline{P}_{jI}$, chunki silindr o'qidagi kuch A lar proyeksiyasining yig'indisi kabi absolut qiymat $|P_{jI}| = C\cos\varphi$ ga teng bo'ladi.

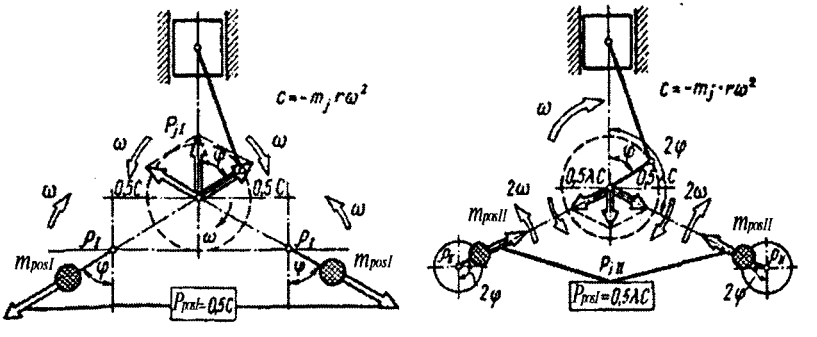
Shunga o'xshash, 2.11-b rasmda ko'rsatilgandek, kuch $P_{jII} = B_1 + B_2$ ga teng, bunda, B_1 va B_2 — qarama-qarshi tomonga ikkilangan burchak chastotasi $\pm 2\omega$ bilan aylanadiga $0{,}5\lambda C = 0{,}5\lambda m_j r\omega^2$ modulli vektorlar.



2.11-rasm. **Inersiya kuch P_{jI} (*a*) va P_{jII} (*b*) larni grafikda aniqlash.**

2.12-a, b rasmda ko'rsatilgan P_{jI} va P_{jII} kuchlarning prinsipial sxemasi yuqorida belgilangan kuch omillari (P_{jI} uchun A_1, A_2 va P_{jII} uchun B_1,B_2) shakllantiradigan aylanuvchi kuchlarni uning aylanishiga mos keluvchi ω va 2ω chastotalar bilan aylanadigan avtonom vallardagi posangilarning markazdan qochma kuchlari bilan muvozanatlashni ko'zda tutadi.

Shunday qilib, inersiya kuchi P_{jI} ni muvozanatlash uchun tirsakli valning burchak chastotasiga teng bo'lgan $\pm\omega$ burchak chastotasida qarama-qarshi tomonga aylanadigan posangilarni massalari m_{posI} bo'lgan ikki val tizim ko'rinishidagi mexanizmlardan foydalaniladi.



2.12-rasm. **Qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi massalar inersiya kuchlarini muvozanatlash mexanizmining sxemasi**: *a* — P_{jI} birinchi tartibli; *b* — P_{jII} ikkinchi tartibli.

Muvozanatlash sharti $P_{posI} = m_{posI}\omega^2\rho_{posI} = 0{,}5\,C$ ko'rinishga ega, bundan kelib chiqqan holda, ρ_{posI} ma'lum bo'lganda muvozanatlash uchun posangilarning zarur bo'lgan massasi $m_{posI} = 0{,}5m_j\dfrac{r}{\rho_{posI}}$ ga teng bo'ladi.

P_{jII} ni muvozanatlash uchun mos holda posangilarining massasi m_{posII} bo'lgan $\pm 2\omega$ burchak chastotasi bilan qarama-qarshi tomonga aylanadigan ikkita valli tizimdan foydalaniladi. Posangilarning massasi $m_{posII} = \dfrac{1}{8}m_j\lambda\dfrac{r}{\rho_{posI}}$ ga teng bo'lganda $P_{posII} = m_{posII}\rho_{pos}(2\omega)^2 = 0{,}5\lambda C$ muvozanatlash sharti bajariladi.

2.6. SILINDRLARI BIR QATOR JOYLASHGAN DVIGATELLARNING MUVOZANATLANGANLIGINI TAHLIL QILISH TAMOYILI

Muvozanatlanganlik tahlil qilinishida silindrlari bir qator joylashgan ko'p silindrli dvigatel *i* ta (silindrlar soni) shartli bir silindrli dvigatellar sifatida ko'rib chiqilib, ularning krivoshiplari sinxron holda aylanadi, dvigatelni joylashtirish sxemasi va eng maqbul tartibda ishlashi bilan aniqlanadigan bir-biriga nisbatan δ burchakka burilgan deb qaraladi. So'ngra bir xil nomli kuch omillari algebraik ravishda qo'shiladi va tirsakli valning geometrik markaziga nisbatan ularning momentlari yig'indisi aniqlanadi.

Yuqorida bayon qilingan tamoyillarning to'rt taktli to'rt silindrli bir qatorli dvigatelning muvozanatlanganligini tahliliga tatbiqan ko'rib chiqamiz (2.13-rasm). Bunday dvigatelni to'rtta shartli bir silindrli dvigatellar majmuasi sifatida tasavvur qilish mumkin, ularning krivoshiplari birinchisiga nisbatan $\delta_{1\text{-}2} = 180^0$; $\delta_{1\text{-}3} = 180^0$; $\delta_{1\text{-}4} = 0^0\ (360^\circ)$ burchaklarga burilgan, bu 180° burchak oralig'ida ishchi yo'llarining bir tekis almashinuvini ta'minlaydi. Bir silindrli bo'limning har biriga uning muvozanatlanmaganligini keltirib chiqaradigan kuchlar omillarining to'plami ta'sir qiladi:

1-bo'lim

$P_{jI}^{(1)} = C\cos\varphi$

$P_{jII}^{(1)} = \lambda C\cos 2\varphi$

$K_r^{(1)} = m_r r\omega^2$

2-bo'lim

$P_{jI}^{(2)} = C\cos(\varphi + 180^0) = -C\cos\varphi$

$P_{jII}^{(2)} = \lambda C\cos 2(\varphi + 180^0) = \lambda C\cos 2\varphi$

$K_r^{(2)} = -m_r r\omega^2$

3-bo'lim

$P_{jI}^{(3)} = C\cos(\varphi + 180^0) = -C\cos\varphi$

$P_{jII}^{(3)} = \lambda C\cos 2(\varphi + 180^0) = \lambda C\cos 2\varphi$

$K_r^{(3)} = -m_r r\omega^2$

4-bo'lim

$P_{jI}^{(4)} = C\cos\varphi$

$P_{jII}^{(4)} = \lambda C\cos 2\varphi$

$K_r^{(4)} = m_r r\omega^2$

Bu kuchlar omillari ta'sir yo'nalishi sxemada qayd qilingan.
Keyinchalik bir xil nomli kuchlar omillarini algebraik qo'shamiz:

$$1)\ \sum_{k=1}^{4} P_{jI}^{(k)} = 0;\quad 2)\ \sum_{k=1}^{4} P_{jII}^{(k)} = 4\lambda C\cos 2\varphi;\quad 3)\ \sum_{k=1}^{4} K_r^{(k)} = 0.$$

Tirsakli valning geometrik markaziga nisbatan bu kuchlarning momentlarining yig'indisi aniqlanadi:

1-bo'lim

$$M_{jI}^{(1)} = P_{jI}^{(1)} 1{,}5a$$

$$M_{jII}^{(1)} = P_{jII}^{(1)} 1{,}5a$$

$$M_r^{(1)} = K_r^{(1)} 1{,}5a$$

2-bo'lim

$$M_{jI}^{(2)} = P_{jI}^{(2)} 0{,}5a$$

$$M_{jII}^{(2)} = P_{jII}^{(2)} 0{,}5a$$

$$M_r^{(2)} = K_r^{(2)} 0{,}5a$$

3-bo'lim

$$M_{jI}^{(3)} = -P_{jI}^{(3)} 0{,}5a$$

$$M_{jII}^{(3)} = -P_{jII}^{(3)} 0{,}5a$$

$$M_r^{(3)} = -K_r^{(3)} 0{,}5a$$

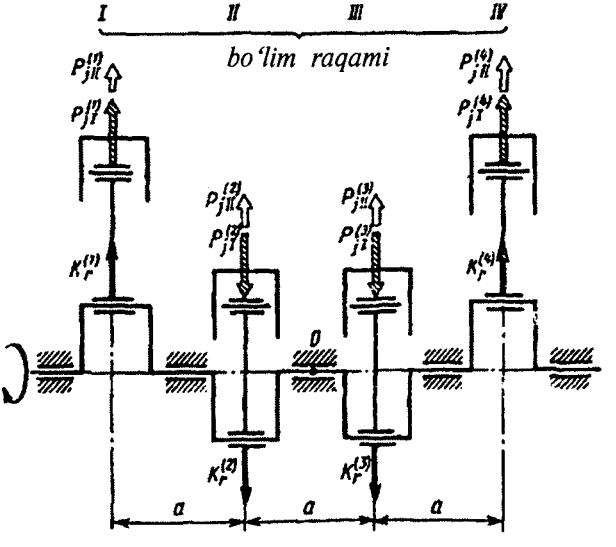
4-bo'lim

$$M_{jI}^{(4)} = -P_{jI}^{(4)} 1{,}5a$$

$$M_{jII}^{(4)} = -P_{jII}^{(4)} 1{,}5a$$

$$M_r^{(4)} = -K_r^{(4)} 1{,}5a$$

Bundan



2.13-rasm. **To'rt silindrli dvigatelda tirsakli val va inersiya kuchlarining ta'sir qilish sxemasi.**

4) $\sum_{k=1}^{4} M_{jI}^{(k)} = 0$; 5) $\sum_{k=1}^{4} M_{jII}^{(k)} = 0$; 6) $\sum_{k=1}^{4} M_{r}^{(k)} = 0$

shunga binoan

$$\left|P_{jI}^{(1)}\right| = \left|P_{jI}^{(2)}\right| = \left|P_{jI}^{(3)}\right| = \left|P_{jI}^{(4)}\right| \quad \text{va} \quad \left|P_{jII}^{(1)}\right| = \left|P_{jII}^{(2)}\right| = \left|P_{jII}^{(3)}\right| = \left|P_{jII}^{(4)}\right|.$$

Tirsakli val uchun o'zi muvozanatlanganlik sharti bajarilishi munosabati bilan 3 va 6 larning muvozanatlanganlik shartlari bajarilishini tahlil qilmasa ham bo'lishi mumkinligini qayd qilib o'tish kerak.

2.7. V SIMON DVIGATELLARNING MUVOZANATLANGANLIGINI TAHLIL QILISH TAMOYILI

V simon dvigatellar muvozanatlanganligini tahlil qilishda uning konstruksiyasi shartli ravishda $i/2$ ikki silindrli bo'limlar majmuasi sifatida tasavvur qilinadi, ularning krivoshiplari sinxron ravishda aylanadi va bir-biriga nisbatan dvigatelning joylashtirish sxemasi bo'yicha aniqlanadigan burchakka yoyilgan. Shartli ikki silindrli bo'limlarning har biriga ta'sir qiluvchi bir xil nomli kuch omillari va ularning muvozanatlanmaganligini keltirib chiqaradiganlar, keyinchalik tirsakli val uzunligi bo'yicha qo'shiladi.

Yuqorida bayon qilingan tamoyillarni qo'llashni tasvirlash sifatida uning asosida to'rt taktli sakkiz silindrli V simon og'ish burchagi $\gamma = 90^\circ$ bo'lgan dvigatelni tahlil qilamiz. Bunday dvigatelni to'rt silindrli V simon $\gamma = 90^\circ$ bo'lgan majmua ko'rinishida qarash mumkin (2V90). Shuning uchun 2V90 ni muvozanatlanmaganligini keltirib chiqaradigan kuch omillarini aniqlash bilan tahlilni boshlaymiz, uning sxemasi 2.14-rasmda keltirilgan.

Bu dvigatel uchun $\sum_{k=1}^{2} \overline{P}_{jI}^{(k)} = P_{jI}^{(o')} + P_{jI}^{(ch)}$, bunda «o'» indeks o'ngdagi, «ch» esa –chapdagi silindrlarga berilgan kuchga tegishli; $\left|P_{jI}^{(ch)}\right| = C\cos\varphi$; $P_{jI}^{(o')} = C\cos\left(\varphi + 270^\circ\right) = C\sin\varphi$. $P_{jI}^{(o')}$ va $P_{jI}^{(ch)}$ kuchlarni ta'sir chizig'i bo'ylab O nuqtaga ko'chirib, ularni geometrik qo'shamiz.

Chap silindr o'qlari orasidagi burchak α va moduli hamda birinchi tartibli inersiya kuchining yig'indisi $\sum_{k=1}^{2} P_{jI}^{(k)}$ ni ta'sir qilish chizig'i mos holda quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

$$\left|\sum_{k=1}^{2} P_{jI}^{(k)}\right| = \sqrt{\left[P_{jI}^{(ch)}\right]^2 + \left[P_{jI}^{(o')}\right]^2} = C = -m_j r\omega^2;$$

$$\alpha = arctg\frac{P_{jI}^{(o')}}{P_{jI}^{(ch)}} = \varphi.$$

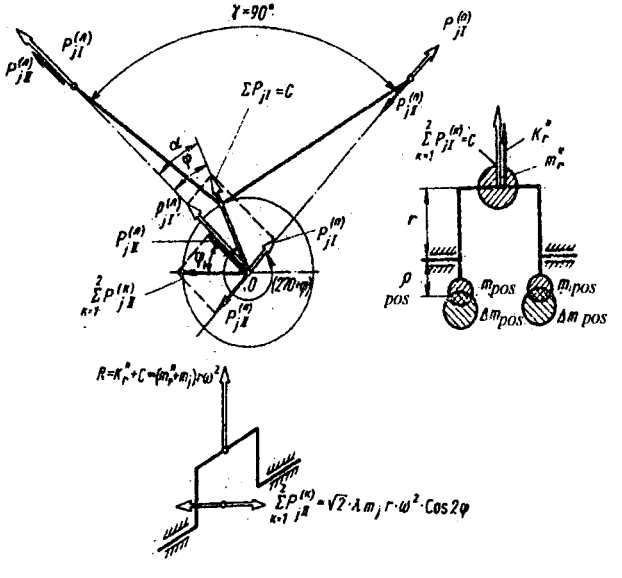
Shunday qilib, 2V90 dvigatelda inersiya kuchining yig'indisi ΣP_{jI} kattaligi bo'yicha o'zgarmas (C) va har doim uning aylanish o'qidan krivoship bo'ylab yo'nalgan $(\alpha = \varphi)$, ya'ni markazdan qochma kuch $K_r^* = m_r^* r\omega^2$ ega bo'lgan xususiyatlarga u ham ega bo'ladi. Bunda: $m_r^* = m_{shb} + 2m_j \frac{r}{\rho_j} + 2m_{o'b}$. Ilgari ko'rsatib o'tilganidek, kuch K_r^* jag'larning davomiga m_{pos} massaga mos kelgan massali posangilarni o'rnatish bilan muvozanatlanadi, bundan kelib chiqqan holda $\sum_{k=1}^{2} P_{jI}^{(k)} = C$ kuch posangilar massasini quyidagi miqdorga orttirish bilan muvozanatlanishi mumkin:

$$\Delta m_{pos} = 0{,}5 m_j \frac{r}{\rho_{pos}}.$$

Chap va o'ng silindrlarning ikkinchi tartibli inersiya kuchlari $P_{jI}^{(ch)} = \lambda C \cos 2\varphi$ va $P_{jI}^{(o')} = \lambda C \cos 2(\varphi + 270^\circ) = -\lambda C \cos 2\varphi$ ni ta'sir chizig'i bo'ylab O nuqtaga ko'chirilganidan keyin va geometrik qo'shish modulni hamda chap silindr o'qiga nisbatan yo'nalishini beradi (φ_1 burchak):

$$\left|\Sigma P_{jII}^{(k)}\right| = \sqrt{\left[P_{jI}^{(ch)}\right]^2 + \left[P_{jI}^{(o')}\right]^2} = \sqrt{2}\lambda C \cos 2\varphi;$$

$$\varphi_1 = arctg \frac{P_{jI}^{(o')}}{P_{jI}^{(ch)}} = -45^\circ (135^\circ).$$

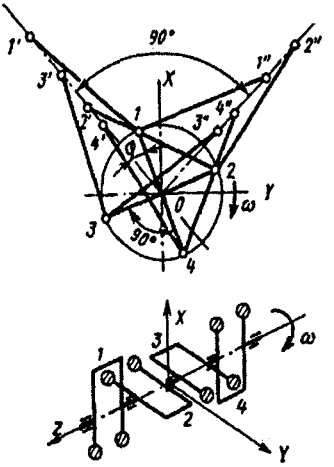


2.14-rasm. γ = 90° bo'lgan ikki silindrli V simon dvigatelni muvozanatlash.

Bundan $\sum_{k=1}^{2} P_{jII}^{(k)}$ o'zining kattaligini $\cos 2\varphi$ ga proporsional ravishda o'zgartirib, doimo dvigatelga ko'ndalang bo'lib ta'sir qilishi kelib chiqadi.

Shunday qilib, muvozanatlanganlikni tahlil qilishda 2V90 dvigatel ikkita kuch qo'yilgan krivoship bilan sxemalashtirilishi mumkin (2.14-rasm): $R = K_r^* + C$, krivoshipning aylanish markazidan unga yo'nalishi bo'yicha qo'yilgan va $\sum_{k=1}^{2} P_{jII}^{(k)}$, dvigatelga ko'ndalang bo'lib ta'sir qiluvchi.

Bunga asoslanib, $\gamma = 90°$ li sakkiz silindrli V simon dvigatelning muvozanatlanganligini tahlil qilamiz.



2.15-rasm. $\gamma = 90°$ **bo'lgan V simon sakkiz silindrli dvigatelning muvozanatlanganligini tahlili uchun.**

Bunday dvigatelni fazoviy tirsakli valining krivoshiplari o'zaro perpendikular bo'lgan ikkita tekislikda joylashgan (2.15-rasm). Tirsakli val nosimmetrik. Bunday dvigatel tirsakli valning o'qi bo'yicha ketma-ket joylashtirilgan to'rtta ikki silindrli V simon dvigatel sifatidako'riladi. Krivoship radiusi bo'yichayo'nalgan har bir juft silindr-larning teng ta'sir etuvchi kuchlari R posangilar bilan muvozanatlanadi, ya'ni posangili bunday dvigatellarda birinchi tartibli inersiya kuchlar va markazdan qochma kuchlarning yig'indisi nolga teng.

Juft silindrlarning ikkinchi tartibli inersiya kuchi:

- birinchi

$$P_{jII}^{(1ch)} - P_{jII}^{(1o')} = \sqrt{2}\lambda C \cos 2\varphi;$$

- ikkinchi

$$P_{jII}^{(2ch)} - P_{jII}^{(2o')} = \sqrt{2}\lambda C \cos 2(\varphi + 90°) = -\sqrt{2}\lambda C \cos 2\varphi;$$

- uchinchi

$$P_{jII}^{(3ch)} - P_{jII}^{(3o')} = \sqrt{2}\lambda C \cos 2(\varphi + 270°) = -\sqrt{2}\lambda C \cos 2\varphi;$$

- to'rtinchi

$$P_{jII}^{(4ch)} - P_{jII}^{(4o')} = \sqrt{2}\lambda C \cos 2(\varphi + 180°) = \sqrt{2}\lambda C \cos 2\varphi.$$

Bu kuchlarning barchasi bir tekislikda yotadi, absolut miqdori bo'yicha ular teng, lekin belgilari bilan juftlashib farqlanadi, oqibatda ularning yig'indisi nolga teng.

2.1-jadvalda avtotraktor dvigatellarining ko'proq tarqalgan konstruksiyalari muvozanatlanganligi to'g'risida ma'lumot keltirilgan.

2.1-jadval

Silindrlar soni	Krivoshiplarning joylashish sxemasi	Krivoshiplar orasidagi burchak / qatorlar	Chaqnashlar orasidagi burchak, grad	Silindrlarning ishlash tartibi	Muvozanatlanmagan omillarning eng katta qiymatlari					
					ΣK_r	ΣP_{jI}	ΣP_{jII}	ΣM_r	ΣM_{jI}	ΣM_{jII}
Bir qatorli to'rt taktli dvigatellar										
2		360° / -	360	1-2	$2K_r$	$2C$	$2\lambda C$	0	0	0
2		180° / -	180 540	1-2	0	0	$2\lambda C$	$K_r a$	Ca	0
3		120° / -	240	1-2-3	0	0	0	$\sqrt{3}K_r a$	$\sqrt{3}Ca$	$\sqrt{3}\lambda Ca$
4		180° / -	180	1-3-4-2 1-2-4-3	0	0	$4\lambda C$	0	0	0
5		72° / -	144	1-2-4-5-3	0	0	0	0,499 $\times K_r a$	0,499 $\times Ca$	4,98 $C\lambda a$
6		120° / -	120	1-5-3-6-2-4 1-2-4-6-5-3	0	0	0	0	0	0
V simon to'rt taktli dvigatellar										
4		270° / 90°	180	1l-2l-2p- -1p	0	0	$2\sqrt{2}\lambda C$	$2\sqrt{2}$ x x $K_r a$	$2\sqrt{2}$ Sa	0
6		120° / 90°	90... ...150	1l-1p-2l- -2p-3l-3p	0	0	0	$\sqrt{3}$ $K_r a$	$\sqrt{3}$ Sa	2,449 Saλ
		120° / 120°	120	1l-1p-2l- -2p-3l-3p	0	0	0	$\sqrt{3}$ $K_r a$	2,6Sa	2,6 λSa
8		90° / 90°	90	1l-3l-3p- -2l-2p- -1p-4l-4p	0	0	0	$\sqrt{10}$ x x $K_r a$	$\sqrt{10}$ Sa	0
12		120° / 60°	60	1l-6p-5l- -2p-3l-4p- 6l-1p-2l- -5p-3l-4p	0	0	0	0	0	0

Birinchi va ikkinchi juft silindlarda paydo bo'ladigan ikkinchi tartibli inersiya kuchlarining momentlari miqdori bo'yicha teng, ikkinchi va uchinchi momentlariga belgisi bo'yicha qarama-qarshi. Natijada ularning yig'indi momenti nolga teng.

Ko'rib chiqilayotgan dvigatel birinchi tartibli inersiya kuchidan hosil bo'lgan bo'ylama momentni va markazdan qochma kuchlarning 2.10-rasmda ko'rsatilgan sxemaga o'xshash tirsakli valning oxiriga o'rnatilgan posangilar yordamida muvozanatlashni boshqa tizimiga ham yo'l qo'yadi. Agar bir tirsakdagi muvozanatlanmagan kuchning qiymati R ga teng bo'lsa, u holda valning oxirgi tomonlariga o'rnatilgan har bir posangining kattaligi quyidagicha bo'ladi:

$$m_{pos} = \sqrt{10}\left(m_r^* + m_j\right)\frac{r}{\rho_{pos}}\cdot\frac{a}{b},$$

bunda: a – silindrlar o'qlari yotgan qo'shni tekisliklar orasidagi masofa; b – posangilar orasidagi masofa.

Posangilar joylashadigan tekislik birinchi tirsak tekisligi bilan $\alpha = arctg\,1/3 = 18°26'$ ga teng bo'lgan burchakni tashkil etadi.

2.8. EHM da IYOD larning MUVOZANATLANGANLIGINI TAHLIL QILISHNING USLUBIY ASOSLARI

2.8.1. EHM da DVIGATELNING MUVOZANATLANGANLIGINI HISOBLASHNING O'ZIGA XOSLIGI

Istalgan joylashishdagi avtotraktor dvigatellarining muvozanatlanganligini EHM da tahlil qilish uchun yaroqli yagona algoritmni ishlab chiqishda umumiyroq holni aniqlash va muvozanatlanganlikni algoritmik bayon qilish kerak.

Buning uchun avtotraktor IYOD lariga tatbiqan og'ish burchagi γ, bir xil nomli silindrlarning shatun bo'yinlarining siljish burchagi δ_1, birinchi va keyingi krivoshiplarning tekisligi orasidagi burchagi θ_i (krivoshiplar soni N ta) va bir qatordagi silindrlar soni N ta bo'lgan V simon dvigatel ishlatilishi mumkin (2.16-rasm).

Bu holda bir xil nomli silindrlarning shatun bo'yinlari burchagini siljishi mavjud bo'lmagan dvigatellarda $\delta = 0$ va dvigateldagi silindrlar soni $2N$ bo'ldi, qatorli dvigatellarda esa - $\delta = 0$, $\gamma = 0$ va silindrlar soni N bo'lganda xususiy holga mos keladi.

2.8.2. MARKAZDAN QOCHMA INERSIYA KUCHLAR VA ULARNING MOMENTLARI BO'YICHA DVIGATELNING MUVOZANATLANMAGANLIGINI HISOBLASH

i-bo'yinga ta'sir qiluvchi markazdan qochma inersiya kuch K_r ning miqdori va yo'nalishini aniqlaymiz:

$$K_{ri} = \sqrt{(K_{ri})_x^2 + (K_{ri})_y^2}; \qquad \Delta_i = arctg\frac{(K_{ri})_x}{(K_{ri})_y},$$

bunda: $(K_{ri})_x$ va $(K_{ri})_y$ – K_{ri} kuchning x va y o'qlaridagi proyeksiyasi;

$\Delta_i = K_{ri}$ vektor va birinchi krivoship tekisligi orasidagi burchak;

$$(K_{ri})_x = K_{ri}\sin(\theta_i + 0{,}5\delta_i);$$

$$(K_{ri})_y = K_{ri}\cos(\theta_i + 0{,}5\delta_i).$$

Shuni e'tiborga olganda

$$|\Sigma K_r| = \left\{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{N}\cos\left(\theta_i + \frac{\delta_i}{2}\right)\right]^2 + \left[\sum_{i=1}^{N}\sin\left(\theta_i + \frac{\delta_i}{2}\right)\right]^2}\right\}K_{ri};$$

$$\Delta\Sigma = arctg\left[\frac{\sum_{i=1}^{N}\sin\left(\theta_i + \frac{\delta_i}{2}\right)}{\sum_{i=1}^{N}\cos\left(\theta_i + \frac{\delta_i}{2}\right)}\right].$$

Bu tenglamalar birinchi krivoship tekisligiga nisbatan mos holda modul va ΣK_r vektor burchagini yoritadi.

Muvozanatlanmaganlikni miqdorli tahlil qilish uchun m_{ri} ning sonli qiymatlari umumiy holda barcha krivoshiplar uchun turlicha beriladi.

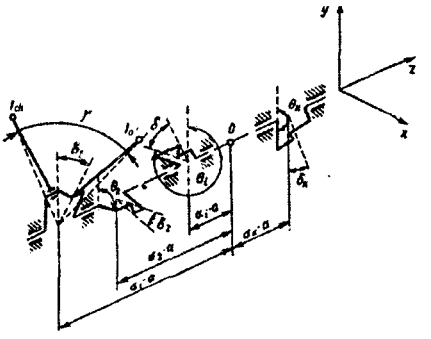
Shunga o'xshash markazdan qochma inersiya kuchlaridan yig'indi momentni aniqlash uchun tenglama quyidagicha bo'ladi:

$$|\Sigma M_r| = \left\{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{N}\cos\left(\theta_i + \frac{\delta_i}{2}\right)\alpha_i\right]^2 + \left[\sum_{i=1}^{N}\sin\left(\theta_i + \frac{\delta_i}{2}\right)\alpha_i\right]^2}\right\}K_r a;$$

$$\Delta\Sigma M = arctg\frac{\sum_{i=1}^{N}\left[\sin\left(\theta_i + \frac{\delta_i}{2}\right)\alpha_i\right]}{\sum_{i=1}^{N}\left[\cos\left(\theta_i + \frac{\delta_i}{2}\right)\alpha_i\right]},$$

bunda: a – o'ng va chap qatorlardagi bir xil nomli silindrlar o'qi orasidagi masofa.

2.8.3. QAYTMA-ILGARILANMA HARAKATLANUVCHI MASSALARNING INERSIYA KUCHLARI VA ULARNING MOMENTLARI BO'YICHA DVIGATELNING MUVOZANATLANMAGANLIGINI HISOBLASH



2.16-rasm. **Yagona algoritm bo'yicha dvigatelning muvozanatlanmaganligini hisoblash sxemasi.**

Ilgarilanma-qaytma harakatlanuvchi massalarning inersiya kuchi P_{jK_i}, i tali silindrning chap tomonidagi $P_{jK_i}^{(ch)}$ va o'ng tomonidagi $P_{jK_i}^{(o')}$ uchun quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_{jK_i}^{(ch)} = c\lambda^{k-1}\cos K(\varphi+\theta_i),$$

$$P_{jK_i}^{(o')} = B\left\{c\lambda^{k-1}\cos K\left[\varphi+(\theta_i+\delta_i-\gamma)\right]\right\},$$

bunda: $\gamma=0$ bo'lganda $B=0$ bo'ladi va $\gamma\neq 0$ bo'lganda $B=1$ bo'ladi; birinchi tartibli kuch uchun $K=1$; ikkinchi tartibli kuch uchun $K=2$.

Bu kuchlarning o'qlarga bo'lgan proyeksiyasi:

$$\left(P_{jK_i}^{(ch)}\right)_x = c\lambda^{k-1}\cos K(\varphi+\theta_i)\sin(0{,}5\gamma);$$

$$\left(P_{jK_i}^{(o')}\right)_x = c\lambda^{k-1}\cos K\left[\varphi+(\theta_i+\delta_i-\gamma)\right]\sin(0{,}5\gamma);$$

$$\left(P_{jK_i}^{(ch)}\right)_y = c\lambda^{k-1}\cos K(\varphi+\theta_i)\cos(0{,}5\gamma);$$

$$\left(P_{jK_i}^{(o')}\right)_y = c\lambda^{k-1}\cos K\left[\varphi+(\theta_i+\delta_i-\gamma)\right]\cos(0{,}5\gamma).$$

Keltirilgan bog'liqlikdagi argument $\cos(\varphi+\beta)=\cos\alpha\cos\beta-\sin\alpha\sin\beta$ ko'rinishida o'zgartirilganidan so'ng quyidagini olamiz:

$$\left|\sum P_{jK}\right| = c\lambda^{k-1}\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{N}\cos K\theta_i + B\sum_{i=1}^{N}\cos K(\theta_i+\delta_i+\gamma)\right]^2+\left[\sum_{i=1}^{N}\sin K\theta_i + B\sum_{i=1}^{N}\sin K(\theta_i+\delta_i-\gamma)\right]^2}\times$$

$$\times\cos(K\varphi+\beta_K),$$

bunda: $\beta_K = \dfrac{\sum_{i=1}^{N}\sin K\theta_i + B\sum_{i=1}^{N}\sin K(\theta_i+\delta_i-\gamma)}{\sum_{i=1}^{N}\cos K\theta_i + B\sum_{i=1}^{N}\cos K(\theta_i+\delta_i-\gamma)}$ – birinchi chap silindrning o'qiga nisbatan $\sum P_{jK}$ vektor burchagi.

Qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi massalarning inersiya kuchlarini mos holda yig'indi momentlari

$$\left|\sum M_{jk}\right| = c\lambda^{k-1}a\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{N}\alpha_i \cos K\theta_i + B\sum_{i=1}^{N}\alpha_i \cos K\left(\theta_i+\delta_i-\gamma\right)\right]^2 +}$$

$$+\left[\sum_{i=1}^{N}\alpha_i \sin K\theta_i + B\sum_{i=1}^{N}\alpha_i \sin K\left(\theta_i+\delta_i+\gamma\right)\right]^2 \cos\left(K\varphi+\beta_{km}\right),$$

$$\beta_{km} = arctg\frac{\sum_{i=1}^{N}\alpha_i \sin K\theta_i + B\sum_{i=1}^{N}\alpha_i \sin K\left(\theta_i+\delta_i-\gamma\right)}{\sum_{i=1}^{N}\alpha_i \cos K\theta_i + B\sum_{i=1}^{N}\alpha_i \cos K\left(\theta_i+\delta_i-\gamma\right)}.$$

2.9. DVIGATEL ISHLASHINING RAVONLIGI

2.9.1. BUROVCHI MOMENTNING NORAVONLIGI

Dvigatel-transmissiya-osma tizimida juft ta'sir qiluvchi burovchi va to'nkaruvchi momentlarning tengligi hamda krivoship burilish burchagi bo'yicha noravonligi transmissiyaning tarkibiy qismlarida o'zgaruvchan burash (buralma tebranish) ni, shuningdek, dvigatel tayanchlarida o'zgaruvchan reaksiyani ham keltirib chiqaradi. Yig'indi burovchi moment o'zgarishining ravonligi to'g'risida mulohaza yuritish uchun burovchi momentning noravonlik koeffitsiyentidan foydalaniladi:

$$\mu = \frac{M_{bmax} - M_{bmin}}{M_{b\,o'r}},$$

bunda: M_{bmax}, M_{bmin}, $M_{b\,o'r}$ – mos holda dvigatelning indikator burovchi momentining eng katta, eng kichik va o'rtacha qiymatlari.

μ ning kattaligi dvigatel ish rejimiga bog'liq holda o'zgaradi; inersiya kuchi ustuvor bo'ladigan ishning tezlik rejimining o'zgarishi keltirilgan ifoda suratiga, yuklama rejimi esa maxrajiga $(M_{o'r} \approx P_i)$ ta'sir qiladi.

Shularni e'tiborga olib, turli dvigatellar bir xil rejimda ishlashida, odatda, nominal quvvat rejimida μ bo'yicha taqqoslanadi.

2.17-rasmda D va S lar bir xil bo'lib, silindrlar soni i turlicha bo'lganda dvigatellar yig'indi burovchi momentlarining egri chiziqlari keltirilgan.

Bu egri chiziqlarning tahlili silindrlar sonining ortishi bilan μ ning keskin kamayishini ko'rsatadi.

Bundan tashqari burovchi momentning noravonligiga ayrim silindrlar ishchi yo'llari orasidagi oraliqlarning tenglik omillari ta'sir qiladi.

Teng sharoitda silindrlari bir qator joylashgan olti silindrli dvigatel

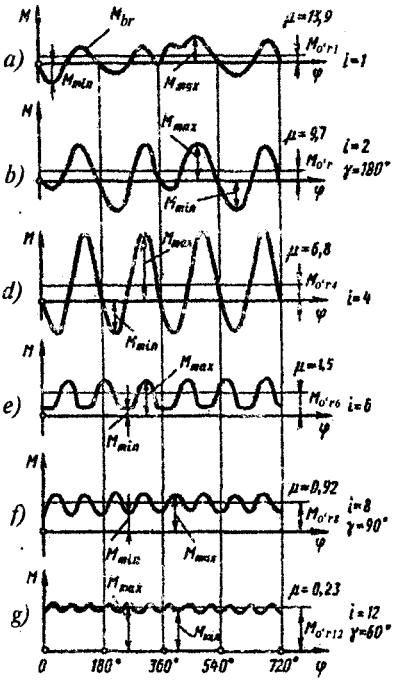
ishchi yo'lining almashish burchagi $\theta = 120°$ ga ega bo'lganda $\mu = 1{,}5$, va $\gamma = 90°$ bo'lganda (ishchi yo'llar almashishi noravon ($\theta = 90°$ va $\theta = 150°$) $i=6V$ li dvigatel uchun esa $\mu = 2{,}08$ bo'ladi.

Shunday qilib, burovchi moment M_b noravonligining kamayishiga yordam beruvchi asosiy konstruktiv omillar quyidagilar hisoblanadi:

- silindrlar sonining ortishi;
- dvigatelning alohida silindrlari ishchi yo'llari orasidagi oraliq tengligini saqlash.

2.9.2. DVIGATEL ISHLASHINING RAVONLIGI

Dvigatelning muvozanatlanganligiga burovchi moment noravonligining ta'siri yana bir salbiy oqibatga ega – tirsakli val aylanishida burchak tezligining noravonligi.



2.17-rasm. **Silindrlar soni turlicha bo'lgan (a–g) to'rt taktli karbyuratorli dvigatellarning yig'indi burovchi momentlari.**

Bu hodisaning kelib chiqishini, 2.18-rasmda keltirilgan, to'rt silindrli to'rt taktli dvigatelning validagi momentlar balansini tahlili asosida tushuntirish mumkin.

Tahlilni soddalashtirish uchun ko'rilayotgan masalani quyidagi shartlar bilan cheklaymiz:

- qarshilik momenti M_q vaqt (krivoship burilish burchagi) bo'yicha o'zgarmaydi;
- dvigatelning ishlash rejimi – barqaror va indikator moment qarshilik momentiga teng $M_i = M_{b\,o'r} = M_q$; bunda o'rtacha burchak chastotasi $\omega_{o'r}$ o'zgarmas bo'lib qoladi;
- tirsakli valga keltirilgan dvigatelning harakatlanuvchi tarkibiy qismlari inersiya momenti J_0 vaqt bo'yicha o'zgarmaydi.

Bu holatda vaqtning istalgan paytida tirsakli valda $M_b - M_q = M_{in}$ bo'ladi, bunda: $M_{in} = J_0\varepsilon = J_0\dfrac{d\omega}{dt}$ – inersiya momenti; ε – valning burchak tezlanishi.

Yuqorida keltirilgan tenglamadan $M_b = M_q$ (2.18-rasmda 1–8 nuqtalar), $d\omega/dt = 0$ bo'lgan paytda bu burchak tezlik ekstremumiga mos keladi.

Sifatli tahlilning ko'rsatishiga qaraganda, agar bundan oldin $M_b > M_q$ va $\frac{d\omega}{dt} > 0$ bo'lgan bo'lsa, u holda ushbu nuqtalarda (2, 4, 6, 8) ω_{max} bo'ladi; mos holda agar $M_b < M_q$ va $\frac{d\omega}{dt} < 0$ bo'lsa, ω_{min} bo'ladi (1, 3, 5, 7 nuqtalar).

Keltirilgan mulohaza dvigatel burovchi momentining krivoship burilish burchagi bo'yicha o'zgaruvchanligi burchak tezligining noravonligini paydo bo'lishi muqarrarligi to'g'risida guvohlik beradi.

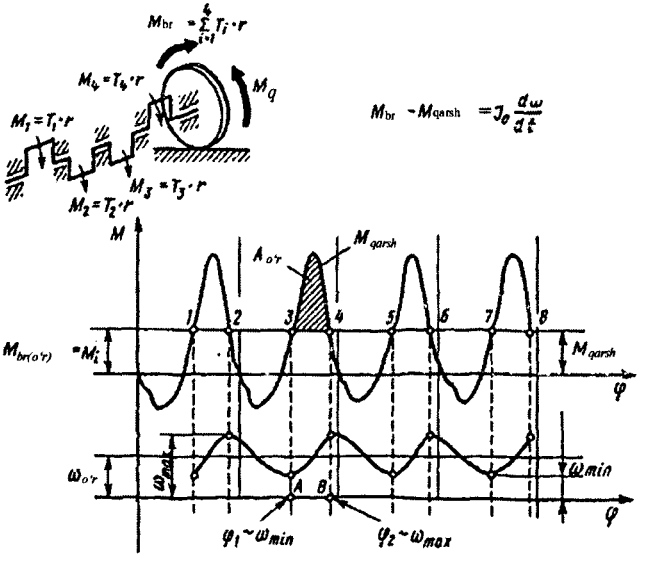
Burchak tezligining noravonligi dvigatel ishlashining noravonlik koeffitsiyenti bilan baholanadi:

$$\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_{o'r}}.$$

Dvigatel ishlashini xarakterlaydigan δ ning asosiy konstruktiv va rejim omillariga bog'liqligini topish uchun ω_{min} dan ω_{max} (2.18-rasmda A va B nuqtalar) gacha oraliqdagi momentlar balansi tenglamasini integrallaymiz. O'zgaruvchilarni bo'lgandan keyin inobatga olib

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{d\varphi}\frac{d\varphi}{dt} = \omega\frac{d\omega}{d\varphi} = \frac{1}{2}\frac{d\omega^2}{d\varphi},$$

$$\int_{\varphi 1}^{\varphi 2}\left(M_b - M_q\right)d\varphi = \frac{J_0}{2}\int_{\omega_{min}}^{\omega_{max}} d\omega^2.$$



2.18-rasm. **Barqaror ishlash rejimida to'rt silindrli dvigatel validagi momentlarning balansi.**

Ortiqcha ishni $\int_{\varphi 1}^{\varphi 2}(M_b - M_k)d\varphi = A_{ort}$ bilan belgilab (2.18-rasmda shtrixlangan yuza) va o'ng qismini integrallab, quyidagini olamiz:

$$A_{ort} = \frac{J_0}{2}\left(\omega_{max}^2 - \omega_{min}^2\right) = J_0 \frac{\omega_{max} + \omega_{min}}{2}\left(\omega_{max} - \omega_{min}\right)\frac{\omega_{o'r}}{\omega_{o'r}}.$$

$\omega_{o'r} = (\omega_{max} + \omega_{min})/2$ bo'lishini e'tiborga olib, o'zgartirishlardan so'ng $A_{ort} = J_0\omega_{o'r}^2\delta$ ga ega bo'lamiz, bunda $\delta = A_{ort}/\left(J_0\omega_{o'r}^2\right)$.

Bu bog'liqlik dvigatelni ishlab chiqishda konstruktiv imkoniyatlar yordamida δ kattalikni boshqarish mumkinligini ko'rsatadi. Bu birinchi galda A_{ort} kattalik g'oyatda haddan tashqari bog'liq bo'lgan silindrlar sonini (2.18-rasm), dvigatelning qabul qilingan joylashtirish sxemasida esa J_0 ni o'zgartirish bilan d ning talab qilinganini qabul qilish uchun dvigatel konstruksiyasida maxovik ko'zda tutilgan, undan foydalanishda $J_0 \approx J_m$, ya'ni bu holatda inersiya momentining deyarli hammasi maxovikda mujassamlangan.

J_m ni tanlash bilan δ ning kerakligicha kam bo'lgan kattaligini olish mumkin. Biroq avtomobil dvigatellari uchun har doim ham J_m katta bo'lgan maxovikdan foydalanish maqsadga muvofiq emas, chunki rejimdan rejimga o'tish paytida dvigatel inersionligi ko'p bo'lishiga olib keladi, ayniqsa tezlikni oshirishda. Bunda avtomobilning dinamikaviy tavsiflari jiddiy darajada yomonlashishi mumkin.

Tezlatish birinchi darajali ahamiyatga ega bo'lmagan, shataklagichlar va traktorlar uchun J_m kattalik, asosan, ilashma ulanganda hamda shatak tuzilmasi ish holatida bo'lganda joyidan bir tekisda qo'zg'alish shartidan kelib chiqqan holda aniqlanadi.

Bunga bog'liq holda transport vositalarining zamonaviy konstruksiyalarida avtomobil dvigatellari uchun δ =0,02...0,025, traktorlar va shataklagichlarning dvigatellari uchun δ =0,005...0,01 oralig'ida bo'ladi.

Avtomobil dvigateliga maxovikni tanlashda maxovikning o'lchamsiz inersiya momentidan foydalaniladi:

$$\psi = \frac{J_m\omega_n^2}{M_{bn}},$$

bu avtomobillarning ko'pchilik dvigatellarida tor oraliqda o'zgaradi, shuning uchun $\psi \approx const$ deb hisoblash mumkin.

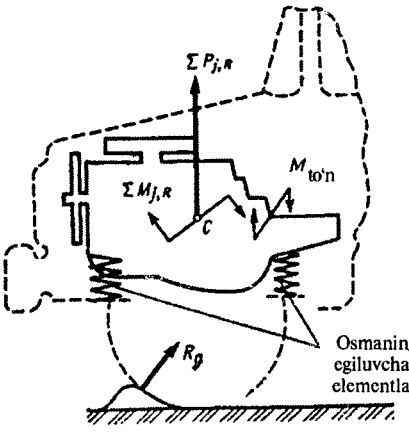
Bunda: M_{bn} – nominal quvvat rejimidagi samarali moment; $\omega_n = \frac{\pi n_n}{30}$; n_n – nominal quvvat rejimidagi tirsakli valning aylanishlar chastotasi.

Bunga asosan

$$J_m \approx \psi\frac{M_{bn}}{\omega_n^2}, \text{ bunda, } \psi = 200...350.$$

2.10. OSMADA DVIGATEL TEBRANISHLARINING AMORTIZATSIYASI VA TAHLIL ASOSLARI

2.10.1. OSMADA PORSHENLI IYODning TEBRANISHLARINI KELTIRIB CHIQARADIGAN KUCH OMILLARI



2.19-rasm. **Osmada dvigatelning tebranishini keltirib chiqaradigan kuch omillari.**

2.19-rasmdan kelib chiqqan holda, dvigatel osmalarining tarkibiy qismlarida uning tebranishi, dvigatelning muvozanatlanmaganligini keltirib chiqaradigan barcha kuch omillari bilan uyg'otilishi mumkin (2.2-§ ga qarang), shuningdek, transport vositasi qarshilik (R_D) ustidan yurib o'tganda dvigatelning kinematik uyg'onishiga ham o'rin bo'lishi mumkin.

Ikkinchi holatda hamma transport birligining tebranishini tahlil qilish kerak, bu ushbu fanning chegarasidan chiqib ketadi. Shuning uchun biz muvozanatlanmagan inersiya kuchlari ΣP_I, ΣP_{II}, ΣK_r va ularning momentlari ΣM_{jI}, ΣM_{jII}, ΣM_r dan, shuningdek, to'nkaruvchi moment $M_{to'n}$ dan ham bo'ladigan tebranishlarni tahlili bilan cheklanib qolamiz.

Dvigateldan ekipajga va aksincha tebranma energiya uzatilishini kamaytirish uchun IYOD kuzovidan osma deb nomlanadigan elastik tarkibiy qismlar tizimiga o'rnatilishi bilan (ramadan) tebranishdan izolatsiya qilinadi.

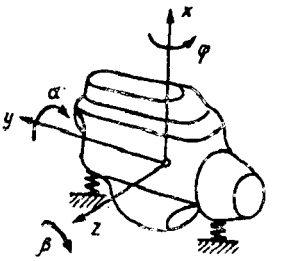
2.10.2. OSMADA TEBRANADIGAN DVIGATELNI HISOBLASH SXEMASI

Osmada PIYOD tebranishining hisobli tadqiqoti uning dinamikaviy soddalashtirilgan ekvivalent modeliga almashtirishni talab qiladi. Uni hisoblash uchun obyektning faqat undagi muhim xususiyati saqlab qolinadi. Osmada dvigatelning tebranishi tahlili quyidagi asosiy yo'l qo'yishlarda o'tkazilishi qabul qilingan:

- dvigatel (kuch agregati) absolut bikr jism (deformatsiyalanmaydigan) deb qaraladi;
- rama (kuzov) absolut bikr va cheksiz ko'p massaga ega deb qaraladi;

• koordinatalar tizimining boshlanishi kuch agregati inersiyasi markazi bilan mos keladi; koordinatalar o'qi markaziy hisoblanadi.

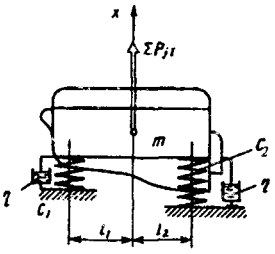
Bu holatda (2.20-rasm) yuqorida sanab o'tilgan omillar ta'sirida dvigatel mumkin bo'lgan oltita tebranma harakatni sodir qiladi: o'qlar yo'nalishida uchta ilgarilanma harakat $x=x(t)$; $y=y(t)$; $z=z(t)$ va bu o'qlarga nisbatan uchta burchakli $\varphi=\varphi(t)$; $\alpha=\alpha(t)$; $\beta=\beta(t)$.



2.20-rasm. **Amortizatsiyalangan dvigatel sxemasi.**

Dvigatelning osmada tebranish xarakterini aniqlaydigan hodisani sifatli tahlil qilish uchun eng oddiy holatni ko'rib chiqamiz – birinchi tartibli inersiya kuchi $\Sigma P_{jI}=C\cos\varphi=C\cos(\omega t)$ ta'siri ostida koordinatalarning biri x ga nisbatan IYOD ning tebranma harakati (2.21-rasm).

Soddaroq bo'lishi uchun $l_1=l_2$ va chapdagi elastik element bikrligi C_{P_1} o'ngdagi elastik elementning bikrligi C_{P_2} ga teng deb taxmin qilib, erkinlik darajasi bir bo'lgan mos keluvchi teb-ranma tizimning hisoblash sxemasini olamiz. Tizimga sxemada η bilan belgilangan va tizimda tebranishlar energiyasining noelastik yo'qolishini imitatsiya qiladigan elementlarni kiritamiz va D'Alamber tamoyilini e'tiborga olib, kuchlar balansiga asoslanib, quyidagi tenglamani olamiz:



2.21-rasm. P_{jI} **kuch ta'siridan osmada dvigatel tebranishini hisoblash sxemasi.**

$$P_{in}+P_{ny}+P_{eg}=\Sigma P_{jI},\quad \text{yoki}\quad m\ddot{x}+r\dot{x}+\Sigma Cx=C\cos(\varphi),$$

bunda: $P_{in}=m\ddot{x}$ – inersiya kuchi; $P_{ny}=2\eta\dot{x}(r=2\eta m)$ – noelastik yo'qolish kuchi; $\eta=\dfrac{W_{yo'q}}{W_{kelt}}$ – noelastik yo'qolish koeffitsiyenti ($W_{yo'q}$ – tizimda sochiladigan energiya); $P_{eg}=\Sigma C_p x$ – deformatsiyalangan elastik elementlarning elastiklik kuchi; $x,\dot{x},\ddot{x}$ – ΣP_{jI} – kuch ta'siri ostida massalar markazining mos holda siljishi, tezligi va tezlanishi.

Bu tenglamaning yechimi ma'lum:

$$x=\frac{C}{\sqrt{\left(\omega^2-\omega_0^2\right)^2+4\eta^2\omega^2}}\cos(\varphi-\psi),$$

bunda: ω – g'alayonlanish kuchi chastotasi; $\omega_0=\sqrt{\dfrac{\Sigma C}{m}}$ – tizimning xususiy tebranish chastotasi; $\varphi_0=arctg\dfrac{2\eta\omega}{\omega_0^2-\omega^2}$ – kosinusoidal funksiyalarning ko'chishi va majburlovchi kuch P_{jI} orasidagi fazali siljish.

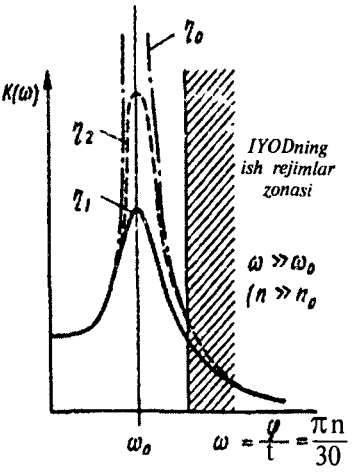
Energetik baholash uchun muhim bo'lmagan tebranish fazasidan chetlab yechishni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$x = K(\omega)\Sigma P_{jl},$$

bunda:

$$K(\omega) = \left(\sqrt{\left(\omega^2 - \omega_0^2\right)^2 + 4\eta^2\omega^2}\right)^{-1} -$$

haqiqatda proporsionallikning chastotali – bog'liqlik koeffitsiyenti hisoblangan tebranma tizimning uzatma funksiyasi. Uning kattaligi faqat tebranma tizimning elastik massaviy tavsifi bilan aniqlanadi, ya'ni m, ΣC_P, η kabi.



2.22-rasm. **Erkinlik darajasi birga teng bo'lgan tizimning uzatish funksiyasining chastotali bog'liqligi** $(\eta_1 > \eta_2)$.

2.22-rasmda keltirilgan $K(\omega) = f(\omega)$ grafikli bog'liqlik ishlashni tezlik rejimiga $(\omega = \pi n/30)$ bog'liq holda $K(\omega)$ kattalikning o'zgarishini, $\omega = \omega_0$ bo'lganda eng katta qiymatga erishishini, ya'ni g'alayonlovchi kuch chastotasi va tebranma tizimning xususiy chastotasi tenglashganligini ko'rsatadi.

$K(\omega)$ ning eng kattasi tizimdagi noelastik yo'qotish koeffitsiyenti η ga bog'liq. Noelastik yo'qotish darajasi qancha kam bo'lsa $K(\omega)_{\max}$ shuncha katta bo'ladi, yo'qotish mavjud bo'lmaganda $(\eta = 0)$ $K(\omega)_{max} \to \infty$ bo'ladi.

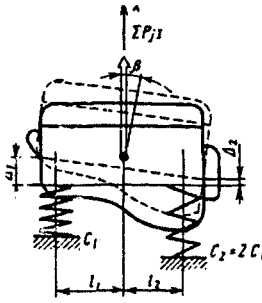
Bundan g'alayonlovchi kuch chastotasi (bu holatda ΣP_{jl}) tizimning xususiy tebranishlar chastotasiga mos kelishida (rezonans) tebranishlarning amplitudasi ko'p bo'lishi va ekipajga tebranma energiyaning eng ko'p uzatilishi kelib chiqadi:

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = n_0 = \frac{30\omega_0}{\pi}$$

Bu holatda yoki dvigatelning $n = n_0$ (odatda, $n \gg n_0$) bilan ishlashiga yo'l qo'ymaslik yoki yuqorida ko'rsatilgan shart bajarilishigacha xususiy tebranishlar chastotasini n_0 ni pasaytirish bilan rezonansni bartaraf qilish mumkin.

2.10.3. BOG'LANGAN TEBRANISHLAR TO'G'RISIDA TUSHUNCHA

Avvalgi paragrafda bajarilgan x o'qiga nisbatan osmada IYOD tebranishi tahlili $l_1 = l_2$ va $C_{n_1} = C_{n_2}$ tengligi to'g'risidagi yo'l qo'yishlarga asoslangan. Bu sababga ko'ra, ko'rib chiqilayotgan holatda ΣP_{jl} kuch dvigatelning faqat x o'qi yo'nalishida siljishini keltirib chiqardi, umuman



2.23-rasm. **Ulangan tebranishlarning paydo bo'lish sxemasi.**

aytganda, bu faqat xususiy hol hisoblanadi. Yuqorida keltirilgan shartlarning istalgan biri bajarilmasa, x o'qi bo'yicha qat'iy yo'nalgan kuch dvigatel-ning ikki (yoki ko'proq) koordinatga nisbatan siljishini keltirib chiqaradi. Buni tushuntirish uchun faqat orqadagi elastik element bikrligini $C_{p_2} = C_{p_1}$ ga teng deb o'zgartirib, IYOD tebranishini ko'rib chiqamiz (2.23-rasm).

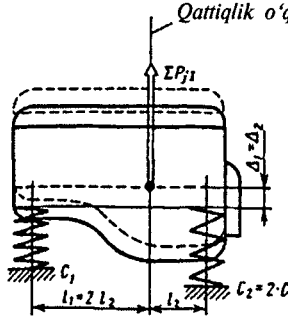
Oddiy tahlil quyidagini ko'rsatadi: bu holatda tayanchlarning elastik deformatsiya hisobiga ularda reaksiya hosil bo'lishini e'tiborga olib, $R_1 = C_{p_1}\Delta_1 = R_1 = C_{p_2}\Delta_2$ bo'lishini yozamiz, bundan $\Delta_2 = \Delta_1 \frac{C_{p_1}}{C_{p_2}} = 0{,}5\Delta_1$, bunda: Δ_1, Δ_2 – mos holda 1- va 2- tayanchlar deformatsiyasi.

Bu shuni bildiradiki, ushbu holatda koordinatalarning biriga nisbatan ta'sir qiluvchi kuch omili, bu holatda x o'qiga nisbatan, dvigatelni ikki (yoki ko'p) koordinatalarga nisbatan siljishini keltirib chiqaradi, x o'qi va z o'qiga nisbatan β burchakka burilishi.

Bunday tebranish bog'langan yoki ikki ulangan (umumiy holda ko'p ulangan) deb nomlanadi.

Bog'langan tebranishning dvigatel tebranishiga ta'siri nuqtayi nazaridan unga xohish bo'lmasligi ma'lum.

Biroq uyg'otuvchi kuchning ta'sir chizig'i holatini o'zgartirish bilan tebranishlar bog'langanligini kamaytirish yoki aksincha ko'paytirish mumkin. Osmaning tarkibiy qismlariga nisbatan ta'sir qilish chizig'i oralig'ida shunday mo'ljal qilish kerakki, u bo'ylab yo'nalgan kuch dvigatelning koordinata o'qlarining faqat bittasiga nisbatan siljishini keltirib chiqaradigan bo'lsin (2.24-rasmdagi x o'qqa nisbatan). Bu *yo'nalish osmaning bikrlik o'qi* deb ataladi. Bunday o'qlar uchta bo'ladi (x,y,z); ular bikrlik markazi deb ataladigan nuqtada kesishishi mumkin.



2.24-rasm. **Osmaning bikrlik o'qi x ni joylashtirish sxemasi.**

Tebranishning ulanganligi – istalmaydigan hodisa, lekin osmani loyihalashda va elastik elementlar sonini joylashishi hamda tavsifini tanlashda dvigatel massalarining markazini (tebranishning qo'zg'atuvchi inersion kuch omillari qo'yilgan) osmaning bikrlik markazi bilan (u mavjud bo'lganda) mos kelishiga yoki bikrlik o'qlarini ko'p soniga mos kelishiga intilish kerak.

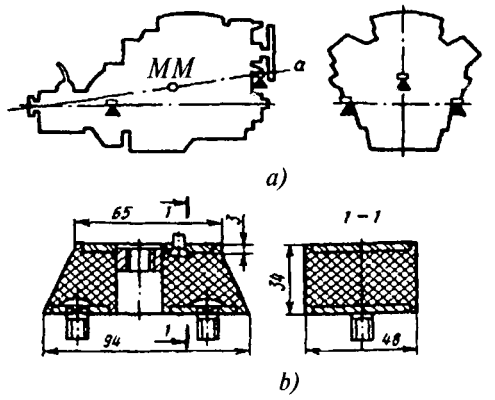
Shunday qilib, osmani loyihalashda u quyidagi eng kam talablarni qondirsin:

- osmaning tarkibiy qismlarini joylashtirish sxemasini tanlashda va ularning elastik tavsiflarini aniqlashda massalar markazining bikrlik o'qlarini mumkin bo'lgan ko'proq soniga mos tushishini

ta'minlaydigan sxemalarni yaxshiroq deb bilish;

- osmaning tarkibiy qismlarining elastik tavsiflari rezonans doirasidagi (2.22-rasmda dvigatelning ish rejimlari doirasi) ishchi rejimlarining oralig'ida ishlashida pastroq chastotali kuch omillari ta'siridan dvigatel tebranishini ta'minlashi kerak;
- elastik elementlarning ashyolari va konstruksiyasi noelastik yo'qolishlar darajasining ko'p bo'lishini ta'minlashi kerak (η ning eng ko'p qiymati).

2.25-rasmda avtomobil dvigatelining elastik elementlarini joylashtirish sxemasi va konstruksiyasi variantlari keltirilgan.



2.25-rasm. **Avtomobil dvigateli osmasining sxemasi (*a*) va elastik elementi konstruksiyasining varianti (*b*).**

III BOB

KONSTRUKSIYALASH ASOSLARI VA DVIGATEL DETALLARINI MUSTAHKAMLIKKA HISOBLASH ZAMINLARI

3.1. LOYIHALASHTIRILAYOTGAN DVIGATELGA QO'YILADIGAN EKSPLUATATSIYA TALABLARI

Dvigatelni loyihalash murakkab jarayon hisoblanadi, uni bajarishda dvigatelning vazifasi va undan foydalanish sharoiti bilan aniqlanadigan talablarni qondirish bilan bog'liq bo'lgan muammolar majmuasini mutaxassislar tomonidan hal qilishga to'g'ri keladi. Foydalanishda yuqori ish unumdorligi va tejamkorligiga ega bo'ladigan va ekologik toza transport, yo'l-qurilish hamda qishloq xo'jalik texnikalarini barpo qilish uchun avtotraktor dvigatellari quyidagilarni ta'minlashi lozim:

- turli foydalanish sharoitlarida yuqori ishonchlilikni;
- kam massa va tashqi o'lchamlarida zarur bo'lgan quvvatni, barcha ish rejimlarida eng yaxshi tejamkorlikni;
- dvigatelning me'yoriy shovqini va titrashini, shuningdek, ishlatilgan gazlarining tutab chiqishi va zaharliligini;
- ishga tushirish sifatining yaxshiligini;
- boshqarishning osonligi va ishni avtomatlashtirishni;
- texnik xizmat va ta'mirlashning soddaligini;
- foydalanishda eng kam mehnat va ashyolar sarfini.

Foydalanish talablarining asosiylaridan biri dvigatelning ishonchliligini ta'minlash hisoblanadi, chunki ishonchlilik bilan foydalanishda dvigatel ish qobiliyatini saqlashdagi sarflar va dvigatelning ishlamay qolishi keltirib chiqargan turib qolishidagi sarflar to'g'ridan to'g'ri bog'liq.

Ishonchlilik deb, berilgan sharoitda undan foydalanishda, texnik xizmat ko'rsatish va ta'mirlashda talab qilingan vaqt oralig'ida hamda (yoki) talab qilingan ishlash muddatida o'zining foydalanish ko'rsatkichlarini o'rnatilgan oraliqda saqlab, berilgan vazifani bajaradigan obyektning xususiyatiga aytiladi. Dvigatel uchun vazifa bo'lib transport, yo'l-qurilish yoki qishloq xo'jaligi mashinalarini energiya bilan ta'minlash hisoblanadi.

3.2. DVIGATEL TURINI VA UNING ASOSIY KONSTRUKTIV PARAMETRLARINI TANLASH

Dvigatelni loyihalashda ko'p hollarda uning vazifasi, ishlash sharoiti, talab qilingan quvvati va unga mos keladigan tirsakli valning aylanishlar chastotasi berilgan deb hisoblanadi.

Loyihalash bosqichida dvigatel turini tanlashda dvigatelsozlik va avtomobil transportining rivojlanish an'anasi, ijtimoiy-iqtisodiy aspekti bi-

rinchi galda xomashyo va energetik resurslarni tejash iqtisodiy masalalari, atrof-muhit muhofazasi, foydalanishdagi xavfsizligi, ishonchliligi va boshqalar e'tiborga olinadi.

Bu omillarni e'tiborga olgan holda o'rtacha va ko'p yuk ko'taruvchi yuk avtomobillari, avtobuslar, traktorlar va yo'l-qurish mashinalari uchun energetik qurilma bo'lib dizellar hisoblanadi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar, asosan, kam yuk ko'taradigan (2,5 tonnagacha) yengil va yuk tashuvchi avtomobillarda o'rnatiladi.

Dvigatelni loyihalashning keyingi bosqichida dvigatel konstruksiyasi va foydalanish sifatini ko'p jihatdan belgilaydigan uning sovitish tizimini tanlash hisoblanadi.

Dvigatel turi va sovitish tizimi aniqlanganidan so'ng, uning vazifasi hamda ishlash sharoitini e'tiborga olib, o'xshash dvigatellarning statik ma'lumotlari asosida loyihalanadigan dvigatelning litrli quvvati N_l va o'rtacha samarali bosimi p_e ning taxminiy qiymatlari o'rnatiladi va ular bilan uning kuchaytirilganlik darajasi baholanadi. N_l va p_e larning qiymatlari siklning issiqlik hisobi yordamida oydinlashtiriladi.

Keyinchalik asosiy konstruktiv parametrlarini tanlashga kirishiladi: silindrlar soni va joylashishi, porshen yo'lining silindr diametriga bo'lgan nisbati (S/D), krivoship radiusining shatun uzunligiga bo'lgan nisbati $(\lambda = r/l_{sh})$.

Dvigatel silindrlari soni va joylashishi transport vositasida o'rnatiladigan o'rni, kapot osti bo'shlig'ining gabarit o'lchamlari, dvigatelning quvvati, silindr o'lchamlari, aylanma hamda ilgarilanma harakatlanuvchi massalarning inersiya kuchlarini va ular momentlarining muvozanatlanganligi, burovchi momentning ravonlik darajasi bilan aniqlanadi.

Silindrlar soni ortishi bilan dvigatelning muvozanatlanganligi va uning ravon ishlashi yaxshilanadi, ishga tushirish osonlashadi, maxovik massasi kamayadi. Shu bilan birga silindrlar sonining ortishi dvigatel konstruksiyasi murakkablashishi va foydalanish paytida xizmat qilish xarajatlarini ko'tarilishiga olib keladi.

Dvigatelning ishchi hajmi berilganda silindrlar soni silindr diametrini e'tiborga olgan holda tanlanadi, uning o'lchamiga ishchi jarayonni tashkil qilish, porshen guruhi detallarining mexanikaviy yuklanishi va issiqlik holati ta'sir qiladi.

Sanoatda ishlab chiqariladigan avtotraktor dizellarining asosiy qismi 100–140 mm oralig'ida bo'lgan silindr diametriga ega. Silindr diametri kichik bo'lganda aralashma hosil bo'lish va yonish sharoiti havo zaryadining harakat jadalligini kamayishi tufayli yomonlashadi, kattalashganda esa silindr kallagiga hamda porshenga tushadigan mexanikaviy va issiqlik yuklamalari ortadi.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda silindr diametrining eng katta o'lchami detonatsiya bo'lish hodisasi bilan cheklanadi, uning sodir bo'lish ehtimolligi o't oldirish shamlaridan juda uzoqda joylashgan yonilg'i-havo aralashmasi hajmigacha bo'lgan masofa ortishida ko'payadi. Bunga bog'liq holda uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarning silindrlarini diametri 105 mm dan ko'p bo'lmaydi.

Yuqorida belgilangan diametrli silindrlar o'rtacha va katta yukli avtomobillar hamda avtobuslarda afzal hisoblanib, olti va sakkiz silindrli dvigatellarda o'rnatiladi. Yengil avtomobillar uchun ko'p hollarda to'rt silindrli dvigatellar ishlatiladi.

Silindrlarning joylashishi bo'yicha avtomobil va traktor dvigatellari bir qatorli hamda V simonlarga bo'linadi.

To'rt va olti silindrli dvigatellar orasida silindrlari bir qator joylashgan modellari afzal hisoblanadi. Shunga o'xshash sxemada bajarilgan dvigatellar kabinasi dvigateldan keyin va uning ustida bo'lgan avtomobillarda yaxshi joylashadi. Ular yetarlicha oddiy blok-karter konstruksiyasiga ega va foydalanish jarayonida xizmat qilish uchun qulay.

Silindrlari V simon joylashgan olti silindrli dvigatellar kamdan-kam ishlatiladi. Bunday dvigatellarning ishlatilishiga birdan-bir to'siq bo'lib, ishchi yo'llarning almashinuvini noravonligi hisoblanadi, bu burovchi moment noravonligini oshiradi, tirsakli val elementlarida kuchlanish sikli kengligining kattaligini keltirib chiqaradi, osmalarning elastik elementlarida yuklamani ko'paytiradi, dvigatel tebranishi ortishiga olib keladi, aylanma momenti ko'p bo'lgan maxovik o'rnatilishini talab qiladi.

Ko'rib chiqilayotgan dvigatellar qo'shni silindrlarining har bir juft shatunlari uchun tirsakli val shatun bo'yinlarini, siljitilgani bundan mustasno, hisoblanadi. Bunda alohida silindrlarning ish jarayonlari ravon (bir tekis) almashishiga erishiladi, biroq tirsakli val konstruksiyasi murakkablashadi.

Silindrlar soni sakkizta va undan ko'p bo'lgan dvigatellarda V simon joylashgan silindrlar ishlatiladi.

Bir xil quvvatda V simon dvigatellarning bir qatorli dvigatellarga nisbatan afzalligi uning solishtirma massasi, gabarit o'lchamlarining (uzunligi va balandligi) kamayishi, natijada blok-karter va tirsakli val bikrligining ortishi hisoblanadi.

V simon dvigatellarni konstruksiyalashda silindrlarining og'ish burchagi γ ni tanlashga alohida e'tibor beriladi, chunki dvigatelning muvozanatlanganligi, ravon ishlashi va gabarit o'lchamlari uning miqdoriga bog'liq. $\gamma = 60,\ 90,\ 120,\ 180^0$ bo'lgan og'ish burchaklari ko'proq tarqalgan.

Dvigatelning birdan-bir prinsipial parametrlari bo'lib, uning KSHM dagi konstruktiv nisbatlari, ya'ni qisqa yo'llilik koeffitsiyenti $K = (S/D)$ hamda krivoship radiusining shatun uzunligiga bo'lgan nisbati $\lambda = r/l_ш$ hisoblanadi.

3.3. HISOBLASH YUKLAMALARINI VA REJIMLARINI ANIQLASH

Dvigatelni ishlash paytida mexanik yuklamalarni gazlarning bosim kuchi, ilgarilanma va aylanma harakatlanuvchi massalarning inersiya kuchlari, ishqalanish kuchlari, shuningdek, ta'sir qiluvchi kuchlarning o'zgaruvchanligi va davriyligi natijasida rivojlanadigan elastik tebranishlar keltirib chiqaradi. Agar detallarning hajmi bo'yicha harorat gradiyenti bo'lsa, u holda dvigatelning tarkibiy qismlarida termik zo'riqishlar ham bo'ladi.

Dvigatel detallariga ta'sir qiluvchi asosiy yuklamalarning kattaligi va o'zgarishining o'ziga xos xususiyati dvigatelning ishlash rejimiga bog'liq bo'ladi. Bunda detallarning mustahkamlik hisobi hisoblanayotgan detallar og'ir sharoitda bo'lgan holatdagi barqaror ish rejimlarida amalga oshiriladi. Dvigatel bu rejimlarda ishlashining davomiyligi ham e'tiborga olinadi, bu olingan kuchlanish, mustahkamlik zaxirasi va ishonchlilik ko'rsatkichlari orasidagi bog'liqlikni o'rnatish uchun muhim hisoblanadi.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun quyidagi hisoblash rejimlari o'ziga xos xususiyatli hisoblanadi:

- silindrda gazlar bosimi eng yuqori qiymatga erishadigan $n=(0,4...0,6)n_n$ aylanishlar chastotasidagi eng katta burovchi moment M_b inersiya kuchlari hisobga olinmasa ham bo'ladi;
- gazlarning bosim kuchi va inersiya kuchlarning birgalikdagi ta'sirini hisobga olish zarurati tug'ilgan holatda n_n aylanishlar chastotasidagi nominal quvvati N_{en};
- inersiya kuchlari eng katta qiymatga erishadigan, gazlar bosimi kam bo'lgan salt yurishning eng katta aylanishlar chastotasi.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun aylanishlar chastotasining cheklagichi bo'lmaganda — $n_{syu\ max}=(1,4...1,6)n_n$ deb qabul qilinadi, aylanishlar chastotasini cheklagichi bo'lganda — $n_{syu\ max}=(1,1...1,15)n_n$.

Tezyurar dizellar uchun hisoblash rejimlari:

- yonishdan hosil bo'lgan bosim katta qiymatga erishadigan aylanishlar chastotasi n_n bo'lgandagi nominal quvvati N_{en};
- rostlagich ishlashi bilan aniqlanadigan inersiya kuchlar eng katta qiymatga ega bo'ladigan salt yurishning eng yuqori aylanishlar chastotasi $n_{syu\ max}=(1,05...1,07)n_n$.

3.4. O'ZGARUVCHAN YUKLAMALARNI E'TIBORGA OLGAN HOLDA DVIGATEL DETALLARINI MUSTAHKAMLIKKA HISOBLASH

Statik yuklamalar ta'siri ostida bo'lgan detallarni hisoblashda kuchlanishi mo'rt detallarda mustahkamlik chegarasi σ_B va τ_B dan yoki plastik ashyolarda oquvchanlik chegarasi σ_T va τ_T dan ortmasligi kerak (mos holda normal va urinma kuchlanishlar).

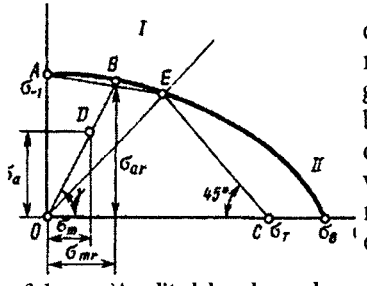
O'zgaruvchan va belgisi o'zgaruvchan yuklama sharoitlarda ishlaydigan dvigatelning ko'p detallari materialning mustahkamlik chegarasidan kam bo'lgan kuchlanishlarda buziladi. Vaqt bo'yicha davriy o'zgaradigan o'zgaruvchan yuklamalar ta'siri ostida mustahkamlikka hisoblashda chidamlilik chegarasi σ_r deb ataladigan kuchlanish asos qilib olinadi. Oquvchanlik chegarasi detall ashyosi yuklanishi berilgan davriylik sonida (odatda, 10^7) chidab turishi mumkin bo'lgan eng yuqori kuchlanish kabi aniqlanadi.

Avtotraktor detallari uchun chidamlilik chegarasi faqat ashyo va uning tarkibiga bog'liq bo'lib qolmasdan, yuklanish siklining tavsifi, kuchlanish holatining ko'rinishi, detallarning shakli hamda o'lchami, o'tish va biri-

kish shakli, sathlarning holati, mexanik va termik ishlov berish kabi omillarga ham bog'liq.

Yuklanish sikllari simmetrik, nosimmetrik, nolinchi va murakkablarga ajratiladi. Bu sikllarning har biri eng katta σ_{max}, eng kichik σ_{min} kuchlanishlar, o'rtacha kuchlanish $\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$, siklning amplitudasi $\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2$ va siklning nosimmetriya koeffitsiyenti $r = \sigma_{min} / \sigma_{max}$ bilan o'ziga xos xususiyatlanadi. Siklning eng katta kuchlanishi σ_{max} ni σ_m (siklning doimiy tashkil etuvchisi) va σ_a (siklning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi) larning yig'indisi kabi ko'rinishda tasavvur qilish mumkin.

Toliqishdan buzilishga simmetrik sikl xavfliroq hisoblanadi, uning amplitudasi $\sigma_a = \sigma_{max} = -\sigma_{min}$, $\sigma_m = 0$, $r = -1$ bo'ladi. Siklning amplitudasi σ_a ning kamayishi bilan toliqish chegarasiga mos keluvchi eng katta kuchlanish ortadi.



3.1-rasm. **Amplitudalar chegaralarining diagrammasi.**

Nosimmetrik koeffitsiyent r ning toliqish chegarasiga ta'sirini silindrsimon namunalarning tajriba-sinovlari natijasida olingan amplitudalar chegaralari diagrammalari bo'yicha o'rnatish mumkin (3.1-rasm). Bu diagramma $\sigma_a - \sigma_m$ koordinatalarda quriladi va siklning amplitudalar chegaralarini nosimmetriya koeffitsiyenti qiymatiga bog'liqligini o'ziga xos xususiyatlaydi.

Amplitudalar chegaralarining diagrammasida A nuqta simmetrik siklda σ_{-1} toliqish chegarasiga, C nuqta esa – oquvchanlik chegarasi σ_T ga mos keladi. Egri chiziq ostidagi yuzada joylashgan σ_a va σ_m koordinatali istalgan D nuqta nosimmetriya koeffitsiyenti r bilan ma'lum siklga mos keladi, chunki koordinata boshlanishi O dan D nuqta orqali o'tkazilgan nurning og'ish burchagining tangensi quyidagiga teng:

$$tg\gamma = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} = \frac{1-r}{1+r}.$$

Bu nuqtaning koordinatalarini yig'indisi siklning eng katta ishchi kuchlanishiga teng:

$$\sigma_{max} = \sigma_a + \sigma_m.$$

Nosimmetriya koeffitsiyenti berilgan sikl uchun amplituda chegarasi OD nuri davomi diagrammaning egri chizig'i bilan kesishgan nuqtasi (B nuqta)da yotadi, chidamlilik chegarasi σ_r esa – bu nuqta koordinatalari yig'indisi kabi aniqlanadi:

$$\sigma_r = \sigma_{ar} + \sigma_{mr}.$$

Normal va urinma kuchlanishlar uchun belgisi o'zgaradigan yuklamani e'tiborga olib, mustahkamlikka hisoblashda mustahkamlik zaxirasi aniqlanadi, mustahkamlik zaxirasi deb, detal uchun ruxsat etilgan chegara kuchlanish $\sigma_r(\tau_r)$ ni ta'sir qiluvchi eng kattasi $\sigma_{max}(\tau_{max})$ ga bo'lgan nisbati tushuniladi:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_r}{\sigma_{max}}, \quad n_\tau = \frac{\tau_r}{\tau_{max}}.$$

Bunda chidamlilik chegarasi $\sigma_r(\tau_r)$ kuchlanish siklining ma'lum nosimmetriyasida oquvchanlik chegarasi $\sigma_T(\tau_T)$ ga teng bo'lishi mumkin.

Detallarda $\frac{\sigma_a}{\sigma_m} > \frac{\beta_\sigma - \alpha_\sigma}{1-\beta_\sigma}$ yoki $\frac{\tau_a}{\tau_m} > \frac{\beta_\tau - \alpha_\tau}{1-\beta_\tau}$ (diagrammada I doira), shartni qoniqtiradigan normal va urinma kuchlanishlarni hisoblash chidamlilik chegarasi bo'yicha amalga oshiriladi, bunda: $\beta_\sigma = \sigma_{-1}/\sigma_T$, $\beta_\tau = \tau_{-1}/\tau_T$ $\alpha_\sigma(\alpha_\tau)$ esa – nosimmetrik siklni teng xavfli simmetrik siklga keltirish koeffitsiyenti.

Bu shart bajarilmasa, hisoblash oquvchanlik chegarasi bo'yicha amalga oshiriladi $(\sigma_r = \sigma_T)$.

Kuchlanishlar chegarasi diagrammasidan kuchlanishning konsentratsiyasini, sathning o'lchamlari va ishlov berish usulini hisobga olmasdan, mustahkamlik zaxirasi uchun quyidagi ko'rinishdagi ifodani olish mumkin:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a + \alpha_\sigma \sigma_m}, \quad n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\tau_a + \alpha_\tau \tau_m}$$

yoki oquvchanlik chegarasi bo'yicha hisoblashda

$$n_{T\sigma} = \frac{\sigma_T}{\sigma_a + \sigma_m}, \quad n_{T\tau} = \frac{\tau_T}{\tau_a + \tau_m}$$

Detallar shaklini, absolut o'lchamlari va sathiga ishlov berish sifati keskin o'zgarishlarining mavjudligi keltirib chiqaradigan kuchlanishlar to'plamining mustahkamlik zaxirasiga ta'siri mos holda kuchlanishlar to'plamining samarali koeffitsiyentlari K_σ va K_τ, masshtab omillari ε'_σ hamda ε'_τ, texnologik omillari ε''_σ va ε''_τ bilan hisobga olinadi.

Kuchlanishlar to'plami, detallarning o'lchamlari va sathiga ishlov berish sifatining ta'siri hisobga olinib, chidamlilik chegarasi bo'yicha hisoblashda *normal kuchlanish* uchun mustahkamlik zaxirasining ifodasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\left[\frac{K_\sigma}{\varepsilon'_\sigma \varepsilon''_\sigma}\right]\sigma_a + \alpha_\sigma \sigma_m}, \quad \textit{urinma kuchlanish} \text{ uchun } n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\left[\frac{K_\tau}{\varepsilon'_\tau \varepsilon''_\tau}\right]\tau_a + \alpha_\tau \tau_m}.$$

Murakkab kuchlanish holatida (urinma va normal kuchlanishlarning birgalikdagi ta'siri) mustahkamlik zaxirasi quyidagi ifoda yordamida hisoblanadi:

$$n_\Sigma = \frac{n_\sigma n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}}.$$

IV BOB

SILINDR GURUHI VA KARTERLAR

Dvigatelning korpusi bazali element bo'lib hisoblanadi, unga asosiy mexanizmlar va tizimlar o'rnatiladi hamda uning yordami bilan IYOD ning transport vositasiga o'rnatish ta'minlanadi. Korpus quyidagi tarkibiy qismlar majmuasi bilan shakllanadi: *silindrlar* yoki *silindrlar bloki* va odatda, ikki ajraladigan ustki va pastki qismlardan tashkil topgan *karter*. Nam karterli dvigatellarda pastki qismi *moy poddoni* (osttog'orasi) deb ataladi.

Zamonaviy avtotraktor IYOD larining ko'pchilik konstruksiyasida silindr ichi bo'shlig'i silindrlar kallagi bilan zichlanadi, u shpilka yoki boltlar ko'rinishidagi ankerli bog'liqlik yordamida silindrlar blokida qaydlanadi, ular orasidagi (chok) tutash qistirma bilan zichlanadi.

Ko'rsatilgan tarkibiy qismlar ko'p shaklli konstruktiv sxemalarni hosil qilib, avtotraktor dvigatellarida turlicha konstruksiyaga va joylashishga ega bo'lishi mumkin. Silindrlarning joylashishiga bog'liq holda avtomobillar IYOD lari quyidagicha farqlanadi: *chiziqli (bir qatorli) va ikki qatorli (V simon)*. Korpus konstruksiyasiga sovitish tizimining turi ko'p ta'sir qiladi. Suyuqlik bilan sovitiladigan dvigatellar uchun silindrlarni silindrlar bloki deb ataladigan yagona uzelga birlashtirish o'ziga xos xususiyatli, bu IYOD korpusi bikrligini sezilarli darajada oshirishga imkon beradi.

Havo bilan sovitiladigan dvigatellarda silindrlar, odatda, yakka holda tayyorlanadi, bu tashqi qovurg'ali blokni quyish texnologik jihatdan murakkabligi bilan bog'liq. Ayrim hollarda blok silindrlari *gilza* deb ataladigan avtonom (mustaqil) tarkibiy qism ko'rinishida bajariladi. Suyuqlik bilan sovitiladigan avtotraktor dvigatellarida bir qatorda oltitadan kam silindrlar bo'lganda silindrlar bloki va karterning yuqori qismi yaxlit quyma ko'rinishida bajariladi. Bu *blok-karter* deb ataladigan dvigatel korpusi konstruksiyasi bikrligining ko'p bo'lishini ta'minlaydigan afzal korpus deb hisoblanadi.

Dvigatel korpusining tarkibiy qismlari foydalanish jarayonida ularning konstruksiyasiga hal qiluvchi tarzda ta'sir qiladigan va IYOD korpusining ishlash sharoitini aniqlaydigan qator omillar ta'sirida bo'ladi:

- gazlar va inersiya kuchlari ta'sirida katta va davriy o'zgaradigan kuch yuklamasi;
- silindr ichi bo'shlig'ida yuqori tezlik bilan harakatlanuvchi va korrozion-faol elementlarning tashkil etuvchi ishchi jismning yuqori harorati va bosimi;
- silindr porshen guruhining harakatlanuvchi tutash tarkibiy qismlarining siljishining katta nisbiy tezligi va ayrim hollarda podshipnik tugunlarining detallari, ya'ni ular orasida katta solishtirma bosim bo'lganida;
- elementlarning yuqori darajada isishida ularning hajmi bo'yicha haroratning katta gradiyenti;
- korpusning tashqi elementlariga korrozion va erozion ta'siri.

Dvigatel korpusini va uning alohida elementlarining funksional vazifasi hamda ishlash sharoiti *uning konstruksiyasiga* qator *fundamental talablarni*, ya'ni quyidagi kabilarni shakllantiradi:

- dvigatelni avtomobilga o'rnatish va mahkamlash uchun korpus hamda elementlari konstruksiyasining eng katta bikrligi, bu tutash harakatlanuvchi elementlarning qisman (yeyilishini ko'payishi) yoki to'liq (qadalish yoki buzilish) ish qobiliyatini yo'qotish bilan ularning o'zaro joylashishini o'zgartirishga olib kelishi mumkin bo'lgan deformatsiyani cheklash uchun kerak;
- mumkin bo'lgan eng kam massa.

Ko'p jihatdan o'zaro istisno qiladigan bu ikki talabni qondirish dvigatel korpusini konstruksiyalashning muhim omili hisoblanadi, buning mohiyati korpusning material sig'imini ta'minlashga imkon beradigan konstruktiv yechimlarni izlashga olib keladi.

Zamonaviy avtotraktor dvigatellarining korpusini massasi dvigatel massasining 25...35% tashkil etadi.

Qatorli dvigatellarga qiyosan V simon dvigatellarning korpuslari nisbatan kam massaga ega.

4.1. SUYUQLIK BILAN SOVITILADIGAN DVIGATELLARNING KORPUS ELEMENTLARI

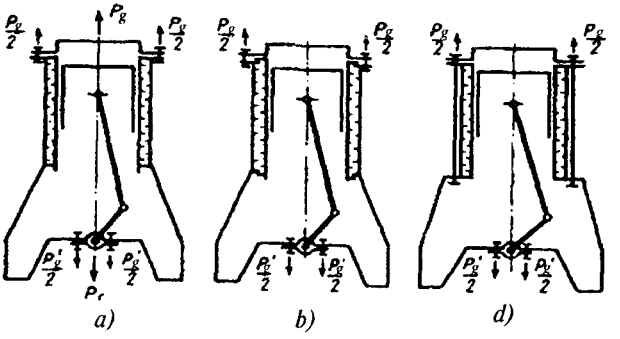
Bloklar va karterlar. Silindrlar bloki quyidagi elementlar: yon va ko'ndalang devorlardan, silindrlararo tutashtirgichlardan va «suv g'ilofi» bilan birlashgan yuqori gorizontal plitadan, shuningdek, silindrlardan ham tashkil topgan. Agar suv g'ilofi bilan birgalikda quyilgan silindrga yupqa devorli gilza o'rnatilsa, u holda *gilzalar quruq* deb ataladi. Agar silindrlar chiqarib olinadigan va sovitish suyuqligi bilan yuvib o'tilsa, u holda ular *nam gilzalar* deb ataladi.

Karter o'zak tayanch to'siqlaridan, yon devorlardan, yuqori gorizontal tayanch plitadan va moy osti tog'orasi qaydlanadigan pastki tekislikdan tashkil topgan. Moy osti tog'orasi moylarni yig'ish va joylashtirish uchun idish hosil qiluvchi yupqa devorli konstruksiya ko'rinishida va, shuningdek, korpus bikrligining ortishiga yordam beradigan monolit yuk ko'taruvchi element ko'rinishida ham bajarilishi mumkin.

Suyuqlik bilan sovitiladigan dvigatellarning korpus elementlari gazlar kuchidan yuklamani qabul qilishi bo'yicha ular quyidagi kuch sxemalariga bo'linadi:

1. *Silindrlar bloki yuk ko'tarib turuvchi* (4.1-a rasm) bunda gazlar bosim kuchini kallak, kuch boltlari (shpilkalar), o'zak podshipniklar tayanchlar qabul qilib, silindrlar bloki devorlarini cho'zuvchi kuchlar bilan yuklantiradi. Nam gilzalar ishlatilganda ushbu kuch sxemasining har xil ko'rinishi «g'ilof yuk ko'tarib turuvchi» deb ataladi (4.1-b rasm). Bunda gazlar kuchlari faqat suv devorining g'ilofini yuklantiradi (cho'zadi).

2. *Shpilkalar yuk ko'tarib turuvchi* (4.1-d rasm). Gazlar kuchi kallakka ta'sir qilib, karterning yuqori qismiga mahkamlangan uzun shpilkalar



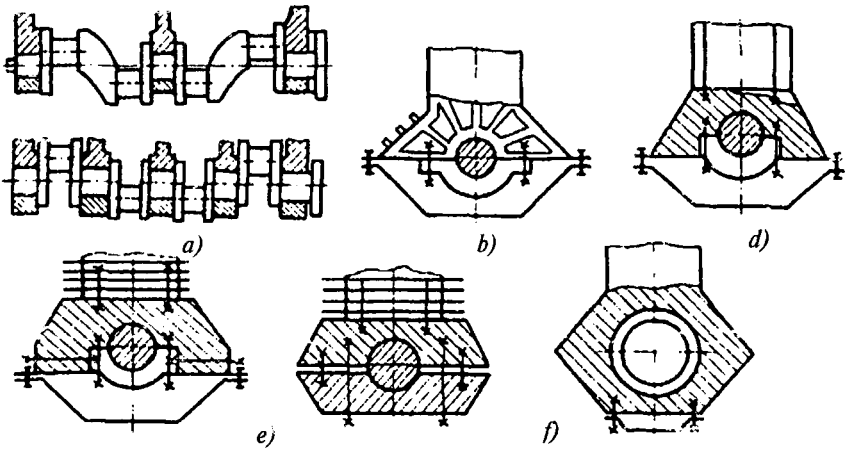
4.1-rasm. **Suyuqlik bilan sovitiladigan IYOD kuch sxemalari:**
a — silindrlar bloki yuk ko'taruvchi; *b* — g'ilof yuk ko'taruvchi;
d — kuch shpilka yuk ko'taruvchi.

bilan qabul qilinadi. Bunda pastki qismida aylana chiqiqi bo'lgan sovitish g'ilofi va nam gilzalar shpilkaning dastlabki tortilishi natijasida siqilgan holatda bo'ladi hamda gazlar kuchi ularni yuksizlantiradi. Bu sxema bo'yicha tayyorlangan blok-karterlar, ularni kam yuklanganligi sababli aluminiy qotishmasidan quyma shaklida tayyorlanishi mumkin.

Dvigatelsozlik amaliyoti IYOD korpuslarining metall sig'imini sezilarli darajada orttirmagan holda, ular bikrligini orttirishga imkon beradigan bir qator namunaviy konstruktiv tadbirlarni ishlab chiqqan, ularning asosiylari quyidagilar hisoblanadi:

- dvigatel korpusini silindrlar bloki va karterni (blok-karter) yagona (yaxlit) quyma ko'rinishida tayyorlash, bu IYOD korpusi bikrligining yuqoriligini ta'minlaydi, bir vaqtning o'zida konstruksiya elementlarining sonini kamaytirish mumkinligi tufayli uning massasini kamaytirishga yordam qiladi;
- to'liq tayanchli tirsakli vallardan foydalanish. Bunda to'siqlarning ko'p bo'lishi tufayli blok-karter konstruksiyasining bikrliligi yuqoriroq bo'ladi (4.2-a rasm);
- o'zak tayanchlar to'siqlarini qovurg'ali bajarish, shuningdek, qovurg'alar tizimi bilan yon devorlarni kuchaytirish, kuch boltlari (shpilkalari) va o'zak podshipniklar tayanchlari uchun bo'rtmalar orasiga qovurg'alar kiritish (4.2-b rasm);
- karterning pastki yarmini biriktirish tekisligi o'zak tayanchlarining ajralish tekisligidan pastroqda bo'ladigan qilib bajarish, buning natijasida korpus elementlariga uzatiladigan kuchlar va momentlar metallning katta hajmi bilan qabul qilinadi (4.2-d rasm);
- o'zak tayanchlar bo'yicha ajratkichlari mavjud bo'lmagan tunnel karterlardan foydalanish (4.2-e rasm);
- o'zak tayanchlari qopqog'ini o'zaro bog'lab turadigan rama ko'rinishidagi maxsus gorizontal plitalarni yoki qutisimon shaklli detallarni kiritish (4.2-f rasm).

Blok-karterlarni loyihalashda silindrlar kallagini mahkamlash uchun kuch boltlari (shpilkalari)ni silindrlar o'qidan eng kam bo'lgan bir xil



4.2-rasm. **Blok-karterning bikrliligini orttirish bo'yicha asosiy konstruktiv tadbirlar:** *a* – to'liqsiz tayanchli tirsakli valdan to'liq tayanchlilikka o'tish; *b* – oxirgi tayanch to'siqlarini va yon devorlarini qovurg'alash; *d* – karter ajratkichi tekisligini pastga tushirish; *e* – tunnelli karter; *f* – o'zak tayanch bilan birlashtirilgan ramali plita yoki moy tog'oraning qutisimon konstruksiyasi.

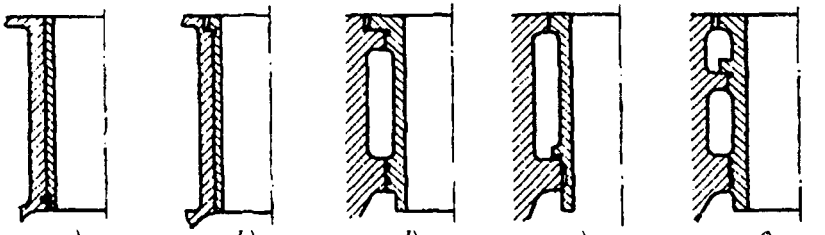
masofada joylashtirish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Ular suv g'ilofi devorining ko'ndalang to'siqlari va blokning yuqori tayanch tekisligi bilan birikkan joyida bajarilgan maxsus bo'rtmalarda joylashtiriladi. Kuch bolt (shpilka) larining o'q chizig'ini o'zak tayanchlar qopqog'ini mahkamlaydigan elementlari o'qi bilan mos kelishi maqsadga muvofiq. Bu blok-karter elementlarini yuklantiradigan qo'shimcha momentlardan holi bo'lishga imkon beradi.

Silindrlar. Gilzalanmagan silindrlar blokini tayyorlashda suv g'ilofining elementlari bilan yaxlit quymada alohida silindrlarni joylashtirilishi, blok-karterlarning yuqori mustahkamlik va bikrliligini ta'minlaydi. Bunday konstruksiya tashqi o'lchamlari, massasining kamayishiga va mexanik ishlov berish hajmining qisqarishiga yordam beradi.

Biroq bunda silindrning yuqori yeyilishga va uzoqqa chidamliligini ta'minlashi uchun geometrik parametrlari barqaror bo'lgan sifatli quymani olish texnologik jihatdan murakkab. Bundan tashqari silindrlardan biri ishdan chiqqanda (buzilganda) blokni butunligicha almashtirishga to'g'ri keladi.

Kirgizma nam va quruq gilzali silindrlar bloki ma'lum darajada ko'rsatilgan kamchiliklardan holi. Bunda blok-karterlarning quyish texnologiyasi soddalashadi, ular uchun narxi kam ashyolardan va faqat gilza uchun – sifatliroq ashyolardan foydalanish imkoni tug'iladi, isishning notekisligi kamayadi, demak gilzalar va bloklarning termik tob tashlashi, ta'mirlashga ketadigan sarflari ham kamayadi.

Quruq gilzalar ikki ko'rinishda tayyorlanadi: yuqori tayanch aylana chiqiqli va aylana chiqiqsiz (4.3-a,b rasm). Bunday silindrlar gilzalari devorlarining qalinligi 2...4 mm tashkil etadi. Ikkinchi turdagi gilzalar blokka o'rnatilgandan keyin va dvigatelning ishlash paytida ishlov berishning nihoyasiga yetkazish uchun ularni qaydlash maqsadida blokka ayrim taranglik



4.3-rasm. **Silindrlar gilzalarining asosiy turlari:**
a – quruq tayanch aylana chiqiqsiz; *b* – quruq tayanch yuqori aylana chiqiqli; *d* – nam yuqori tayanch flanesli; *e* – nam pastki tayanch flanesli; *f* – nam o'rta tayanch flanesli.

bilan bosim ostida o'rnatiladi.

Tayanch aylana chiqiqli gilzalar mexanik ishlov berish nihoyasiga yetganidan so'ng blokka bosim ostida (zichlab) yoki unga 0,01...0,04 mm tirqish bilan sirg'aluvchi qo'nim bilan o'rnatiladi. Quruq gilzalar yeyilishga chidamli bo'lgan silindrlarning yuqori doirasida kirgizmali (kalta gilzali) qilib tayyorlangan bo'lishi ham mumkin.

Quruq gilzalarni yig'ishda blok bilan yaxshi tegib turishini ta'minlashga alohida e'tibor beriladi. Aks holda gilzalardan sovitish suyuqligiga issiqlik berish sharoiti yomonlashadi, harorat taqsimlanishining radial epyurasi notekisroq bo'lib qoladi, bu uning silindrda istalmagan qo'shimcha deformatsiyalanishni keltirib chiqaradi.

Kirgizmali nam gilzalar tayanch flanesga ega bo'ladi, u gilzaning yuqori, o'rta yoki pastki qismida blokning halqasimon aylana chiqiqlarida joylashadi (4.3-d, e, f rasm). Flaneslarning bikrligi kuch boltlari (shpilkalari) ning tortganda gilzalarning ruxsat etilgan deformatsiyalanishini ta'minlash uchun yetarli darajada bo'lishi kerak.

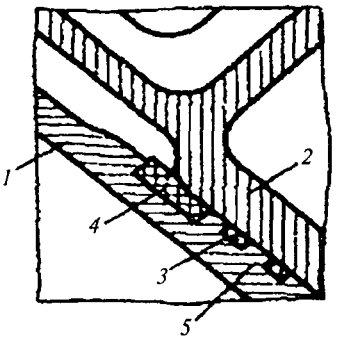
Tayanch flanesning pastroq joylashishi gilzaning ko'proq termik yuklangan yuqori qismi va porshen halqalarining sovishini yaxshilanishiga yordam beradi. Bu gilzaning yuqori belbog'ini termik deformatsiyalanishini kamaytiradi, bu silindr porshen guruhi elementlarining yeyilishini va ishqalanish sathlarining tirnalishini, shuningdek, moy sarfini kamaytirishga ham imkon beradi.

Ishlash paytida geometrik shaklini saqlab qolish uchun gilzaning yuqori va pastki qismlarida joylashgan ikki tayanch yo'naltiruvchi belbog'larida u qayd qilinadi.

Suv g'ilofini zichlash uchun gilzaning pastki yo'naltiruvchi belbog'idagi halqasimon ariqchasiga ftor-kauchukdan, ftorko'mir-vodorod kauchukdan, ftor-silikan kauchukdan yoki rezinadan zichlovchi halqa o'rnatiladi.

Gilzaning o'rnatiladigan yuqori belbog'ining joylashishi porshen yuqori chekka nuqta holatida bo'lganida uning zichlovchi doirasi sovitish g'ilofidagi suyuqlikning sathi bilan baravar turadigan bo'lishi kerak.

Porshenning perekladkasi (qayta joylashish) keltirib chiqaradigan nam gilzaning yuqori chastotali titrashi oqibatida sovitish suyuqligi yuvib o'tadigan sathida gilzaning qisman yoki to'liq buzilishiga olib keladigan kavitatsion



4.4-rasm. **Gilzani quyi belbog'da zichlash:**
1 – silindr gilzasi; *2* – blok-karter; *3* – tutash joyini zichlash uchun halqa; *4* – antikavitatsion halqa; *5* – markazlashtiruvchi belbog'.

jarayonlar sodir bo'ladi. Ularning jadalligini pasaytirish uchun qayta joylashuv energiyasini kamaytirishga yordam beradigan dezaksaj, tirqishni kamaytirish, porshen etagini bochkasimon qilish kabi konstruktiv tadbirlar majmuasi qo'llaniladi. Gilzaning bikrligini orttirish, yo'naltiruvchi belbog'ga uni zichroq o'rnatish, gilza va blokning quyi tutash joyiga demfirlovchi maxsus halqalar o'rnatish shunga o'xshash samaralar beradi (4.4-rasm).

Gilzaning tortsasi shpilkalarning tortish kuchi gaz chokining ishonchli bo'lishini ta'minlashi uchun blokning tayanch sathidan 0,05...0,15 mm bo'rtib chiqishi kerak.

Silindr devorlarining qalinligi dvigatelni yig'ishda va ishchi jarayonni amalga oshirishda uning deformatsiyalanishini ruxsat etilgan darajàsigacha cheklash uchun yetarlicha eng kam qilib belgilanadi (nam cho'yan gilzalar devori uchun – 5–8 mm). Yaxlit blokli konstruksiya uchun silindr devorining qalinligini tanlash, ta'mirlashda uning yo'nilishi mumkinligini e'tiborga olib amalga oshiriladi.

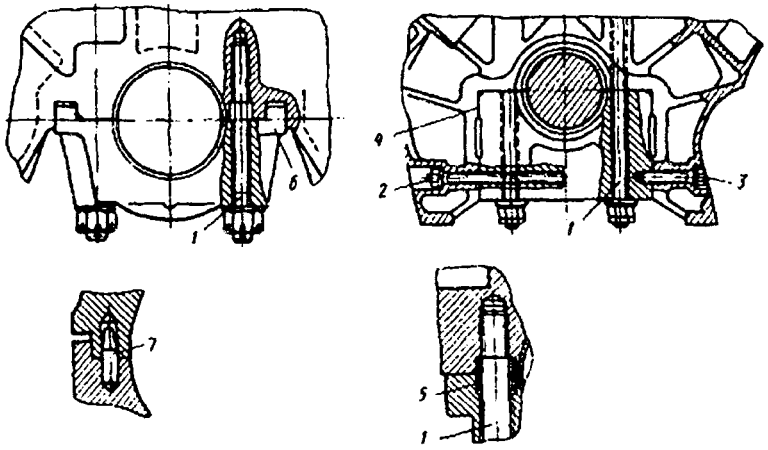
Silindrning uzunligi posangilar va shatunning erkin harakat qilishi mumkinligini ta'minlaydigan shartidan kelib chiqqan holda o'rnatiladi. Bunda porshen PCHN holatida bo'lganida, etagining pastki qirrasi silindrdan 0,2 *D* kattalikda chiqishiga yo'l qo'yiladi.

Silindrlar gilzasining uzoqqa chidamliligini orttirish gilza, porshen va porshen halqalarining ashyolarini, shuningdek, ularni tayyorlash texnologiyasi eng maqbulini tanlash bilan bog'liq bo'lgan konstruktiv tadbirlar majmuasi (gilza va halqa sathining mikrogeometriyasi va qattiqligi), dvigatelning ishlash rejimiga bog'liq bo'lmagan holda silindr issiqlik holati barqarorligi, yonilg'i moy hamda havoning tavsiflari va tozalanganlik sifati bilan erishiladi.

Silindrlar gilzasi o'rtacha plastinkali oriyentirlanmagan grafitli perlit strukturali kulrang va kam legirlangan cho'yanlardan silindr sathining yeyilishga chidamliligini orttirish uchun xrom, molibden, fosfor, mis, vanadiy qo'shish bilan tayyorlanadi.

Silindr ishchi yuzasiga dumalatib ishlov berish, xoninglash yo'li bilan sathiga ko'ndalang kesimli (yarim aylana, trapetsiya ko'rinishida, uchburchakli yoysimon) turli shaklli moy ushlab turadigan relyefni hosil qilish, moyni kuyishdagi sarfini kamaytirishga, silindr sathining yeyilishga chidamliligini orttirishga yordam beradi.

O'zak podshipniklar dvigatelning ko'proq yuklangan elementlaridan biri hisoblanadi (4.5-rasm). Tirsakli val podshipniklarida kafolatlangan suyuq ishqalanishni ta'minlash uchun ushbu uzel (tugun) elementlarining



4.5-rasm. **Tirsakli val o'zak podshipniklarining qopqoqlarini mahkamlash:** *1* – asosiy kuch shpilka; *2* – bir yoqdan ikkinchi yoqqa o'tgan tortuvchi shpilka; *3* – tortuvchi bolt; *4* – mahkamlanadigan sath; *5* – prizon vtulka; *6* – mahkamlaydigan qopqoqning chiqig'i; *7* – prizon shtift.

deformatsiyalanishini cheklash, shuningdek, dvigatel bo'ylab tayanchlar o'qdoshligi muhim hisoblanadi.

Ajralma o'zak podshipniklarda ularning yuqori tayanch qismi karterning to'sig'ida joylashgan, pastki qismi esa qopqoq ko'rinishida bajarilgan va bolt yoki shpilka bilan mahkamlanadi. Qopqoqning eguvchi momentini kamaytirish uchun shpilkaning o'qidan tirsakli valning o'qigacha bo'lgan masofa mumkin qadar eng kam qilib qabul qilinadi. Qopqoqni karterning frezalangan bo'rtmalarida yon sirt tekisligi bilan o'tkazish butun podshipnikli tugunning katta bikrligini ta'minlaydi, bu ayniqsa, V shaklli dvigatellar uchun muhim hisoblanadi. Karterning bikrligini va mustahkamligini orttirish uchun qopqoqlarning tayanch yon tekisliklari balandligini orttirish va qopqoqlarning karter devori bilan yagona tizimga bog'lovchi gorizontal tortuvchi boltlardan foydalanish afzalroq hisoblanadi. Qopqoqlarning mumkin bo'lgan yon tomonga siljishidan ular ayrim hollarda maxsus o'rnatkichli shtiftlar yoki prizon vtulkalar bilan mahkamlanadi (4.5-rasm).

Aluminli karterda ankerli shpilkalarni mahkamlash uchun blok-karter tanasiga quyilgan ichki rezbali bronza vtulka ishlatiladi.

Avtotraktor dvigatellarida, odatda, sirpanish podshipniklari ishlatiladi, ularning asosiy elementlari po'lat asos va unga quyilgan ishqalanishga bardoshli qatlamdan tashkil topgan yupqa devorli ichquyma hisoblanadi. Ichquymalar tayanchlarda tig'iz o'rnatiladi (karterlar aluminiy qotishmasidan bo'lgan holda ko'proq).

Burilishdan va o'q bo'ylab siljishidan ichquymalar karterga va qopqoqqa bosim ostida kiritilgan shtiftlar bilan yoki tayanchning yuqori va pastki qismlari tutashiga tiraladigan egik «gajak» bilan mahkamlanadi. Moy tirsakli

valning podshipniklariga bosim ostida 10...14 mm diametrli bosh moy magistralidan 3–5 mm diametrli kanal bo'yicha keladi.

Silindrlar kallagi. Silindrlar kallagi dvigatelning eng ko'p yuklangan elementlaridan biri hisoblanadi. U yig'ishda dastlabki tortish kuchi bilan yuklanadi, gazlar bosim kuchini qabul qiladi va kuch bolt (shpilka) larga uzatiladi. Silindrlar kallagining yuklanishini o'ziga xos xarakteri isish darajasi yuqoriligi tufayli issiqlik yuklanishining ko'pligi va uning alohida elementlari orasida harorat gradiyentining kattaligi hisoblanadi. Ayrim hollarda, ayniqsa, ishchi jarayoni yuqori kuchlantirilgan dvigatellarda kallakdagi termik yuklanish mexanik yuklanishdan anchaga ortishi mumkin. Buning natijasida, ayniqsa, sovitish noqulay tashkil etilganda klapanlar orasidagi tutashtirgichda kuyish sodir bo'ladigandek, yoriq hosil bo'lishi mumkin. Kallakning katta termik deformatsiyalanishida klapanlar va gaz choklarining jipsliligining buzilishini kuzatish mumkin.

Funksional vazifasiga mos holda silindrlar kallagining konstruksiyasi bo'lishi shart:

- yonish kamerasining hajmi ishchi jarayonning tashkil qilish usuliga qo'yilayotgan talablarga mos holda yaratilishi;
- kiritish va chiqarish kanallarining eng maqbul konstruksiyasini ta'minlashi;
- gaz chokining ishonchli zichligini barpo qilishi;
- barcha ish rejimlarida kallak elementlarining eng kam issiqlik yuklanishini ta'minlaydigan sovitish suyuqligining aylanish rejimlarini amalga oshirishi;
- silindrlar kallagiga o'rnatiladigan kerakli dvigatelning detallari (o't oldirish shamlar/ forsunkalar, taqsimlash valining tayanchlari va boshqalar) eng maqbul joylashishini ta'minlashi.

Kallakning konstruksiyasiga yonish kamerasining shakli (tekis, ponasimon, chodirsimon, sharsimon, uyurmali, old kamerali), o't oldirish shamlari va forsunkalarining joylashishi (bo'ylama, ko'ndalang), gazlarning keltirish va olib ketish (bir tomonlama, ikki tomonlama) uchun kanallar shakli (tangensial yoki vintsimon) va joylashishi ta'sir qiladi.

Silindrlar kallagi silindrlarning bir qatori uchun yaxlit quyma ko'rinishida yoki har bir silindr uchun yakka holda bajariladi.

Yakka kallaklar foydalanish ishonchliligini orttirishga imkon beradi: ishonchli gaz chokini ta'minlaydi, dvigatelni ishlab chiqarishda, ta'mirlashda va foydalanishda yig'ish-yechish ishlarini osonlashtiradi. Bu turdagi kallaklar, odatda, nadduv bilan kuchaytirilgan dvigatellarda ishlatiladi.

Gazlar va termik yuklamalar yuqori bo'lganligi sababli kallakning zarur bikrligini ta'minlash uchun yotish tekisligi tomonidagi uning pastki tayanch devori yetarlicha og'irroq qilib yasaladi. Bunda klapanlar o'rindiqlarining tob tashlashining ehtimolligi kamayadi. Aluminiy qotishmali kallaklarning tayanch devorlari qalinligi cho'yannikiga qaraganda ko'p bo'ladi.

Aluminiy qotishmali kallaklarda o't oldirish shamlari kallakning bo'rtmasiga burab kiritiladi, ularning hamma tomonidan sovitish suyuqligi oqib o'tadi. Kuchaytirilgan IYOD larda siklning o'rtacha va eng katta

haroratlari yuqori bo'lganda, odatda, isish sathi kam bo'lgan kichik diametrli shamlar ishlatiladi.

Ajratilgan yonish kamerali dizellarda uyurma kamera va old kamera kallakda joylashadi va tarkibiy qilib bajariladi. Uyurma kameraning yuqori qismi kallak gavdasida joylashadi, pastki qismi esa (bo'g'zi bilan) issiqqa chidamli po'latdan tayyorlanadi va kallakning ichki tomoniga yotish tekisligi bilan bir tekisda o'rnatiladi. Old kamera kallakning maxsus bo'shlig'iga uning tashqi tomoni bilan o'rnatiladi.

Suyuqlik bilan sovitilishda kallakning issiqlikdan zo'riqishini kamaytirish maqsadida (konstruksiyaning ayrim isishi yuqori bo'lgan doiralarda harorat va harorat gradiyentlarini pasaytirish uchun) unda sovitish suyuqligining aylanishi uchun kanallar va bo'shliqlar tizimi barpo qilinadi. Suyuqlik blokdan kallakning ko'proq isigan doiralariga keladi: forsunkaga yoki o't oldirish shamiga, chiqarish klapanining o'rindig'iga va yo'naltiruvchi vtulka bo'rtmasiga, klapanlar orasidagi tutashtirgichlarga, chiqaruvchi patrubkaga, uyurma kameraga yoki old kameraga. Issiqlik almashinuvini jadallashtirish uchun kallakning sovitish tizimida maxsus bosim ostida o'rnatilgan taqsimlash naychalar, yo'naltiruvchi qovurg'alar va boshqalar yordamida suyuqlikning yo'naltirilgan harakati tashkil etiladi.

Cho'yandan tayyorlangan kallaklarda yonish kamerasi sathi harorati 350°C ga erishadi, ayrim nuqtalari orasidagi haroratlar farqi 150°C gacha yetadi, haroratlar gradiyentlari esa 6...10 K/mm ni tashkil etadi.

Yaxshi issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan aluminiy qotishmasidan tayyorlangan kallaklarda eng yuqori harorat birmunchaga kam, haroratlar farqi 60°C ga erishadi, harorat gradiyentlari esa 1,5...2 K/mm ni tashkil etadi. Nadduv bilan kuchaytirilgan dvigatellarda aluminiy qotishmasidan tayyorlangan kallaklar qulayroq (yaxshi) issiqlik holatini ta'minlaydi.

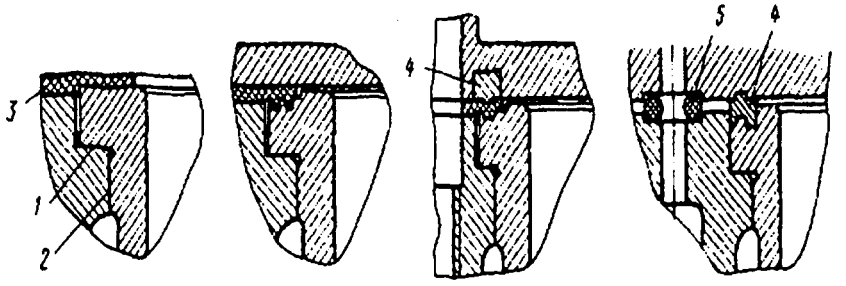
Gaz sizadigan choklarni zichlash (4.6-rasm) silindr kallagi va gilza orasidan gazlarning yorib o'tishi va sovitish suyuqligining sizishini oldini olish uchun qistirmalar ishlatiladi. Ularning konstruksiyasi quyidagi talablarga mos kelishi kerak:

- qistirmalarga yuqori harorat, shuningdek, zanglashga faol elementlar ta'sir qilib, uzoq muddat ishlashi davomida ish qobiliyatini saqlashi;
- kallak va blokning tayanch sathlaridagi notekisliklarni to'ldirish uchun yetarlicha plastiklikka ega bo'lishi;
- silindrda ishchi jarayonni amalga oshirishda gaz sizish choklarining ochilmasligini ta'minlash uchun yetarlicha elastiklikka, shuningdek, toliqish mustahkamligining yuqoriligiga ham ega bo'lishi.

Qistirma elastikligi va qalinligi tutashadigan sathlar notekisligining kattaligi, tortiladigan detallarning bikrligi, qistirma ashyosining elastik-mexanik xususiyati bilan aniqlanadi.

Avtotraktor dvigatellarida, asosan, qistirmalarning quyidagi konstruksiyalari ishlatiladi:

- *yaxlit metalli* varaq ko'rinishidagi po'latdan yoki bo'ysunuvchanroq bo'lgan mis yoki aluminiydan;
- bir nechta yupqa varaqlar to'plamidan tashkil topgan *metalli*;



4.6-rasm. **Gaz sizadigan choklarni zichlash:**
a – zichlovchi qistirmali va tekis yon tomonli gilza; *b, c* – qistirmali va gilzaning yuqori yon tomoni aylana chiqiqli; *d*–qistirmali va zichlovchi halqali; *e* – c–zichlovchi halqali; *1* – tayanch tekisligi; *2* – markazlashtiruvchi belbog'; *3* – qistirma; 4 – zichlovchi halqa; 5 – suyuqlik sizadigan chokni zichlovchi rezinali halqa.

• *asosi to'r yoki teshikli varaq ko'rinishida bo'lgan po'latdan yoki* grafitlangan issiqqa chidamli kardon varaqlar bilan to'ldirilgan *aluminiydan tayyorlangan*. Qistirma mustahkamligini orttirish uchun asbestli tola rezina yoki maxsus bog'lovchi issiqqa chidamli ashyo bilan shimdiriladi.

Yonish kamerasi doirasida qistirma teshigini metall bilan hoshiyalash uning gazlar ta'siridan himoyalashga, elastiklik xususiyatini, mustahkamligini, ishonchliligini orttirishga yordam beradi. Qistirmaning konturi bo'yicha katta solishtirma bosimni barpo qilish uchun hoshiya doirasida qistirma qalinligi birmunchaga orttiriladi, bu uning o'zgaruvchan bikrligini ta'minlaydi. Ayrim hollarda gilzalarning torets yuzasidagi halqasimon ariqchaga qizil mis yoki aluminiyli zichlovchi halqa kallakning yotish tekisligidagi bo'rtiq yordamida bosib, har bir silindrga o'rnatiladi. Yuqori kuchlantirilgan dvigatellarda shunga o'xshash yumshoq po'latdan tayyorlangan qistirmalar ishlatilishi mumkin.

Suv o'tkazuvchi kanallarni zichlash uchun qistirmaga rezina halqa o'rnatiladi.

Karterning pastki yarmi avtomobil dvigatellarida moy uchun idish vazifasini bajaradi va 1...1,5 mm qalinlikdagi po'lat varaqdan shtamplash bilan yoki aluminiy qotishmasidan quyib tayyorlanadi. Bikrlikni oshirish uchun uning sathlarida shtampovkalash bajariladi yoki qovurg'a payvandlanadi, karterning yuqori yarmi bilan tutashadigan joyi bo'yicha esa po'lat varaqdan plastina payvandlanadi. Osttog'orani zich berkitish va shovqin nurlanishini kamaytirish uchun u karterning yuqori qismidan maxsus qistirma yordami bilan izolatsiyalanadi.

Quyma ravishda tayyorlangan osttog'oraning tashqi sathi ayrim paytlarda moy sovishini jadallashtirish uchun qovurg'ali qilib bajariladi.

4.2. HAVO BILAN SOVITILADIGAN DVIGATELLARNING SILINDRLARI VA KARTERLARI

Havo bilan sovitiladigan dvigatellarning korpuslari, odatda, karterdan va unga o'rnatilgan alohida silindrlardan tashkil topgan. Silindrlar karterga o'rnatilishi usuliga qarab quyidagi kuch sxemalarga farqlanadi (4.7-rasm):

1. Yuk ko'tarib turuvchi silindrli korpus, bunda gazlar bosim kuchini silindr devori qabul qiladi. Bunday holatda silindr kallagi, shuningdek, silindr va karterning tayanch flanesi o'zaro kalta shpilkalar bilan biriktiriladi.

2. Silindr kallagi va silindr karterga uzun shpilkalar yordamida mahkamlangan yuk ko'taruvchi kuch shpilkali sxema. Bunda kallak va silindr dvigatel ishlamayotganda shpilkalarning dastlabki tortilish ta'siri natijasida siqilgan holatda bo'ladi.

Havo bilan sovitiladigan IYOD larning *qovurg'alangan silindrlari* cho'yandan yoki aluminiy qotishmasidan quyib tayyorlanadi. Ayrim hollarda qovurg'alangan aluminiyli qismi zichlab o'rnatilgan cho'yan gilza ko'rinishidagi bimetalli (qo'shmetalli) silindrlar ishlatiladi. Qovurg'ali aluminiy silindrga po'lat yoki cho'yan gilzani quyish bilan yaxshi natija olinishi mumkin (4.8-rasm). Oxirgi holatda gilza metalli va silindrning qobirg'alash elementlari sifatliroq tegib turishi natijasida issiqlik uzatilishi yaxshiligi tufayli sovitish tizimining ishlashiga qulayroq sharoit yaratiladi.

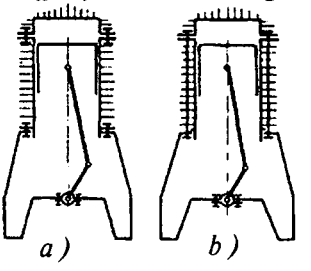
Aluminiy qotishmasidan tayyorlangan silindrlarning ichki ishchi sathi maxsus antikorrozion qoplama bilan qoplanadi.

Yonish kamerasining shakllantiradigan detallardan issiqlik olishni jadallashtirish maqsadida silindr va silindr kallagining tashqi sathi qovurg'alanadi. Bu detallarning qobirg'alangan tashqi sovitish sathining kattaligi dvigatelning geometrik parametrlariga, uning joylashtirish yechimiga va kuchaytirganlik darajasiga bog'liq. *Qovurg'alash koeffitsiyenti* deb ataladigan tashqi sathini ichki sathiga bo'lgan nisbati avtotraktorlar IYOD larida, odatda, 15...23 ni tashkil etadi.

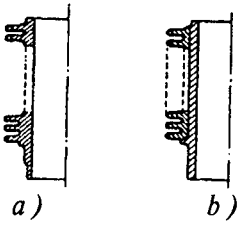
Sovitish tizimi orqali olib ketiladigan issiqlikning ulushini silindrlar kallagiga mos keladigani dizellar uchun 45...60% ni va uchqundan o't oldiriladigan dizellar uchun 60...75% ni tashkil etadi. Kallak va silindrning qovurg'alangan sathlari nisbati keltirilgan nisbatlarda yotadi.

Uzunligini 45...55% ini tashkil etgan silindrning qovurg'alangan qismi kallak bilan tutashgan joyidan bevosita boshlanib, porshen PCHN holatda turganda halqalar joylashgan doiragacha yetadi.

Silindrning sovitish sathi yuzasi kattaligi qovurg'aning soni va geometrik parametrlari bilan aniqlanadi. Qovurg'a ko'ndalang kesimining eng maqbul shakli trapetsiya ko'rinishida hisoblanadi. Silindr devori qovurg'alar bilan aylana yoyi ko'rinishida tekis (ravon) bir-biriga o'tishi orqali birlashtiriladi. Qovurg'adan issiqlikning olish jadalligiga qovurg'alar orasidagi qadam jiddiy ta'sir qiladi.



4.7-rasm. **Havo bilan sovitiladigan IYOD ning kuch sxemalari:** *a* – yuk ko'taruvchi silindrli; *b* – yuk ko'taruvchi kuch shpilkali.



4.8-rasm. **Havo bilan sovitiladigan IYOD ning silindrlari:** *a* – monometalli; *b* – bimetalli.

Qadamning 1/3 qismiga yaqini qovurg'aning qalinligiga to'g'ri keladi. Agar qadam yetarlicha bo'lmasa, uzun qovurg'alar orasi oralig'idagi asosda «o'lik» sohalar hosil bo'ladi va sovitishning samarali sathi kamayadi. Qadam kattaligi quyib tayyorlash texnologik imkoniyatlardan kelib chiqqan holda aniqlanadi va 8 dan 3,5 mm gacha oraliqda o'zgaradi.

Silindrlar qovurg'alari balandligi, odatda, 14...18 mm dan ortmaydi. U silindr ashyosining issiqlik o'tkazuvchanligiga bog'liq. Silindrning bir xil radial deformatsiyalanishini ta'minlash uchun qovurg'alanishni shakllantirishda konstruksiyaning aylanasi bo'yicha bir tekis bikrlilikka ega bo'lishi maqsadga muvofiq. Qovurg'alarni joylashtirishda butun perimetr bo'yicha uning balandligini bir xil qilishga har doim ham imkon bo'lmaydi, ayrim hollarda baland qovurg'alar kesimli qilib bajariladi. Baland qovurg'alardan foydalanishda ularning titrashini va shovqin nurlatishini kamaytirish maqsadida ular orasiga maxsus so'ndirgich elementlari o'rnatiladi.

Havoning qovurg'alar orasidan o'tishida isish harorati 60...70°C ga, qovurg'alar orasidagi uning tezligi esa 50 m/s gacha yetishi mumkin.

Havo bilan sovitiladigan dvigatellarda *silindr kallagi* ko'proq issiqlikdan zo'riqqan elementlardan biri hisoblanadi. Bu sababli u, odatda, yaxshi issiqlik o'tkazuvchanlikka, metall formaga yaxshi quyilishiga ega bo'lgan aluminiy qotishmasidan tayyorlanadi. Mustahkamlik va ishonchli ishlashi shartidan kelib chiqqan holda yuqoriroq isiydigan klapanlar orasidagi tutashtirgich doirasi nuqtalaridagi harorat chegarasi 215...230°C oralig'ida cheklanishi lozim va faqat qisqa vaqtda 260°C gacha yetishi mumkin. Kallakni konstruksiyalashda termik deformatsiyalanishini va kallak hamda silindr yuqori qismining geometrik shakli buzilishini kamaytirish maqsadida harorat maydoni bir tekis ta'minlanishiga katta e'tibor qaratiladi.

Quyib tayyorlashda kallakning sovitish qovurg'asi balandligi 50...60 mm dan ortmaydi.

Qovurg'alarni frezerlab tayyorlashda kallaklarda uning qalinligi qadami 3,5...4,0 mm bo'lganda 1,5 mm gacha ta'minlanishiga erishiladi.

Aluminiy qotishmasidan tayyorlangan kallaklarni qo'llashda gaz sizadigan choklarning zichlash qistirmalaridan foydalanmasdan kuch shpilkalari tortilishida aluminiy kallak va cho'yan silindr tutash elementlarining deformatsiyasi hisobiga ta'minlanadi.

Havo bilan sovitiladigan IYOD korpusining konstruksiyasiga shamol parrakning joylashi jiddiy ta'sir qiladi. Odatda, bir qatorli dvigatelda shamol parrak tirsak val o'qi orqali o'tadigan bo'ylama tekislikka nisbatan siljitiladi, V simon dvigatellarda esa silindrlar qatori orasiga bevosita joylashtiriladi. Havo oqimining yo'naltirilgan harakati ko'proq isigan doiralar (chiqarish kanaliga, yonish kamerasiga) bo'yicha oqimni taqsimlaydigan deflektorlar tizimi yordamida amalga oshiriladi.

4.3. GAZ SIZADIGAN CHOK ELEMENTLARINING ZO'RIQISH HOLATINI HISOBLI BAHOLASH

Dvigatelning gaz sizadigan chok elementlarining ish qobiliyatini aniqlashda ish jarayoni amalga oshirish paytida uning jips yopilishi va

kallak, qistirma hamda blokni tortuvchi shpilkalar yoki boltlarning zo'riqish holati baholanadi.

Gaz sizadigan chokka asosiy hisoblangan yuklamalar bo'lib quyidagilar hisoblanadi (4.9-a rasm):

- dastlabki tortish kuchi;
- gaz kuchlari yuklamasi;
- tortuvchi detallarning chiziqli kengayish koeffitsiyentlarining turlicha bo'lganligi tufayli dvigatelning isishida hosil bo'ladigan termik kuch.

P kuchning kesimi F, uzunligi l va elastiklik moduli E bo'lgan elementning elastik deformatsiyasi λ bilan o'zaro bog'liqligi Guk qonuni bilan ifodalanadi:

$$\lambda = \frac{Pl}{EF}.$$

Bu ifodani quyidagi ko'rinishda tasavvur qilish mumkin:

$$\lambda = \frac{P}{EF/l} = \frac{P}{C} = PK,$$

bunda: C—element bikrligi: $C = EF/l$, N/m; K—elementning bo'ysunuvchanligi: $K = 1/(EF) = 1/C$, m/N.

Shpilka/boltning dastlabki tortish kuchi P_{dt} ta'siri ostida gaz sizadigan chok detallarining deformatsiyasi bir vaqtda shpilkani cho'zish bilan birgalikda kallak, qistirma va blokning ishchi qismini siqilishiga olib keladi (4.9-b rasm).

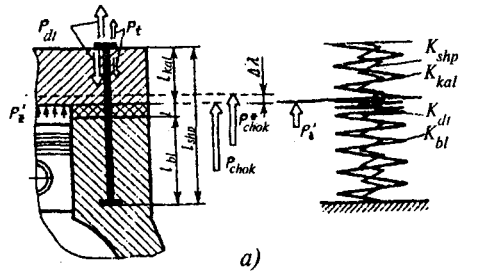
Ish jarayoni amalga oshirilishida gaz kuchi kallakni siqadi va shpilkani cho'zadi, qistirma hamda blok deformatsiyasi kamayadi, gaz sizadigan chokning yuksizlanishi sodir bo'ladi. Tabiiyki, agar gaz sizadigan chokning zich bekilishi yo'qolmasa, u holda shpilka va kallakning deformatsiyasining nim o'sishi $\Delta(\lambda_{shp} + \lambda_{kal})$ qistirma va blokning deformatsiyasini o'sishi $\Delta(\lambda_{qist} + \lambda_{bl})$ ga teng bo'ladi. Xulosaning ko'rgazmali bo'lishi uchun 4.9-d rasmda keltirilgan ko'rinish kuch-deformatsiya diagrammasiga e'tiborni qaratamiz.

Gaz almashinuvida tutashdagi kuch dastlabki tortish kuchiga yoki shpilkani cho'zadigan eng kam kuchga teng bo'ladi $P_{chok} = P_{dt} = P_{cho'z\,min}$.

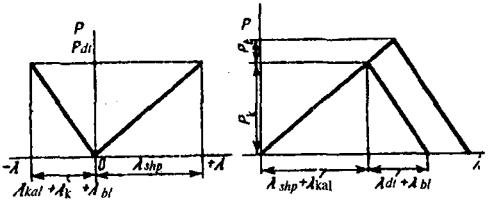
Agar kallakli yuklantiradigan gaz kuchi bu silindrga tegishli bo'lgan shpilkalar bilan bir tekis qabul qilinadi deb faraz qilinsa, u holda bir shpilkaga to'g'ri keladigan gaz kuchining qiymati $P'_z = P_z / i$ kabi aniqlanadi, bunda: P_z — haqiqiy siklning hisoblash rejimidagi gazlar bosimining eng katta kuchi; i — shpilkalar soni. Dvigatel kuch sxemasi detallariga gaz kuchlarining ta'siri natijasida quyidagilar sodir bo'ladi:

- tutashda kuch ΔP kattalikda kamayadi va $P^*_{chok} = P_{qis} - \Delta P$ teng bo'ladi;
- qistirma va blokning deformatsiyalari kattalik $\Delta(\lambda_{qis} + \lambda_{bl})$ ka kamayadi;
- shpilka va kallak $P'_z - \Delta P$ kuch bilan qo'shimcha ravishda yuklantiriladi va shpilkani tortadigan eng katta kuch $P_{cho'z\,max} = P^*_{chok} + P'_z = P_{qis} - \Delta P + P'_z$ ga teng bo'ladi;
- shpilka va kallak deformatsiyasi $\Delta(\lambda_{shp} + \lambda_{kal})$ kattalikka ortadi.

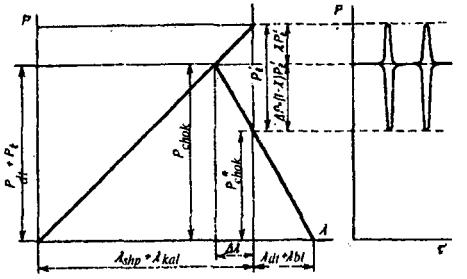
$\Delta(\lambda_{qis} + \lambda_{bl}) = \Delta(\lambda_{shp} + \lambda_{kal})$ va $\lambda = PK$ bo'lishini e'tiborga olib, quyidagini $\Delta P(K_{qis} + K_{bl}) = (P'_z - \Delta P)(K_{shp} + K_{kal})$ olamiz:



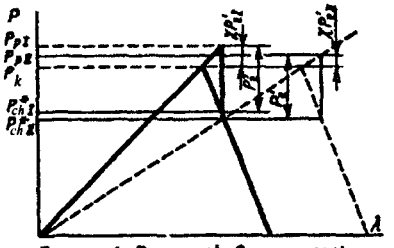
a)



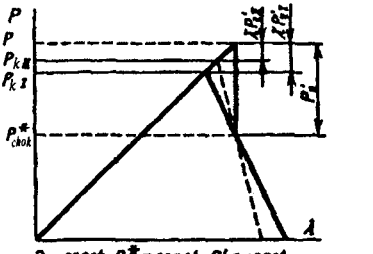
b)



d)



e)



f)

4.9-rasm. **Dvigatel kuch sxemalari elementlarining ishonchliligini baholashga:**
a – hisoblash sxemasi; *b* – tortishda kuch sxemasining deformatsiyasi; *d* – kuch diagrammasi-deformatsiya; *e, f* – kuch sxemasi detallari bikrligi nisbatlarining variantlari.

O'zgartirishlardan so'ng nihoyat quyidagini olamiz:

$$\Delta P = P_z' \frac{K_{shp} + K_{kal}}{K_{shp} + K_{kal} + K_{qis} + K_{bl}} = P_z' \frac{K_{shp} + K_{kal}}{\Sigma K}.$$

Shpilkani qo'shimcha yuklantiradigan kuch:

$$P_z' - \Delta P = P_z' \frac{K_{qis} + K_{bl}}{\Sigma P} = \chi P_z'$$

bunda: χ – rezbali birikmaning qo'shimcha yuklantirish koeffitsiyenti:

$$\chi = (K_{qis} + K_{bl}) / \Sigma K.$$

Shpilkani cho'zadigan eng katta kuch:

$$P_{cho'z\,max} = P_{dt} + \chi P_z'.$$

Qisqa kuch shpilkali IYOD uchun χ ning qiymati 0,03...0,04 oralig'ida yotadi, nisbatan uzaytirilgan shpilkali uchun – 0,06...0,07 (masalan, KamAZ-740 uchun). Uzun kuch shpilkali bog'liqlikka ega bo'lgan havo bilan sovitiladigan dvigatellar uchun $\chi = 0{,}11...0{,}13$. Kichik qiymatlari cho'yandan tayyorlangan tortiladigan detallar uchun xarakterli, katta qiymatlari esa aluminiy qotishmasidan tayyorlangan detallar uchun.

Gaz sizadigan chok zichligining ochilmaslik sharti $P_{tut}^* \geq 0$ yoki $P_{chok}^* = P_{qis} - (1-\chi)P_z' \geq 0$ ko'rinishida yoziladi. Bundan eng kam tortish kuchi $P_{qis\,min} = (1-\chi)P_z'$ bo'ladi. Gaz sizadigan chokini talab qilingan ishonchliligiga erishishi uchun tortish kuchi zaxira koeffitsiyenti m ga ko'paytiriladi: $P_{dt\,min} = m(1-\chi)P_z'$. Uning qiymati 1,3...1,5 dan 2...3 gacha o'zgaradi. m ning kichik qiymatlari UO'OD larga tegishli, katta qiymatlari esa nadduv bilan yuqori kuchaytirilgan dizellar uchun tanlanadi.

Dvigatelni qizdirishda uning detallari uzayadi. Tortiladigan detallarning chiziqli kengayish koeffitsiyentlari turlicha bo'lganligi tufayli tizimda qo'shimcha termik kuch P_t sodir bo'ladi.

Aluminiy qotishmasidan tayyorlangan kallakning chiziqli kengayish koeffitsiyentining po'latdan tayyorlangani shunday ko'rsatkichiga bo'lgan nisbati ikkidan ko'p bo'lganligi ($\alpha_{po'l} \cong 11 \cdot 10^{-6}\ 1/K$) tufayli uning gaz sizadigan chok elementlariga P_t kuchning ta'siri jiddiyroq.

i–detalning uzayishi $\Delta\lambda_i = \alpha_i l_i \Delta t_i$ kabi aniqlanadi, bunda: α_i – ashyoning chiziqli kengayish koeffitsiyenti, $1/K$; l_i – detal uzunligi, m; Δt_i – detalning qizishi, K.

Guk qonunidan foydalanib, tortiladigan detallar va shpilkaning uzunlashishining farqi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\alpha_{kal} l_{kal} \Delta t_{kal} + \alpha_{qis} l_{qis} \Delta t_{qis} + \alpha_{bl} l_{bl} \Delta t_{bl} - \alpha_{shp} l_{shp} \Delta t_{shp} = K_{kal} P_t + K_{qis} P_t + K_{bl} P_t + K_{shp} P_t.$$

Bundan

$$P_t = \frac{\Sigma \alpha_i l_i \Delta t_i - \alpha_{shp} l_{shp} \Delta t_{shp}}{\Sigma K},$$

bunda: i–kal – kallak; qis – qistirma; bl – blok, shp – shpilka.

Bunda, $P_{cho'z\,min} = P_{qis} + P_t$; $P_{cho'z\,max} = P_{qis} + P_t + \lambda P'_z$; $P^*_{bir} = P_{qis} + P_t - (1-\lambda)P'_z$.

Shpilka yuklanish siklining ma'lum parametrlari bo'yicha uning eng kichik diametri F_{or} ga mos keluvchi rezbali qismidagi kuchlanish aniqlanadi:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{cho'z\,max}}{F_{or}} = \frac{P_{qis} + P_t + \lambda P'_z}{F_{or}}; \quad \sigma_{min} = \frac{P_{qis} + P_t}{F_{or}}.$$

Toliqish chegarasi (σ_{-1}) bo'yicha shpilkaning mustahkamlik zaxirasi 2,5...4 oralig'ida, oquvchanlik chegarasi (σ_T) bo'yicha esa $-1,3...2$ oralig'ida yotadi.

Uglerodli po'latlardan tayyorlangan shpilkalar uchun kuchlanish konsentratsiyasi koeffitsiyenti $K_\sigma / (\varepsilon'_\sigma \varepsilon''_\sigma)$ 3...4 va legirlangan po'latlardan tayyorlangani uchun 4...5,5 oralig'ida yotadi.

Ko'rib chiqilgan kuch sxemasining yuklanish mexanizmidan kelib chiqib, silindrda. gazlar bosim kuchi ko'p bo'lgan qizigan dvigatelning eng katta burovchi momentida shpilka /bolt ni hisoblash kerak.

Gaz sizadigan chok elementlarining talab qilingan dastlabki tortish kuchining hisobi P^*_{tut} kallagi eng kam bo'lgandagi qizimagan dvigatelning o'shanday rejimida amalga oshiriladi, bu kallagi aluminiy qotishmasidan, blok-karteri cho'yandan tayyorlangan IYOD uchun eng muhim hisoblanadi.

IYOD kuch sxemasi elementlariga uning detallari bikrligi nisbatlarining ta'sirini tahlil qilib chiqamiz.

P'_z va P_{qis} larning doimiy kattaliklarida shpilka va kallakning bikrligi kamayishi (4.9-e rasmda punktir chiziq) shpilkaga tushadigan qo'shimcha yuklamaning kamayishiga olib keladi, biroq bunda P^*_{bir} kamayadi va demak, gaz sizadigan chokning ishonchliligi ham kamayadi.

$P_{cho'z}$, P'_z va P^*_{tut} larning doimiy kattaligida qistirma va blok bikrligining ortishi (4.9-f rasmda punktir chiziq) shpilkaga tushadigan qo'shimcha yuklamani kamaytiradi, lekin bunda dastlabki tortish kuchi P_{dt} ni ko'paytirish talab qilinadi.

Yig'ishda ishlab chiqargan zavodning yo'riqnomasida ko'rsatilgan va dinamometrik kalit yordamida tekshiriladigan talab qilingan dastlabki tortish kuchiga erishish muhim hisoblanadi.

Silindrlar kallagining butun hajmi bo'yicha elementlar deformatsiyasini bir xil ta'minlash uchun shpilkalar/boltlarning tortish tartibi qat'iy aniq.

Olingan bog'liqliklar foydalanishning turli sharoitlarida kuch sxemasining holatini bashorat qilishga imkon beradi. Yonishning buzilishi yoki sovitish tizimi ishlashining buzilishi tufayli dvigatel qizishida P_t kuchning o'sishi sodir bo'ladi, buning oqibatida shpilka qo'shimcha yuklama qabul qiladi. Dvigatelning o'tish rejimlarida ishlashida P_z ning «tashlab yuborilish» ehtimolligi ortadi, bu shpilkaga yuklamaning oshish va gaz sizadigan chokda P^*_{tut} kuchning kamayish ehtimolliligini sodir qiladi. Chekka shimol sharoitida bir siklda yonishni o'tkazib yuborish navbatdagi siklda P_z ning «tashlab yuborilishi» va $\chi P'_z$ ning ortishi bilan ikkilangan yonilg'i dozasini yonishi mumkin.

V BOB

PORSHEN GURUHI

Porshen ishchi jarayonni samarali tashkil etish uchun yonish kamerasining zarur shaklini ta'minlaydi. Uning tubi ishchi siklning amalga oshirilishida porshen usti bo'shlig'ida rivojlanadigan gazlar bosimini qabul qiladi va porshen barmog'i orqali shatunga uzatadi.

Yonish kamerasidan karterga ishchi jismning sizishini bartaraf qilish uchun porshen usti bo'shlig'ida labirint zichlamani hosil qiluvchi *kompression halqalar* ishlatiladi.

Ishqalanishdagi isrofni kamaytirish uchun silindr devori karter tomonidan moy bilan yuvib turiladi, ortiqcha moyning silindr devoridan yonish kamerasiga tushishining oldini olish uchun *moy sidiruvchi halqalar* ishlatiladi.

Dvigatel ishlash jarayonida porshen guruhining elementlari o'zgaruvchan mexanik (gazlar bosimi va inersiya kuchlaridan) yuqori bosim va issiqlik yuklamalari ta'sirida bo'ladi, ular detallarda ko'p deformatsiya hamda kuchlanishini, shuningdek, porshen guruhining birikkan harakatlanuvchi elementlarida yuqori solishtirma bosimini keltirib chiqaradi. Yuqori solishtirma bosimda ishqalanishga bo'lgan isrof ko'payadi, bu tirnalishga va porshenning silindrda qadalishiga olib keladi.

Porshen va silindr orasida tirqishning mavjudligi yonlama N kuchning yo'nalishi o'zgarganda porshenning ko'ndalangiga siljishini keltirib chiqaradi — uni «qayta joylashishida». Bu jarayonning jadalligi tirqishning kattaligi, qayta joylashish paytida N kuchning o'zgarish tezligi, barmoq o'qiga nisbatan porshen massalari markazining holati, porshenning umumiy balandligi va uning boshqa konstruktiv parametrlari bilan aniqlanadi. Dvigatelning sikl davomida ishlashida porshenning qayta joylashish jarayoni N kuchning belgisi o'zgarganda har doim sodir bo'ladi. Qayta joylashishida zarbali o'zaro ta'sir jadalligining ko'pligi YUCHN doirasida kengayish taktining boshlanishida o'ringa ega bo'ladi, bu dvigatel shovqini va titrashi, yeyilishi, moy sarfining ko'payishini va ularning tashqi sathlarida kavitatsion eroziya kuzatilishi mumkin bo'lgan gilzalarning yuqori chastotali titrashining ortishini keltirib chiqaradi.

Yonish kamerasi hajmini shakllantiradigan porshen guruhi detallarining sathlari jadal erozion va korrozion yeyilishga uchraydi, abraziv ishtirokida cheklangan moylash sharoitida katta nisbiy tezlik bilan harakatlanuvchi birikkan qo'zg'aluvchi elementlarning bir-biriga tegib turuvchi sathlari esa mexanik yeyilishga uchraydi.

Porshen guruhining ishqalanishidagi mexanik isrofi IYOD ning ishqalanishdagi umumiy isrofining 45–65% ini tashkil etishini ko'rsatib o'tish lozim; uning 50% gachasi porshen halqalarining ulushiga to'g'ri keladi.

Zamonaviy avtotraktor dvigatellarining porshenlari uchun quyidagi *foydalanish nuqsonlari* o'ziga xos xususiyatli:

- yuqoridagi halqasimon ariqchalar sathlarining erozion yeyilishi va yemirilishi;
- yonish kamerasi qirralarida yoriqlarning hosil bo'lishi natijasida porshen tubining yemirilishi, shuningdek, uning kuyishi;
- porshen kallagi elementlarida jadal qurum cho'kindisining hosil bo'lishi;
- birinchi kompression halqa harakatlanishining yo'qolishi;
- halqalar elastikligining yo'qolishi va kuyishi;
- metallning dumalatilishi va silindr-porshen guruhining elementlarini tirnalishi;
- halqalarning yon yuzalari va etak yon sathlarining yeyilishi;
- porshen bo'rtiqlari (bobishkalari)da yoriqlar paydo bo'lishi.

Bu nuqsonlar dvigatel ko'rsatkichlarining yomonlashishiga, hatto uning ishdan chiqishiga olib keladi, bu nuqsonlar IYOD quvvatining kamayishi, yonilg'i va moy sarfining ortishi, motor resursining kamayishi bilan bog'liq, shuningdek, IYOD ning ekologik ko'rsatkichlarini yomonlashtiradi.

Porshen guruhi elementlarining funksional vazifasi, ishlash sharoiti va nuqsonlarining o'ziga xos xususiyati ularga qator konstruktorlik-texnologik talablarni qo'yadi:

- silindr ichki bo'shlig'ining ishonchli zichlanishi (ishchi jismning karterga sizib o'tishi havo sarfi 0,5–1% dan ortmasligi kerak);
- yonish kamerasiga haddan tashqari ko'p moy tushishidan holi bo'lish, moyning kuyishga sarfi samarali solishtirma yonilg'i sarfining 0,3–0,6% dan ko'p bo'lmasligi kerak;
- porshen tubi sathining issiqlik qabul qiluvchanligini kamaytirish, porshen tubidan silindr devoriga samarali issiqlik berishni ta'minlash;
- porshen guruhi detallarining yetarlicha mustahkamligi, bikrligi va eng deformatsiyalanishini ta'minlash bilan birgalikda mumkin bo'lgan eng kam konstruktiv massasiga erishish;
- porshen guruhi elementlarining ishqalanish ishini kamaytirish va ularning yeyilishga yuqori chidamliligini ta'minlash.

5.1. PORSHEN

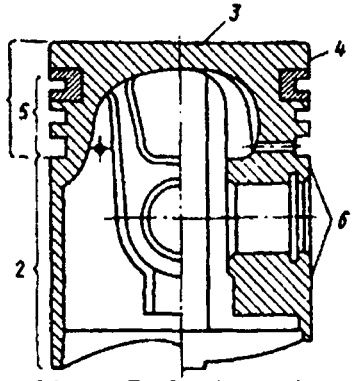
Porshen konstruksiyasida quyidagi elementlarni ajratish qabul qilingan (5.1-rasm): kallak *1* va etak *2*. Kallakka porshen tubi *3*, otash (issiq) *4* va zichlovchi *5* belbog'lari kiradi.

5.2 va 5.3-rasmlarda turli avtotraktorlar dvigatellari porshenlarining hozirgi paytda ko'proq uchraydigan konstruksiyalari ko'rsatilgan.

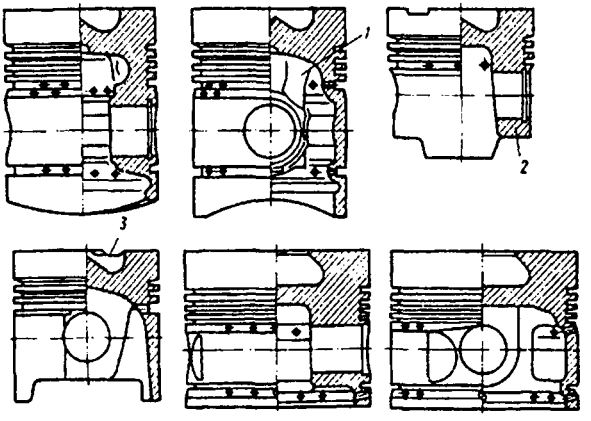
Porshen shaklining murakkabligi, uning elementlariga ta'sir qiluvchi issiqlik oqimining miqdori va yo'nalishi bo'yicha tez o'zgarishi uning hajmi bo'yicha haroratning notekis taqsimlanishiga hamda oqibatda mahalliy termik kuchlanish va deformatsiyani vaqt bo'yicha katta o'zgaruvchanlikka olib keladi (5.4-rasm).

Dvigatel silindridagi ishchi jism bilan tegib turadigan porshenning kallagidan unga beriladigan issiqlik uning ayrim elementlari orqali sovitish

tizimiga quyidagi nisbatda olib ketiladi, % : kompression halqalar orqali silindrning sovitiladigan devoriga – 60–70, porshen etagi orqali – 20–30, porshen tubining ichki sathi orqa moylash tizimiga – 5–10*. Silindr va porshen guruhining ishqalanishi natijasida ajralib chiqadigan issiqlikning bir qismini ham porshen qabul qiladi.



5.1-rasm. **Porshenning asosiy elementlari.**



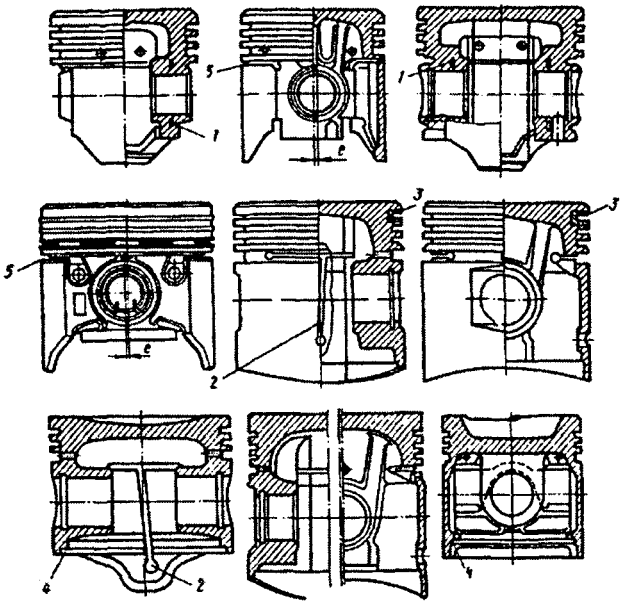
5.2-rasm. **Dizellar porshenlarining konstruksiyasi:**
1 – porshen tubi va bobishkasini biriktiruvchi qovurg'a;
2 – ichki yon tomoni halqalangan bobishka; 3 – klapan osti kesimi.

5.1.1. PORSHEN ASOSIY ELEMENTLARINING KONSTRUKTIV PARAMETRLARI

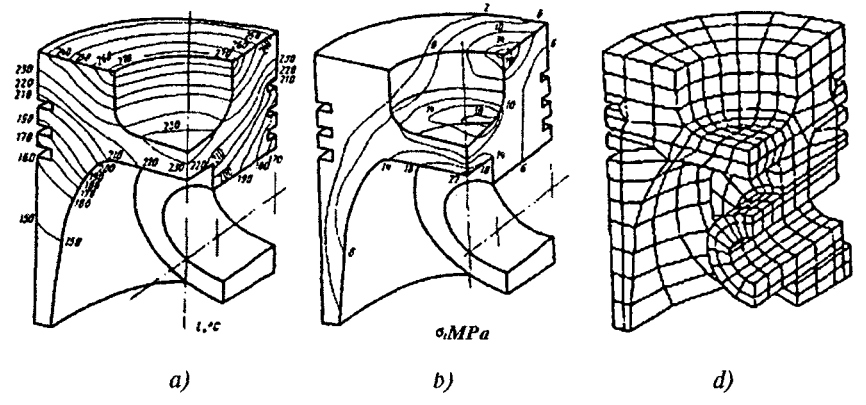
Porshenni loyihalashda silindr diametri D ga keltirilgan uning elementlarining konstruktiv parametrlari bo'yicha statik ma'lumotlardan foydalaniladi (5.5-rasm, 5.1-jadval).

Porshenning balandligi H, asosan, kallagining balandligi h_k bilan aniqlanadi. H ning kattaligi kichik bo'lgan paytda porshen ishlab chiqarishda va foydalanishda elementlari va silindr ko'zgusi orasida yo'l qo'yiladigan tirqishlarga rioya qilinmasa, uning harakatlanish xususiyatiga ta'siri sezilarli darajada ortadi, bu qayta joylashishni, gaz va moy uchun zichligining buzilishini, kompression halqalar ariqchalari devorlari yeyilishi ko'payishini jadallashtirishi mumkin.

*Bu sonlar porshenlar elementlarining moylash tizimi orqali maxsus sovitilmaydigan konstruksiyalariga tegishli.



5.3-rasm. **Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarning porshenlari:** *1* – issiqlik rostlaydigan kirgizma; *2* – T simon kesik; *3* – birinchi kompression halqa ostidagi ariqcha kirgizmasi; *4* – massasi bo'yicha moslashtirish uchun metallni olish doirasi; *5* – ko'ndalang kesik.

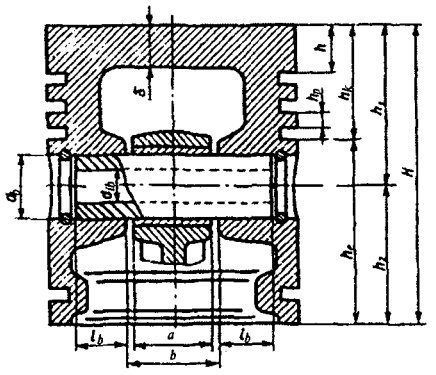


a) *b)* *d)*

5.4-rasm. **So'nggi element modeli (*d*) yordamida olingan dizel porshenining harorat maydoni (*a*) va eng kichik asosiy kuchlanishi (*b*).**

Porshen kallagining balandligi uning tashqi o'lchamlari va massasini belgilaydi, bunga bog'liq holda uning elementlari normal harorat rejimini ta'minlash uchun uning zarur bo'lgan eng kichigi tanlanadi.

Issiqlik belbog'ining balandligi h ni tanlashda porshen YUCHN da bo'lgan paytda yuqoridagi kompression halqaning silindrni sovitiladigan qismi oralig'ida joylanishini ta'minlashga intilinadi. Yuqoridagi ariqcha haroratini moyning kokslanish haroratidan past darajada ushlab turish lozimligini belgilaydigan h ning kattalashishi porshen tubining issiqlikdan yuklanishini o'sishiga va demak, issiqlik belbog'i va silindr orasidagi yig'ish



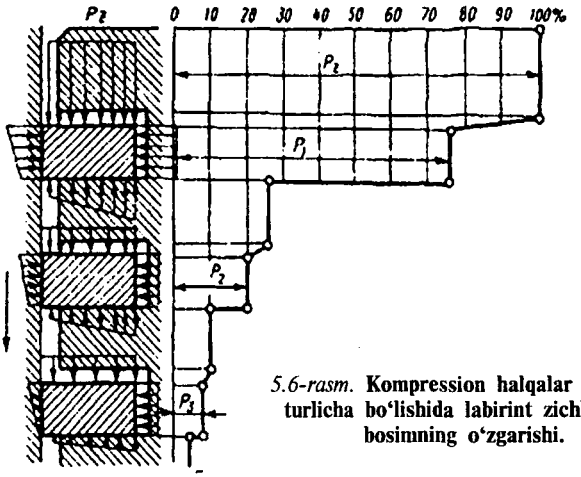
5.5-rasm. **Porshen guruhi konstruktiv elementlari parametrlari.**

tirqishini orttirish kerakligini keltirib chiqaradi. Bu olov tegib turadigan tubi va silindr orasidagi zararli hajmning ko'payishiga olib keladi hamda, ayniqsa, dizellarda ishchi jarayonni yomonlashtiradi, ishlatilgan gazlarda zaharli tashkil etuvchilar miqdorini orttiradi.

Porshen tubining qalinligi δ uning kallagi elementlaridan zarur miqdordagi issiqlikning olib ketishini ta'minlashi talabidan kelib chiqqan holda belgilanadi. Tubining qalinligi ortishi bilan konstruksiyaning termik qarshiligi kamayadi, bu zichlovchi belbog' haroratining

5.1-jadval

Parametrlarning nomi	Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar	Dizellar
Porshenning balandligi, H/D	0,90...1,30	1,20...1,50
Porshen tubining qalinligi, δ/D	0,06...0,09	0,14...0,20
Issiqlik belbog'ining balandligi, h/D	0,07...0,08	0,15...0,20
Birinchi halqasimon tutashmaning balandligi, h_p/D	0,03...0,05	0,04...0,05
Porshen kallagi devorining qalinligi, s/D	0,05...0,10	0,05...0,10
Porshen pastki qismining balandligi, h_2/D	0,41...0,61	0,38...0,50
Porshen etagining balandligi, h_e/D	0,68...0,74	0,62...0,70
Porshen etagi devorining qalinligi, δ_3	1,50...4,50	2,00...5,00
Halqaning radial qalinligi, t:		
Kompression, t_k/D	0,040...0,045	0,040...0,045
Moy sidiruvchi, t_m/D	0,038...0,043	0,038...0,043
Halqaning balandligi, b, mm	1,5...4	3...5
Porshen ariqchasida halqaning radial tirqishi, Δt, mm		
Kompression	0,70...0,95	0,70...0,95
Moy sidiruvchi	0,9...1,10	0,90...1,10
Halqaning erkin va ish holatida qulfi tirqishlari qiymatlari orasidagi farq, S/t	2,5...4,0	3,2...4,0
Porshenning ichki diametri, d_1 mm	$D-2(s+t+\Delta t)$	
Porshendagi moy teshiklari soni, i_m	6...12	6...12
Moy kanalining diametri, d_m/b	0,30...0,50	0,30...0,50
Barmoqning tashqi diametri, d_b/D	0,24...0,28	0,34...0,38
Barmoqning ichki diametri, d_{ib}/d_b	0,65...0,75	0,50...0,70
Barmoq uzunligi, ℓ_b/D	0,85...0,90	0,85...0,90
Bobishkalar yon yuzalari orasidagi masofa, b/D	0,30...0,50	0,40...0,50
Bobishka diametri, d_b/D	0,30...0,50	0,40...0,50
Shatun kallagining uzunligi, a/D	0,28...0,45	0,28...0,32



5.6-rasm. **Kompression halqalar sonining turlicha bo'lishida labirint zichlamada bosimning o'zgarishi.**

tekislanishiga va pasayishiga, kompression halqalar ishlash sharoitining yaxshilanishiga olib keladi. Bu sababga ko'ra va haroratlarning mahalliy gradiyentlari miqdorini cheklash maqsadida porshen tubidan zichlovchi belbog'i va bo'rtig'i (bobishkasi)ga o'tish qismi, ayniqsa, dizel porshenlarida vazminroq qilib bajariladi.

Zamonaviy dvigatellarda samarali zichlikni ta'minlaydigan kompression halqalarning soni, odatda, ikkitadan ortmaydi (5.6-rasm). Halqalar sonining ko'p bo'lishi amaliy jihatdan silindr ichi bo'shlig'ining zichligini yaxshilamasdan ishqalanishdagi isrofning jiddiy darajada ortishiga olib keladi.

Moyning ortiqchasini bartaraf qilish va uni silindr ko'zgusi bo'yicha taqsimlash uchun avtotraktor dvigatellarida, odatda, bitta moy sidiruvchi halqa ishlatiladi. Balandligi kam bo'lgan dizel porshenlarida etagining pastki qismida joylashgan ikkinchi moy sidiruvchi halqa o'rnatiladi.

Halqalar orasidagi tutashmaning balandligi h_p halqa balandligiga teng qilib qabul qilinadi, bu ularning yetarlicha mustahkamligini ta'minlaydi. Birinchi va ikkinchi kompression halqalar orasidagi tutashma bundan mustasno, chunki u gazlarning katta bosimini qabul qiladi.

Moy sidiruvchi halqalar sidirib olgan ortiqcha moyning porshen orti bo'shlig'iga o'tkazish uchun moy sidiruvchi halqalar ariqchasining tubida 6...12 ta sizdiruvchi teshiklar parmalanadi. Bu teshiklarning diametri taxminan moy halqalari ariqchasining balandligiga teng.

Porshenning qayta joylashish jadalligini cheklash maqsadida barmoq o'qiga nisbatan uning ruxsat etilgan burchakli siljishini ta'minlash uchun etak balandligi h_e yetarlicha bo'lishi kerak.

Barmoq o'qining holati silindr ko'zgusida moy pardasining uzilishiga yo'l qo'ymaslik darajasida etakning balandligi bo'yicha N kuch bosimining bir tekis taqsimlanishini ta'minlash talabidan kelib chiqqan holda qabul qilinadi. Bu maqsadda barmoq o'qini iloji boricha porshen massasining

markaziga yaqinlashtirishga harakat qilinadi. Porshen etagining taxminan o'rtasiga barmoq joylashtirilganda qayta joylashish jadalligi kam bo'lishiga erishiladi. Bunga barmoq osti teshigining o'qini porshenning simmetriyasini bo'ylama o'qiga nisbatan uning yon sathini ko'proq yuklangan tomoni (0,02...0,03)D ga teng bo'lgan kattalikda siljitish ham yordam beradi. Bunda YUCHN doirasida silindrning bir devoridan boshqa devoriga harakatlanishining boshlanish payti yonish bosimining keskin ko'tarilish payti bilan mos kelmaydi.

Barmoqning berilgan diametrida bobishkalardagi teshiklarning uzunligi qabul qilinishi mumkin bo'lgan solishtirma bosim darajasini va demak, birikmaning yetarlicha yeyilishga chidamliligini ta'minlashi kerak.

5.1.2. PORSHEN VA SILINDR ELEMENTLARI ORASIDAGI TIRQISHLAR

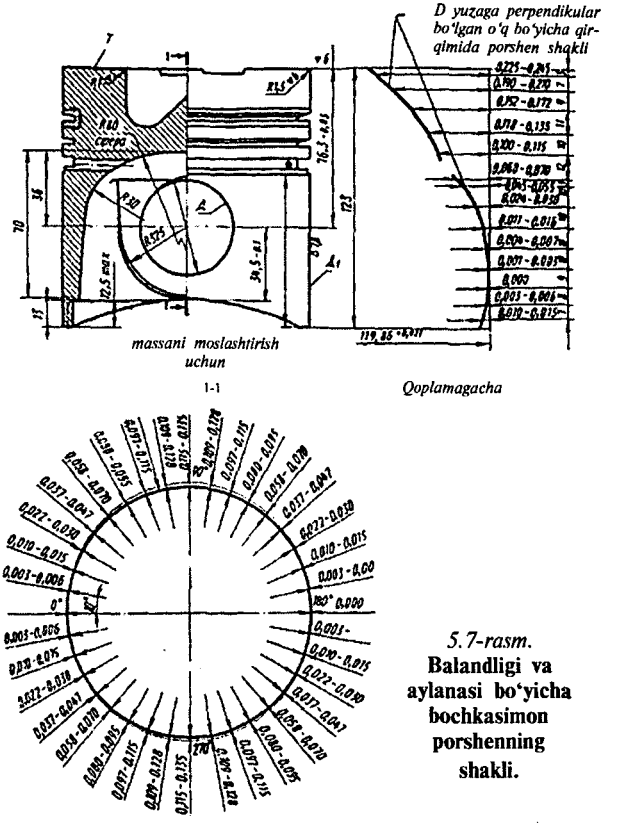
Qizigan dvigatelda porshen elementlari va silindr ko'zgusi orasidagi tirqishlar porshen guruhining ishlash qobiliyatiga va, shuningdek, umuman dvigatelning iste'mol sifatiga ham ta'sir qiluvchi parametrlaridan biri hisoblanadi. Tirqishlarning mavjud bo'lishi va ularning kattaligi silindr-porshen guruhi elementlarining mexanik hamda issiqlikdan yuklanganligiga, porshen elementlarining geometrik parametrlarining nisbatiga, ashyoning issiqlik – fizik xususiyatlariga, yig'ish tirqishlariga bog'liq.

Foydalanish rejimlarining turliligini barchasi uchun porshen-silindr tutashmasidagi tirqishlar kattaligini maqbullashtirish muammosi quyidagi ishlash holati bilan murakkablashadi. Aluminiy qotishmali porshenlarning chiziqli kengayish koeffitsiyenti po'latdan yoki cho'yandan tayyorlangan silindr gilzalarining chiziqli kengayish koeffitsiyentidan 1,5...2 marta ortadi. IYOD ning ishlashini turli rejimlarida porshenning issiqlik holati dvigatelni ishga tushirish va qizdirishda eng kam haroratidan ko'p yuklamali rejimlaridagi eng katta harakatigacha tez o'zgaradi, bu tutashmada tirqishlar sezilarli darajada o'zgarishi mumkin. Bu holat porshenning isishi va mexanik yuklamalarda uning elementlarining konstruksiyasi IYOD ishlashini barcha rejimlarida porshen elementlari va silindr orasida bir xil va (yetarlicha moylanishi sharoitidan kelib chiqqan holda) iloji boricha zarur bo'lgan eng kichik tirqishni ta'minlaydigan konstruksiyani barpo qilish kerakligini ko'rsatadi.

Qizigan dvigatel porshenining balandligi bo'yicha harorat taqsimlanishining o'ziga xos xususiyatini e'tiborga olgan holda porshen kallagini zichlovchi belbog'ining balandligi bo'yicha bir xil eng maqbul tirqishni ta'minlash uchun balandligi quyidagi shakllardan biriga o'xshash bajariladi: pog'onali, konussimon, lekal egri chizig'i bo'yicha o'zgaruvchan. Porshen yasovchisining eng maqbul shaklidan foydalanish issiqlikdan kuchlanishini 20% gacha kamayishini, shuningdek, shovqinni va moyni kuyishiga sarfini pasayishini ham ta'minlaydi (5.7-rasm).

Yonlama kuch N bilan yuklanadigan porshen etagi yon sathining ishchi qismi ko'ndalang kesimida 80...100° burchakli yoy bilan cheklangan (5.8-rasm). Etakning yonlama sathiga N kuchning ta'siri ostida, tubiga gazlar

bosimi, shuningdek, porshen kallagining notekis issiqlikdan deformatsiyalanishi natijasida bobishkalar doirasida etakning ishchi qismi barmoq o'qi yo'nalishida katta o'qqa ega bo'lgan oval shaklida deformatsiyalanadi. Bu hodisaning neytrallash uchun porshenni tayyorlashda porshen barmog'i o'qi bo'yicha kichik diametrli uning etagini ovalsimon qilish texnologiyasi ko'rib chiqilgan (5.7-rasmga qarang). Dvigatel ishlab qiziganidan so'ng etak o'zining shakli bo'yicha silindrsimon shaklga yaqinlashadi.

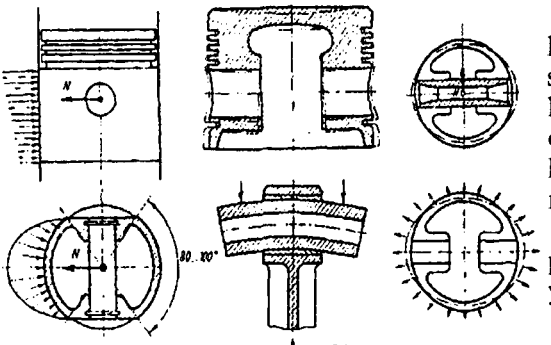


5.7-rasm. **Balandligi va aylanasi bo'yicha bochkasimon porshenning shakli.**

Moy sidiruvchi halqa ariqchasining tubi bo'yicha simmetrik joylashgan bir yoki ikki ko'ndalang kesik yordamida porshen kallagidan issiqlik oqimining kattaligini cheklash hisobiga etakning haroratini va demak, uning radial deformatsiyasini kamaytirish mumkin (5.3-rasmga qarang, 5-vaziyat). Biroq bunda kallak elementlarining issiqlikdan kuchla-nishi ortadi, shuningdek, porshen konstruksiyasining bikrligi ham kamayadi. Bu kesiklar ortiqcha moylarni olib ketish uchun sizdiruvchi teshik vazifa-sini ham bajaradi.

IYOD ish rejimlarini o'zgarishida silindr va etak orasidagi tirqishning termostabilizatsiyasi ayrim konstruksiyalarda porshenning ishchi yo'li paytida uning silindrga qisilmaydigan tomonida joylashgan vertikal kesik bilan amalga oshiriladi (5.3-rasmga qarang, 2-vaziyat). Bunda sovuq holatda tirqish yetarlicha kam barpo qilinadi, bu porshenning taqillashini va shovqinini bartaraf qilishga yordam beradi. Dvigatelning qizib borishida etak kengayadi, lekin tirqishni tanlashda porshenning qadalishi sodir bo'lmaydi, chunki etak diametrining kattalashishi kesik kengligining kamayishi bilan o'rni to'ldiriladi.

UO'OD larning ayrim porshenlarida ko'ndalang va bo'ylama kesiklarning birgalikdagi ko'rinishiga ega bo'lgan murakkab П va T simon kesiklar ishlatiladi.

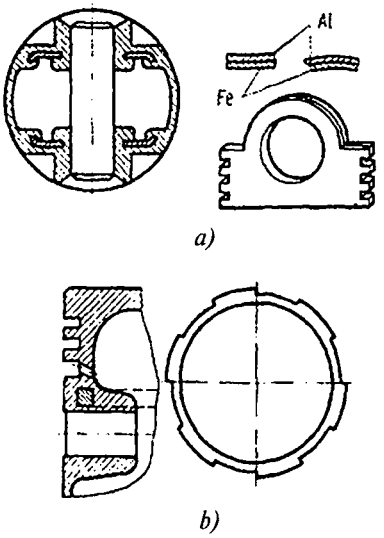


5.8-rasm. **Porshenning deformatsiyalanishi:** *a* – yonlama kuch *N* dan porshen yubkasiga bosimlar epyurasi; *b* – gazlar kuchi ta'siri ostida porshenning deformatsiyalanishi; *d* – issiqlik yuklamasi ta'siri ostida porshenning deformatsiyasi.

Etakning issiqlikdan kengayishini rostlashning samarali vositasi bo'lib, etakning yuqori qismiga o'rnatiladigan maxsus issiqlikni rostlovchi kirgizmalarni qo'llash hisoblanadi.

Quyidagi kirgizmali porshenlardan keng miqyosda foydalaniladi.

● **Avtotermik.** Porshenga etakni bobishka bilan bog'lab turadigan quyilgan devor bilan birgalikda ikkita po'lat tasma quyiladi (5.9-a rasm). Kallak va etak orasidagi ikki ko'ndalang kesik etak haroratini, shuningdek, kallakning deformatsiyasini uning shakliga ta'sirini ham pasa-yishini ta'minlaydi. Bimetallik devor isishida uning qatlamlarini chiziqli kengayish koeffitsiyentlarini farqi tufayli tashqari tomonga egiladi va etakning ishchi qismini ichki tomonga tortadi, shunday yo'l bilan chiziqli kengayish hisobiga uning diametrini kattalashish o'rni qoplanadi.



5.9-rasm. **Porshenlarning termorostlagichli kirgizmalari:** *a* – avtotermik turidagi ko'ndalang kirgizma; *b* – kleromatik turidagi halqasimon kirgizma.

● **Avtotermatik.** Konstruksiyasi avtotermikka o'xshash, biroq ko'ndalang kesiksiz kirgizmali. Tabiiy, bunday porshenlar yuqori bikrlikka ega va zichlovchi belbog'ining harorati past bo'ladi.

● **Kleromatik** yoki **konformatik.** Etakning yuqori qismiga doirasimon yoki to'g'ri burchak qirqimli po'lat halqa quyiladi (kam hollarda ikki yarim halqa) (5.9-b rasm). Asosiy metall bilan yaxshi ilashish uchun halqa aylanasi bo'ylab tishli yoki bobishka doirasida kengaytirilgan qilib bajariladi. Bunday tizim etakning yuqori qismi bikrligini orttiradi va shu bilan birga faqat ularning joylashgan tekisligida emas, etakning butun balandligi bo'yicha ham radial issiqlik deformatsiyasini cheklab qo'yadi.

● **Diotermatik.** Porshen etagiga figurasimon kirgizmalar quyiladi, ularning yuqori qirralari moy sidiruvchi halqalar ariqchasini yonlama sathigacha yetib boradi.

Ishlab moslashish jarayonini tezlatish, porshen etagiga yaxshi antifriksion va antiyeyilish sifatini berish, ishqorli muhitda zanglashdan saqlash uchun uning ishchi sathi oson eriydigan qalay, qo'rg'oshin, fosfat, grafitlar bilan qoplanadi. Moy sig'imini orttirish uchun etakning tashqi sathida relyef barpo qilinadi.

Qisqa yo'lli dvigatellarda etakning pastki qismi tirsakli val posangilarini o'tishi uchun kesikli qilib bajariladi.

Kam kuchaytirilgan dvigatellarda porshen massasini kamaytirish uchun porshen etagi noishchi doirasining mavjud bo'lmasligi mumkin. IYOD ning muvozanatlanganligini yaxshilash uchun porshenlar komplekti massasi bo'yicha tanlanadi. Ruxsat etilgan og'irligining turliligi, odatda, 0,5...1% dan ortmaydi. Porshenning massasi bo'yicha moslashtirish etakning ichki sathidan metallni olish bilan amalga oshiriladi.

5.1.3. MUSTAHKAMLIKNI VA UZOQQA CHIDAMLILIKNI ORTTIRISH BO'YICHA KONSTRUKTIV TADBIRLAR

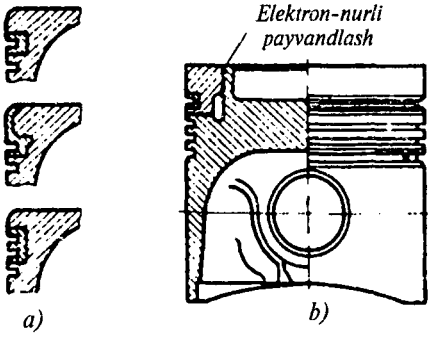
Porshen konstruksiyasining mustahkam bo'lmagan elementlaridan biri kompression halqaning yuqoridagi ariqchasi hisoblanadi, porshen ariqchasi ichida halqaning siljib ishqalanishi natijasida u yeyiladi. Ayrim ishlarda ariqcha devorlarini yemirilishida erozion jarayonlar bosh rol o'ynashi ko'rsatib o'tilgan. Porshenning bu elementini yeyilishi ayrim hollarda dvigatelning motoresursini belgilaydi. Bu nuqsonni bartaraf qilish uchun dvigatelsozlik amaliyotida qator konstruktiv tadbirlardan foydalaniladi, ularning asosiylari quyidagilar hisoblanadi:

- aluminiy qotishmasidan tayyorlangan porshen kallagiga yeyilishga chidamli ashyodan kirgizma joylashtiriladi (5.10-a rasm).

Kirgizma ashyosi sifatida yuqori yeyilishga chidamlilikka va issiqbardoshlilikka ega bo'lgan yeyilishga chidamli cho'yan (nirezist)(15...17% Ni, 5%Cr, 3% gacha Cu) yoki kuchsiz legirlangan po'lat ishlatiladi. Kirgizmaning quyib qoplash alfin-jarayonni ishlatish bilan bajariladi, uning mohiyati kirgizmaning tashqi sathini alitirlash, uni kokilga o'rnatish va asosiy metall bilan quyib qoplashdan iborat. Natijada kirgizma va porshen o'zagi orasida 0,02...0,03 mm qalinlikda aluminiyda temir ko'rinishida diffuzion metalluig bog'liqlik hosil bo'ladi. Bu usul ariqchaning yeyilishga chidamliligini 3...4 martaga orttirishga imkon beradi. Biroq bunda uning ultratovush defektoskopi (uning perimetri bo'yicha ulanmasligi 7% dan ortmasligi kerak) bilan o'rnatilish sifatining nazorat qilinishini zarurligi bilan bog'liq bo'lgan ishlab chiqarishdagi mehnat sarfi keskin ortadi. Umuman porshenning tayyorlashdagi mehnat sig'imi uning massasini 7...10% ko'payishida 50...60% ga ortadi.

Issiqlayin presslash usuli bilan tayyorlangan porshenlarda kirgizmalar halqa (bandaj) ko'rinishida bajariladi va porshen kallagiga elektron-nurli payvand bilan payvandlanadi (5.10-b rasm). Bunda bir vaqtning o'zida porshen kallagini sovitish maqsadida unda moy aylanishi uchun kanallarni shakllantirish muammosi texnologik eng maqbul hal qilinishi mumkin:

- yuqoridagi ariqchaning ustki qatlami sathining qattiqligi va issiqqa



5.10-rasm. **Porshen halqalarining yeyilishga qarshi kirgizmalari:**
a – kirgizmalarning turlari;
b – murakkab porshen bilan kirgizma.

chidamliligini orttirish uchun legirlovchi elementlarni kiritish maqsadida uning sathini qayta eritib mustahkamlash. Qayta eritish nikel, xrom, temirdan tayyorlangan kompozitsion simdan foydalanib bajariladi;

• porshenning yuqori ariqchasi va yonish kamerasi tarkibiga bo'shliqqa yo'naltirilgan aluminiy, nitrid va karbid kremniy oksidlaridan tayyorlangan keramik tolalarni kiritib uni kuchaytirish. Bunday porshenlar suyuq shtamplash usuli bilan tayyorlanadi. Usulning afzalligi, uning mexanik mustahkamligini, katta haroratlar ta'siriga chidamliligining yuqoriligi hisoblanadi, porshen konstruksiyasining material sig'imi va massasini orttirmasdan ariqchani yuqori yeyilishga chidamliligi ta'minlanadi;

• birinchi halqa ariqcha bilan birgalikda porshen kallagini emallash eroziyadan himoya qilishdan tashqari, ayniqsa, dizellarda porshen tubi orqali issiqlik oqimini kamaytirishga imkon beradi. Bu porshen va kompression halqalarning ishlash sharoitini jiddiy yaxshilaydi.

Porshenlarni konstruksiyalashda muhim muammolardan biri yuqoridagi kompression halqa doirasida haroratni cheklash hisoblanadi. Rossiyada ishlab chiqariladigan avtomobil va traktor dvigatellarida foydalaniladigan *B* va *Г* guruhidagi tovar moylar uchun 200°C dan yuqori haroratda yuqoridagi halqa ariqchasini kokslanishi bilan birgalikda uning harakatla-nishini yo'qolishi sodir bo'ladi. Bu moyning kuyishiga bo'ladigan sarfini keskin ortishiga olib keladi, shuningdek, halqalar orasidagi tutashmalar va kompression halqaning buzilishiga sababchi bo'lishi ham mumkin. Moyda maxsus qo'shilmalarni ishlatish bu doirada haroratni 240°C gacha yetkazishga imkon beradi, lekin bu muammoni radikal hal qilmaydi. Porshen-ning moy bilan sovitishni tashkil etish uning issiqlikdan kuchlanishini jiddiy darajada pasaytirishi oshirilishi mumkin. Biroq, bu porshen konstruksiyasining murakkablashishi bilan bog'liq va motor moyini eskirish muddatini qisqarishiga olib kelishi mumkin.

Loyihalash bosqichida porshen guruhining issiqlikdan kuchlanishini taxminiy baholashga bir qator parametrlar imkon beradi, ularning asosiylari quyidagilar hisoblanadi:

• Ginsburg mezoni – $N'_n = N_{en}/(iD) = 1{,}96 p_e c_p D$, bunda: N_{en} – nominal quvvat, kVt; i – silindrlar soni; D – silindr diametri, sm. Foydalanishda o'zini yaxshi tavsiya etgan avtotraktorlar dvigatellarining porshenlari

$N'_n = 1{,}5...2{,}5$ kVt/sm ga ega bo'ladi;

• to'rt taktli dvigatellar uchun Kostin mezoni – $q_p = 2{,}34 c_p^{0.5} (p_e g_e T_к / T_o)^{0.55} [D/(p_к \eta_v)]^{0.35}$, bunda: c_p – porshenning o'rtacha tezligi, m/s; p_e – o'rtacha samarali bosim, MPa, g_e – yonilg'ining solishtirma samarali sarfi, kg/(kVt·s); D – silindr diametri, dm; p_k va T_k – kiritishdagi bosim, MPa, va harorat, K; η_v – to'ldirish koeffitsiyenti. Avtotraktor dvigatellari uchun q_p=3,5...7,0;

• porshenning quvvati $N_p = N_{en} / iF_n$, bunda: F_p – porshenning yuzasi, m². Dizellarda N_p (0,22...0,30)·10⁴ kVt/m² dan ko'p bo'lganda porshenlarni moy bilan majburiy sovitishni tashkil etish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Zamonaviy IYOD *porshenlarini majburiy sovitish* quyidagi konstruktiv tizimlarning biri bilan tashkil etilishi mumkin:

1. Tirsakli valdan shatun sterjenidagi kanal bo'ylab shatunni yuqori porshen kallagiga keltiriladigan moy bilan porshen tubining ichki sathini oqimli purkash. Purkash shatunning yuqori kallagidagi kalibrlangan teshik orqali amalga oshiriladi (5.11-a rasm). Bu usul porshen tubi haroratini 15...20°C ga pasayishini ta'minlaydi. Silindrning pastki qismi doirasida dvigatel korpusiga qo'zg'almas qilib o'rnatilgan forsunka orqali purkashda katta sovitish samaradorligiga erishiladi. Bunda porshen tubining harorati 25...30°C ga pasayishi mumkin.

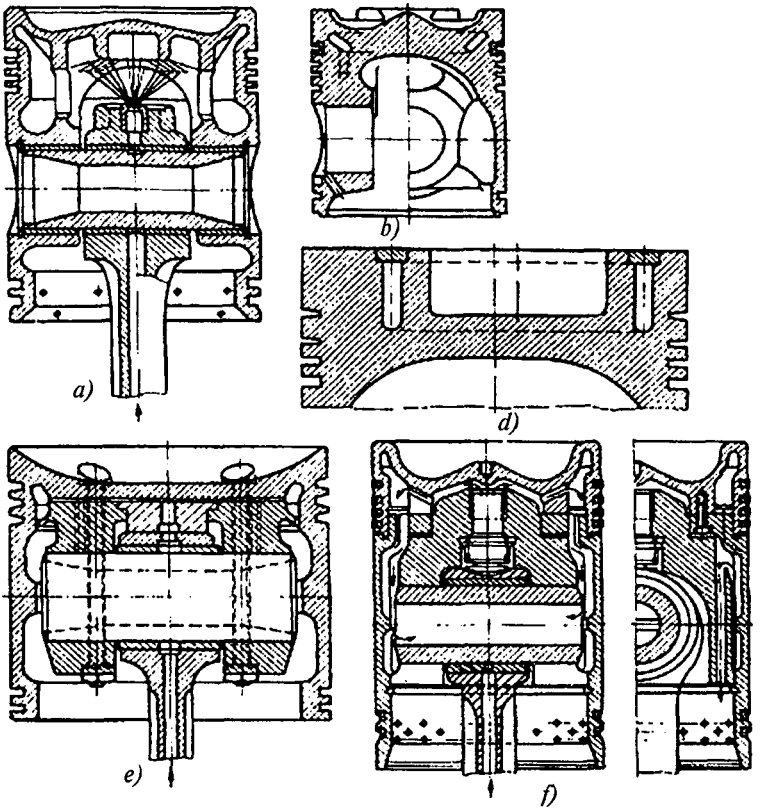
2. Porshen bo'shlig'iga shatun orqali moy keltirish. Bu bo'shliq porshenning harakatida moyni aralashishi va tubidan issiqlik olib ketilishini jadallashishi uchun 1/3 hajmi bo'yicha moy bilan to'ldirildi.

Bunday usul porshen tubining haroratini 30...40°C ga pasaytirishga imkon beradi.

Yaxlit quyilgan porshenlarda bo'shliq suvda eruvchan sterjenlar bilan quyish paytida shakllanadi (5.11-b rasm), tarkibli porshenlarda esa yoki kallakning o'zaro payvandlash yoki rezbali birikma yordamida biriktirilgan ikki elementlari ichki yuzalaridagi mos o'yiqlar hisobiga (5.10-b; 5.11-d rasmlar) (5.10-e, f rasm).

Porshenlar tubining konstruktiv shakli dvigatelning turiga, qabul qilingan aralashma hosil qilish usuli va yonish kamerasining shakliga qarab aniqlanadi. Tubi yassi bo'lgan porshenlar UO'OD da, shuningdek, ajratilgan yonish kamerali dizellarda keng tarqalgan. Bunday konstruksiya tubining kam qabul qiluvchanligini ta'minlaydi, shuningdek, tayyorlash texnologiyasini soddalashtiradi. Klapanlari yuqorida joylashgan UO'OD da qavariq (siqib chiqaruvchili) va botiq tubli porshenlar ham ishlatiladi. Hajm bo'yicha, devor yaqinida va hajmiy-devor yonida aralashma hosil bo'ladigan dizellarda yonish kamerasi porshen kallagida joylashadi. Uning geometrik parametrlari forsunkaning joylashishi, purkaladigan yonilg'i to'zonlarini soni va kamera hajmi bo'yicha taqsimlanishi bilan qat'iy muvofiqlashtiriladi.

Dvigatelning ishlash siklida porshen tubi bilan tegib turadigan ishchi jism harorati 2000...3000 K ga o'zgaradi, bunda *termik kuchlanishning konsentratori hisoblangan,* ayniqsa, yonish kamerasi qirralari *yorilishining*



5.11-rasm. **Majburiy sovitiladigan porshenlar:**
a – porshen tubini oqimli sovitish; *b, d, e* – porshenni bo'shliqli sovitish; (*b* – yaxlit metall porshenda bo'shliq; *d* – silindrsimon halqa bilan berkitilgan bo'shliq; *e, f* – tarkibli porshenning ikki elementi bilan shakllangan bo'shliq).

hosil bo'lishi bilan kuzatilishi mumkin. Bu hodisa bilan kurashish uchun dvigatelsozlik amaliyotida quyidagi texnik tadbirlar ishlab chiqilgan:

- klapan ostidagi cho'ntakni olib tashlash, yonish kamerasi qirralarini yoy shaklida bajarish va boshqalar hisobiga termik kuchlanishlar konsentratorlarini eng ko'p kamaytirish;
- yonish kamerasi qirralarining yuza qatlamini lazer bilan eritish;
- porshen tubining qirrasini va sathining yuza qatlamida misning oshirilgan miqdori bilan qattiq anodlash. Bu siljuvchanlikka qarshi yuqori chidamlilikli qattiq oksid qatlamini barpo qilishi tufayli issiqlik toliqishidan yoriqlar hosil bo'lishini 3...4 martaga sekinlashtirishga imkon beradi.

Nadduv bilan kuchaytirilgan dizellar uchun yonish kamerasi bo'shlig'ini quyidagi elementlar bilan mustahkamlaydigan porshenlar ishlatiladi: qora metalldan, metall asosli aluminiy titanati tolasi bilan to'ldirilgan kukunsimon va kompozitsion ashyolardan tayyorlangan ekranlar va kirgizmalar, aluminiy, nitrid, kremniy karbid oksidi (umumiy hajmga

nisbatan 10...20%) keramik tolalar bilan yonish kamerasi qirralari zonali armaturlangan porshenlar. Bu tadbirlar porshen tubi elementlarining 2...3 karraga ortgan mustahkamligini olishga imkon beradi.

Termomustahkamligini orttirish uchun tarkibli porshenlar ishlatiladi, ularning kallagi va tubi keyinchalik toblash bilan po'latdan, sharsimon grafitli cho'yandan yoki keramikadan tayyorlanadi (5.12-rasm). Biroq bunda tarkibli porshenlarning massasi aluminiy qotishmasidan tayyorlangan monometalliklarga qaraganda taxminan 30% ko'p bo'lishini e'tiborga olish kerak.

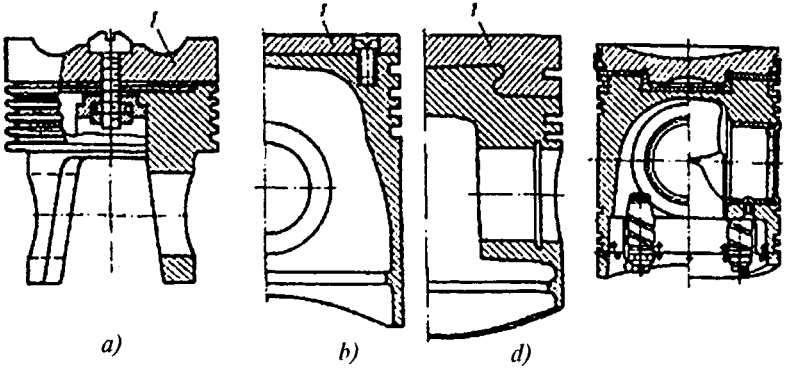
Porshen bobishkalari. Porshenning ko'proq yuklangan elementiga bobishka kiradi. Gazlarning bosim kuchi ta'siri ostida porshenning deformatsiyalanishi bobishkalar va porshen barmog'i tayanch sathlarining parallelligini buzadi, shu bilan bog'liq holda barmoq osti bobishkalaridagi teshiklarning qirralarida kuchlanishning katta konsentratsiyasi sodir bo'ladi (5.13-a rasm). Bu hodisa yuqori sinf aniqligi yetarlicha bo'lmasligi bo'yicha teshikka ishlov berishda chuqurlashadi, bu tayanch sathlarda yoriq hosil bo'lishiga sabab bo'lishi mumkin.

Porshen bobishkasining ko'tarish qobiliyatini orttirish muammosi, asosan, tegib turish bosimlarini pasaytirish bilan hal qilinadi, bu quyidagi konstruktiv tadbirlar bilan ta'minlanadi:

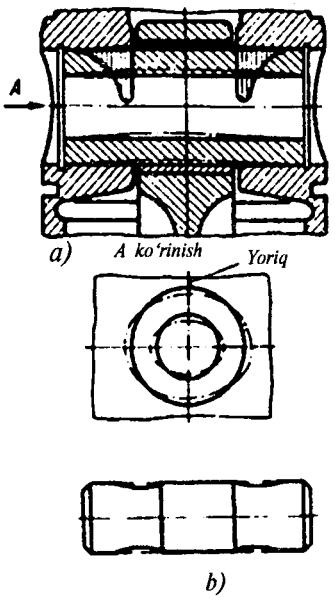
- tayanch sathlarining perimetri bo'yicha solishtirma bosimlarni kamaytirish bilan bu ishchi siklning turli fazalarida tutashmalarning moylash sharoitini yaxshilashga yordam beradi. Bu vazifa shatunning yuqori kallagini trapetsiyasimon shakli bilan birgalikda (5.12-a,d rasm) bobishkalarning yon yuzalarini qiya qilib bajarilishida radikalroq yechiladi.

Bunda bobishkaning tayanch sathi yuqori qismini yuzasi pastkisidan ko'p bo'ladi, bu ushbu doiradagi bosimning 15...40% ga kamayishini ta'minlaydi;

- barmoqning tashqi sathi shaklini uning yuklanishida bobishka bilan tegib turadigan uchastkasini egilish chizig'iga muvofiq keladigan qilib profillash bilan (5.13-*b* rasm). Bu porshen bobishkasining ko'tarish



5.12-rasm. **Tarkibli porshenlarning birikish variantlari:**
a – markaziy bolt bilan; *b* – periferiysi bo'yicha vintlar bilan;
d – maxsus bobishkalar bilan.



5.13-rasm. **Porshen bobishkasining yuklamasi va deformatsiyasi:** a–porshen bobishkalarida deformatsiya va kuchlanish; b–porshen barmog'ini profillash.

qobiliyatini 40% gacha orttirishga imkon beradi.

Bobishkalarning tayanch sathlarini ichki qirralari doirasida profillash bilan ham shunga o'xshash samarani olish mumkin, biroq bu porshenning tayyorlash texnologiyasini jiddiy murakkablashishi bilan bog'liq;

- bobishkalar teshiklarining tashqi qirralarini doirasimon (soddalashgan variant bo'yicha faska bilan) qilib bajarish bilan. Bu kuchlanishlar konsentratsiyasini 40% gacha kamaytirishga imkon beradi;
- barmoq ostidagi teshiklarga yumshoq ashyolardan (aluminiy-mis qotishmalari, aluminiyli bronza, kukunli ashyolar) tayyorlangan vtulkalarni joylashtirish bilan. Barmoq va bobishka orasida elastik elementni mavjudligi ularning yorilishga chidamliligini 30...50% ga orttirishga imkon beradi;
- pitraoqim bilan ishlov berish yoki rolik g'ildiratish bilan bu bobishkaning ichki sathi toliqish mustahkamligini orttirish (8...20%) ga yordam beradi va sathda cho'zuvchi kuchlanishni paydo bo'lishiga to'sqinlik qiladi;
- porshenning chala mahsulotini evtektikaviy silumindan shtamplash usulida tayyorlash bilan bu bobishkalarni darz ketishiga chidamliligini 15...26% orttiradi.

5.1.4. PORSHENLARNING ASHYOLARI VA TAYYORLASH TEXNOLOGIYASI

Hozirgi paytda avtotraktor IYOD larining porshenlarini tayyorlash uchun asosan, aluminiy qotishmalari, kamdan kam kulrang yoki bolg'alash cho'yani, shuningdek, kompozitsion ashyolar ham ishlatiladi.

Aluminiy qotishmalari kam zichlikka ega, bu porshen massasini kamaytirishga va demak silindr-porshen guruhi hamda KSHM elementlariga tushadigan inersiya yuklamasini kamaytirishga imkon beradi. Bunda porshen elementlarining termik qarshiligini kamaytirish muammosi ham soddalashadi. Bu ashyoga xususiyatli bo'lgan yaxshi issiqlik o'tkazuvchanligi bilan birgalikda porshen guruhi detallarining issiqlikdan kuchlanishini kamaytirishga imkon beradi. Aluminiy qotishmalarining afzal sifatiga cho'yan yoki po'lat gilzalar bilan juftlikda ishqalanish koeffitsiyenti miqdorining kamligini kiritish mumkin.

Biroq, aluminiy qotishmasidan tayyorlangan porshenlar bir qator

kamchiliklarga ega, ularning asosiylari bo'lib, haroratning ortishi bilan kamayadigan yuqori bo'lmagan toliqish mustahkamligi, chiziqli kengayish koeffitsiyentining yuqoriligi, cho'yandan yasalgan porshenlarga qaraganda yeyilishga chidamliligining kamligi, nisbatan narxining yuqoriligi hisoblanadi.

Hozirgi paytda porshenlarni tayyorlashda siluminlarning ikki turidan foydalaniladi: 11...14% kremniy tashkil etgan evtetikli va 17...25% tashkil etgan evtektikadan keyingi.

Qotishmada Si ning miqdorini ortishi chiziqli kengayish koeffitsiyentini kamayishiga, issiqlik va yeyilishga chidamliligini ortishiga olib keladi, lekin bunda uning quyma sifati yomonlashadi va ishlab chiqarish narxi ortadi.

Siluminlarning fizik-mexanik xususiyatlarini yaxshilash uchun ularga turli legirlovchi qo'shilmalar kiritiladi. Aluminiy-kremniyli qotishmaga 6% gacha misni qo'shish toliqish mustahkamligini orttirishiga olib keladi, issiqlik o'tkazuvchanligini yaxshilaydi, quyma sifatining yaxshi bo'lishini va demak, tayyorlash narxining kam bo'lishini ta'minlaydi. Biroq bunda porshenning yeyilishga chidamliligi birmuncha pasayadi. Legirlovchi sifatida natriy, azot, fosfat kabi qo'shimchalardan foydalanish qotishmaning yeyilishga chidamliligini orttiradi. Nikel, xrom, magniy bilan legirlash konstruksiyaning issiqqa chidamliligini va qattiqligini orttiradi.

Aluminiy qotishmasidan porshenlarning chala mahsulotini kokilga quyish yoki issiq shtamplash yo'li bilan olinadi. Mexanik ishlov berilganidan so'ng qattiqligi, mustahkamligi va yeyilishga chidamliligini orttirish uchun, shuningdek, foydalanishda tob tashashining oldini olish uchun ham ularga termik ishlov beriladi. Bolg'alangan porshenlar quymaga qaraganda kam ishlatiladi.

Porshenlar uchun ashyo sifatida *cho'yan* aluminiy qotishmasiga qiyosan quyidagi afzal xususiyatlarga ega: yuqori qattiqligi, yeyilishga chidamliligi, issiqbardoshliligi, gilza ashyosi bilan bir xil chiziqli kengayish koeffitsiyentiga ega bo'lishi. Oxirgisi porshen etagi-silindr bo'g'imida ish rejimlari bo'yicha tirqishni jiddiy kamaytirish va stabillashtirishga imkon beradi. Biroq, zichligini ko'pligi katta tezlikda aylanadigan avtomobil dvigatellarining porshenlari uchun uni keng ishlatishga imkon bermaydi. Bu kamchilik cho'yan tarkibiga sharsimon grafitni kiritish bilan qisman nivelirlanishi mumkin, bu porshen elementlari qalinligini anchaga kamaytirib quyishga imkon beradi. Yuqorida aytilganlardan kelib chiqqan holda siluminlar, cho'yan porshenlarni tayyorlashda eng maqbul ashyolardan bo'lib hisoblanmaydi.

Bunga bog'liq holda hozirgi paytda porshenlar uchun *keramik ashyolardan* foydalanish bo'yicha faol ish olib borilmoqda, ular porshen guruhi ashyolariga qo'yilgan talablarga eng yaxshi holda javob beradi. Bu yuqori mustahkamlikda zichligini kamligi, termo-, kimyo va yeyilishga chidamliligi, kam issiqlik uzatuvchanligi va chiziqli kengayish koeffitsiyentining zarur qiymati.

Keramikalardan foydalanishning amaliy usullaridan biri porshen detallarini metall yoki polimerokompozitsion ashyolaridan tayyorlashdan iborat. Birinchi tur ashyolarning asosi bo'lib, aluminiy yoki magniy hisoblanadi, to'ldiruvchi sifatida keramik va metall kukunlaridan yoki

havoli ashyolar tolasidan foydalaniladi. Polimerokompozitsion ashyolarining asosi bo'lib, uglerod, shisha, metall yoki keramika kukunlari tolalaridan bo'lgan to'ldirgichli polimer ashyolari tashkil etadi. Ular kam zichlikka, yuqori antifriksion xususiyatga ega va issiqlik yuklamasi ko'p bo'lmagan elementlar, masalan, porshen etagini tayyorlash uchun qo'llaniladi.

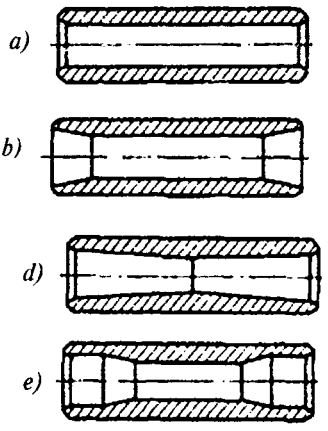
Porshen elementlarini aluminiy oksidi $A\ell_2O_3$ va kremniy dioksidi SiO_2 dan tayyorlangan keramik tola bilan armaturalash kelajak hisoblanadi. Asosiy ashyoda 40–50% gacha $A\ell_2O_3$ tashkil etganda 1200...1300°C da muvaffaqiyat bilan ishlaydigan diametri 2–3 mkm li amorf keramik tola olinadi. Agar $A\ell_2O_3$ ning miqdori 70% dan ortib ketsa, kristallikka yaqinlashgan strukturali tola olinadi, bu mahsulotning yuqori termik stabillashishiga yordam beradi.

Keramikalarning avtotraktor dvigatellarining porshenlarini tayyorlash uchun keng qo'llanilishiga to'siq bo'lib turgan asosiy muammolar uning mo'rtligi, egilishga mustahkamligini kamligi, darz hosil bo'lishi va toliqishga moyilligi, shuningdek, narxining yuqoriligi hisoblanadi.

5.2. PORSHEN BARMOG'I

Porshen barmog'ini konstruksiyalashda asosiy muammo konstruktiv massasini va ishlab chiqarishdagi xarajatning eng kam bo'lishida yuqori toliqish mustahkamligini, bikrligini hamda yeyilishga chidamliligini ta'minlashga olib keladi.

Avtotraktor dvigatellarining ko'pchilik konstruksiyalarida quvursimon shakldagi oddiy barmoqlar ishlatiladi (5.14-*a* rasm). Biroq bir qator konstruksiyalarda yuqori mustahkamligini saqlab qolgan holda massasini kamaytirish uchun egilishga teng mustahkam bo'lgan kesimi balka ko'rinishidagi barmoqlar tayyorlanadi (5.14-*b* rasm).



5.14-rasm. **Porshen barmoqlarining asosiy konstruktiv yechimlari:** *a* – quvursimon; *b, d, e* – ichki sathi konusli teng mustahkam.

Ilgari ko'rsatib o'tilganidek, barmoqning tashqi sathini profillash bo'rtmalar sathlarida yuqori solishtirma bosimning bartaraf qilish imkoniyatini e'tiborga olgan holda amalga oshiriladi. Bunga uning yon yuzalarida rah hosil qilish ham yordam beradi.

Bir vaqtda barmoqning toliqish mustahkamligi va uning tashqi sathini yeyilishga chidamliligini birgalikda amalga orttirish uchun mos kelgan ashyoni tanlash, shuningdek, termokimyoviy (yuqori chastotali tok bilan toblash, sementatsiyalash), texnologik (silliqlash, yaltiratish) usullarida sathini mustahkamlash bilan ta'minlanadi.

UO'OD larning barmoqlari o'rtacha uglerodli 45 va 45XA po'latlardan tayyorlanadi. Ularning tashqi sathlari qattiqligi HRC 52...60 bo'lishi uchun yuqori chastotali tok bilan 1,0...1,5 mm qalinlikda toblanadi. Katta mexanik yuklamalarda ishlaydigan dizellar va UO'OD lar uchun 1,0...1,7 mm qalinlikda sementitlangan legirlangan po'latlar 15X, 15XA, 18X2H4MA va 12XH3A ishlatiladi. Ularning tashqi sathlarini qattiqligi HRC 56...65 ga erishadi. Barmoqning ichki sathi bo'yicha qo'shimcha sementitlash uning toliqish mustahkamligini 15...20% ga, azotlash esa 35...45% ga oshirishga imkon beradi.

5.3. PORSHEN HALQALARI

Porshen halqalarining vazifasi zichlash belbog'i elementlari bilan birgalikda halqalar tizimining labirint zichlashni paydo qilishi hisobiga porshen usti bo'shlig'ini jipslash hisoblanadi. Ular orqali porshendan silindr devorlariga issiqlikning asosiy qismini olib ketish amalga oshiriladi.

Porshen guruhining konstruksiyasi bir vaqtda zichlash tizimiga silindr devoridan yonish kamerasiga haddan tashqari ko'p moy tushishining cheklash talabini qo'yadi. Labirint zichlash nasosli ta'sirga ega, ya'ni tirqishdan yonish kamerasiga moyni tortishga yordam beradi. Shuning uchun porshen konstruksiyasida porshen-silindr tirqishidan ortiqcha moyni chetlatish bo'yicha tadbirni va uni silindr ko'zgusi bo'ylab eng maqbul taqsimlanishini nazarda tutish kerak.

Halqalarning bu ikki vazifasi – labirint zichlikni barpo qilish va yonish kamerasiga moy tushishini cheklash konstruktiv alohida-alohida hisoblanadi. Silindr ichki bo'shlig'ini jipslash uchun kompression halqalar, bo'g'imning moylash rejimini rostlash uchun moy sidiruvchi halqalar xizmat qiladi.

Avtotraktor dvigatellarida ko'proq tarqalgan *kompression halqalarning* konstruksiyalari 5.15-rasmda keltirilgan.

- *Ko'ndalang kesimi to'g'ri burchakli halqalar* tayyorlashda sodda, ishchi sathi bo'yicha silindr devori bilan katta tegib turish yuzasiga ega, bu porshen kallagidan sovitish tizimiga issiqlik olib ketilishini yaxshi bo'lishiga yordam beradi. Lekin ishchi sathining silindr devoriga ishlab moslanishini qiyinligi uning kamchiligi hisoblanadi.
- Silindr ko'zguzisiga ishchi sathlarining qiyalik burchagi 15...30° bo'lgan *ishchi sathi konussimonli halqa («minutli»)* ishchi qirrasida yuqori bosim bo'lganligi tufayli tezlik bilan ishlab moslanadi, so'ngra to'g'ri burchak kesimli halqaning sifatiga ega bo'ladi (5.15-b rasm). Biroq bunday halqalarni ishlab chiqarish murakkabroq.
- To'g'ri burchakli va konussimon kesimli halqalarning afzalligi va kamchiligi ko'p jihatdan buraluvchi (torsion) halqalar konstruksiyasiga birlashtirilgan (5.15-d, e rasm). Bunday halqalar erkin holatida kesimining yuqori doirasini kuchsizlantiradigan yo'nilgan chuqurchali to'g'ri burchakli kesimga ega bo'ladi.

Bunday halqalar ishchi holatida kesimining yuqori doirasida ko'p deformatsiyalanishi hisobiga «buraladi» va uning ishchi sathi «minutli» halqa

holatidagi kabi ko'zgu bilan kontaktda bo'ladi. Bu uning tezda ishlab moslashishiga yordam beradi. Biroq bunday halqalar ariqchalar devori bilan yomon kontaktda bo'ladi, bu ular orqali porshen kallagi va silindr devori orasidagi issiqlik almashuvini qiyinlashtiradi.

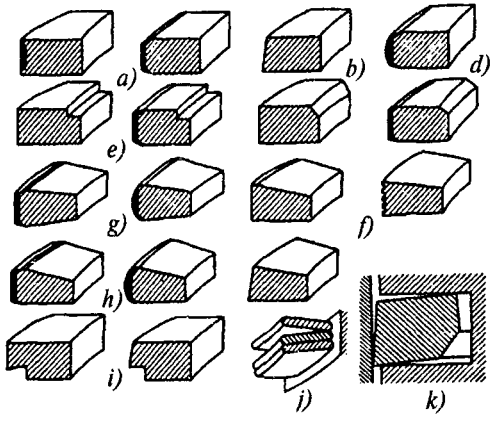
• Halqaning bochkasimon ishchi sathi (simmetrik yoki nosimmetrik) porshen yo'li bo'yicha moyning eng maqbul taqsimlanishini ta'minlaydi, halqani silindr bilan qirrali kontaktda bo'lishini va demak, porshenning qayta joylashishida moy pardasining uzilishini bartaraf qiladi. Bunday halqa silindr ko'zgusiga tez va yaxshi ishlab moslanadi (5.15-d rasm).

• Ko'ndalang kesimininig bir tomoni yoki ikki tomoni trapetsiya ko'rinishidagi va ishchi sathi to'g'ri burchakli yoki bochkasimonli halqalar ariqchalari doirasida yuqori haroratlar bo'lganida ham kuyishga yaxshi qarshi tura oladi (5.15-g, h rasm). Qayta joylashishida porshenning o'q chiziq yo'nalishida va radial harakatlanishi halqalarning yon yuza sathlari hamda porshen ariqchalari orasidagi tirqishni o'zgarishiga olib keladi, bu ariqchada moyning turib qolishini bartaraf qiladi, hosil bo'lgan qurum uzluksiz ishqalanib yeyiladi va tirqishdan yuvib chiqariladi. Bir tomoni trapetsiyali halqalarning nosimmetrikligi tufayli ular torsion halqalarning barcha xususiyatlariga ega bo'ladi.

• Qisqichli halqalarning ishchi sathini pastki qismida yo'niq ko'rinishidagi konussimon qiya uning yuzasini kamayishiga va binobarin, silindr ko'zgusiga halqaning radial bosimini ortishiga olib keladi (5.15-i rasm). Bunday halqa kompression halqaligicha qolib, qisman moy sidiruvchi halqaning vazifasini bajarishi mumkin.

• Pastki kompression halqa ba'zan pastki qismi kesimida kuchsizlantiruvchi yo'niq joylashishi va ishchi sathlarining bir vaqtda qiyalanishi tufayli teskari buralishi bilan torsion qilib bajariladi (5.25-k rasm). Ishchi holatida uning buralishida silindr bilan pastki qirrasi bo'yicha kontakt ta'minlanadi. Vazifasining sifati bo'yicha u qisqichli halqaga yaqinroq.

Moy sidiruvchi halqalarning konstruksiyasi devordan ortiqcha moyni yaxshi sidirib olishni, shuningdek, uni silindr ko'zgusi bo'yicha o'zgarmas



5.15-rasm. **Birinchi kompression halqalarning asosiy konstruktiv yechimlari:**
a – to'g'ri burchakli profil; *b* – konussimon ishchi sathli; *d* – bochkasimon ishchi sathli; *e, f* – ichki yo'nig'i to'g'ri burchakli o'yilgan yoki qiya bo'lgan to'g'riburchak profilli; *g, h* – simmetrik va nosimmetrik trapetsiya ko'rinishida ko'ndalang kesimli; *i* – qisqichli; *j* – o'ralgan po'latli; *k* – teskari torsionli.

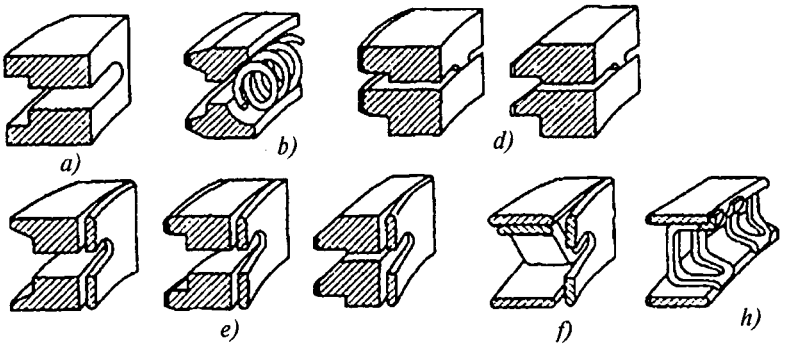
qalinlikda taqsimlanishini ta'minlashi kerak. Halqa va silindr orasidagi kontakt bo'lgan joylarda 0,003...0,012 mm qalinlikdagi moy pardasi barcha ish rejimlarida saqlanib qolishi kerak. Moy sidiruvchi halqaning silindr ko'zgusidan ichkariga haddan tashqari «siqilishi» va uning moy pardasi ustiga qalqib chiqishini bartaraf qilish uchun u silindr devoriga yuqori radial bosimni ta'minlashi kerak. Hozirgi paytda avtotraktor dvigatellarining konstruksiyasida moy sidiruvchi halqalarning quyidagi turlari keng qo'llanilgan (5.16-rasm):

- bilaguzuk turidagi o'ralgan silindrsimon prujinali kengaytirgichli monolit cho'yanli moy sidiruvchi halqa yuqori elastikligi bilan xarakterlanadi va halqa balandligi bo'yicha bosimning bir tekis taqsimlanishini ta'minlaydi (5.16-*b* rasm). Halqaning ichki sathi yarim doira ko'rinishida yoki V simon qilib bajariladi. Birinchi holatda prujina tezda ishlab moslanadi, biroq u sizdirish darchasi yuzasining bir qismini berkitib qo'yishi mumkin. Bunday halqalarning ishchi belbog'lari orasida moy yig'ish uchun ariqcha – idish (rezervuar) mavjud, uning porshen orti bo'shlig'iga olib ketish porshendagi sizdirish teshigi orqali amalga oshiriladi. Halqaning bu turi deyarli barcha avtomobil dizellarida va uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarning taxminan uchdan birida ishlatiladi. Ko'pga chidamliligini orttirish uchun halqalarning ishchi belbog'lari xromlanadi;
- ikki halqasimon plastinalar va kengaytirgichlardan (o'q chiziq yo'nalishli va radial yoki tangensial) tashkil topgan po'latdan tayyorlangan tarkibli (yig'ma) xromlangan moy sidiruvchi halqalar, asosan, uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda foydalaniladi (5.16-f, h rasm). Ariqchada tayanch halqalarning talab qilingan eng maqbul holatini ta'minlaydigan tangensial kengaytirgichli halqalar samaraliroq (516-f rasm). Kengaytirgichlar o'zining xususiy elastikligi hisobiga halqaning eng kichik radial qalinligida devorga beradigan bosimini orttirishga imkon beradi. Bunday halqa elastikroq, uning silindr devoriga bo'lgan solishtirma bosimi tayanch halqalarning yeyilish miqdoriga kamroq bog'liq;
- bir ariqchaga o'rnatiladigan qisqich turidagi ikki halqali tizim (5.16-b rasm) (bunda yuqoridagi halqa sidiruvchi kesikka ega) halqalarning «bog'liqsiz» ishlashini xarakterlaydi, bu birmuncha qiyshayish bilan porshenning harakatida ularning ishlab turishini yaxshilaydi.

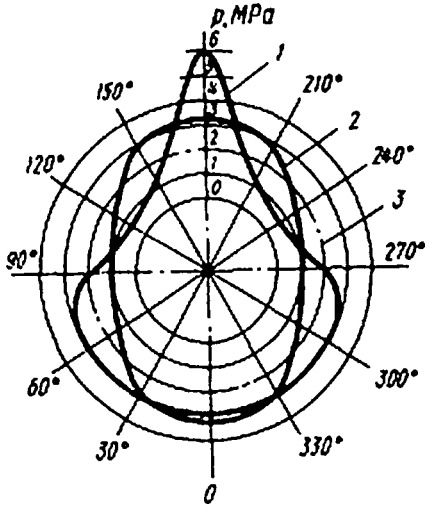
Porshen guruhining ishlari sifatli bajarilishi faqat alohida halqalarning yuqori samarali konstruksiyasi bilangina emas, ularning tizimini to'g'ri tanlanishi bilan ham erishilishi mumkinligi o'rnatilgan.

Yuqoridagi kompression halqaning ishchi sathi, odatda, bochkasimon to'g'ri burchak kesimli, pastdagisi esa qisqichli, torsionli yoki minutli bo'ladi.

Yuqori kuchaytirilgan dizellarda birinchi kompression halqaning ariqchasi doirasida haroratni moyning kokslanish haroratidan past haroratda ta'minlab turish murakkab bo'lganligi tufayli birinchi kompression halqa sifatida ikki tomoni trapetsiyali halqa ishlatiladi (barcha modellarning 75% gachasi). Dizellarning pastki kompression halqasi to'g'ri burchak kesikli (40% gacha), qisqichli (35% gacha) va kamdan kam ikki tomoni trapetsiyali ko'rinishidagi kesikli (25% gacha).



5.16-rasm. **Moy sidiruvchi halqalarning asosiy konstruktiv yechimlari:**
a – kengaytirgichsiz qutisimon turdagi; *b* – o'ralgan prujina kengaytirgichli qutisimon turdagi; *d* – ikki qirg'ichli halqa; *e* – radial kengaytirgichli qutisimon turdagi; *f* –radial va o'q bo'yicha kengaytirgichli; *h* – tangensial kengaytirgichli.

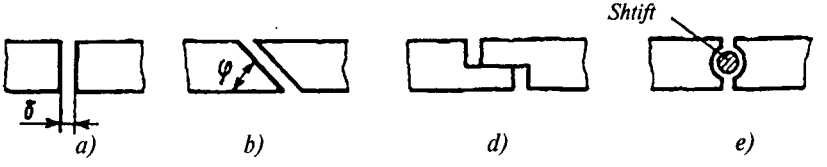


5.17-rasm. **Aylana bo'yicha silindr ko'zgusiga halqa radial bosimining epyurasi:**
1 – noksimon; *2* – tuxumsimon; *3* – o'rtacha radial bosim.

Foydalanish jarayonida halqa o'zining elastikligini aylanasi bo'yicha notekis yo'qotadi. Birinchi galda mahalliy kuydirib yumshati-lishi tufayli qulfi doirasida halqa-ning elastikligini yo'qolishi sodir bo'ladi. Halqa bu doirasida silindr-ning sovuq devori bilan yomon kontaktlanadi, kuydirib yumshatish jarayoni elastikligini yo'qolishi bilan keskin tezlashadi va halqa ishdan chiqadi.

Bu tufayli halqaning perimetri bo'yicha silindr ko'zgusiga uning bosimining epyurasi zamonaviy dvigatellarda notekis. Katta solishtirma bosimi qulfi doirasida nazarda tutiladi, bu uning elastikligi yo'qolishini kamaytiradi va foydalanish davrini uzaytiradi (5.17-rasm).

Kompression halqa qulflarining shakli to'g'ri burchakli, qiya va



5.18-rasm. **Halqalar qulflarining shakllari:**
a – to'g'ri burchakli; *b* – qiya; *d* – pog'onali; *e* – ikki taktli dvigatel uchun shtiftli.

pog'onali bo'lishi mumkin (5.18-rasm). To'g'ri burchaksimon qulf tayyorlash soddaroq hisoblanadi, lekin sanab o'tilgan qulflar ichida yomon gaz zichlovchi xususiyatiga ega, biroq ularning tezyurar dvigatellarda ishlatishda ish sifatiga kam ta'sir qiladi.

Porshen halqalarining ashyosi sifatida, asosan, maxsus kulrang yuqori mustahkamlikka ega bo'lgan cho'yan ishlatiladi, u ishchi haroratda ishlash muddati davomida yuqori darajada stabillashgan mustahkamlik va elastiklikka, chegara ishqalanish sharoitida yuqori yeyilish chidamliligiga, yuqori antifriksion xususiyatga, silindr sathiga yetarlicha tez va samarali ishlab moslashish qobiliyatiga ega. Legirlovchi qo'shimcha Cr, Ni, Mo, W lar uning issiqqa chidamliligini 340°C gacha orttirishga yordam beradi. Uglerodning ko'p qismini plastinkali grafit ko'rinishdaligi porshen halqasining adsorbsiyalash va moylash sifatini orttirishga yordam beradi, shuningdek, kuchlanishlar konsentratorlariga uning sezgirligini kamaytiradi.

Porshen halqalarining tayyorlash texnologiyasi uning erkin holatida shaklini shunday ta'minlashi kerakki, ishchi holatida zarur bo'lgan bosim epyurini hosil qiladigan bo'lsin. Zamonaviy halqalar mexanik ishlov berish uchun eng kam pripusk (qo'shimcha ishlab berish uchun ajratilgan joy) bilan yakka tartibda quyiladi va so'ngra nusxakashda ishlov beriladi. Toblash va toblab bo'shatishdan so'ng ularda qulf kesiladi. Halqaning sathlarini oxirgi silliqlanishi yeyilishga chidamli ashyo purkalganidan so'ng amalga oshiriladi.

O'ralgan halqa va moy sidiruvchi halqaning kengaytirgichi yaltratilgan tasma po'latdan tayyorlanadi.

Halqaning ishchi sathini ishlab moslanishini yaxshilash, yeyilishga chidamliligini orttirish va zanglashdan himoya qilish uchun u maxsus g'ovak xrom bilan qoplanadi (5.15-rasmga qarang). Bunda xrom qatlamining qalinligi 0,25 mm gacha bo'lganda halqaning ishchi sathi eng maqbul qattiqlikka erishadi.

Ishchi sathini molibden bilan suyultirib qoplash plazma oqimida yoki changlatish halqalarining zamonaviy konstruksiyasi deb hisoblanadi. Bunday qoplama molibdenning erish haroratini yuqoriligi tufayli va qoplashda uning g'ovak strukturasini olinishi «kuyishni» samarali oldini oladi. Ishqalash natijasida hosil bo'ladigan molibden oksidi yaxshi moylash xususiyatiga ega bo'ladi.

«Ishlab moslanish» qoplamasini barpo qilish va ishqorli muhitda halqaning zanglashdan himoya qilish uchun ayrim hollarda kompression halqalarning ishchi sathlarini, birinchisidan tashqari qalaylash yoki fosfatlashdan foydalaniladi.

5.4. PORSHEN HISOBI

Loyihalashda porshenning geometrik parametrlari empirik bog'liqliklar va 5.1-jadvalda keltirilganlarga o'xshash statik ma'lumotlar asosida qabul qilinadi. So'ngra porshen elementlarining mustahkamligi va yeyilishga chidamliligi bo'yicha tekshirib hisoblash amalga oshiriladi.

Barcha mexanik va issiqlik yuklamalardan porshenning harorat may-

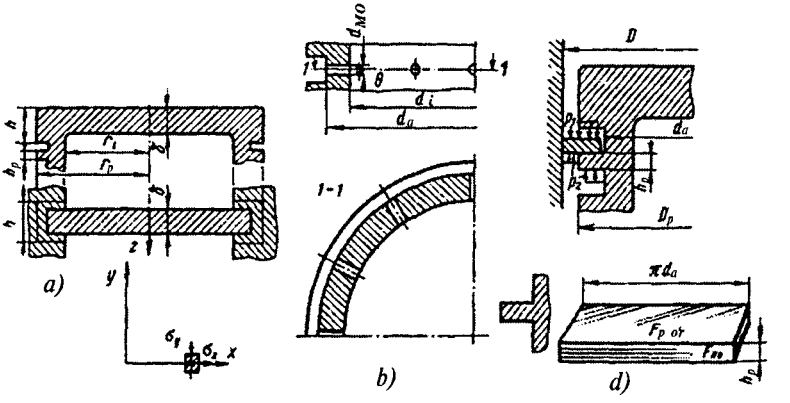
donini hamda uning elementlaridagi kuchlanishni yetarlicha aniqlik bilan olishga imkon beradigan porshenning issiqlik va dinamik yuklanganligining (masalan, so'nggi elementlar usuli) tahlilini ishonchli sonli usuli mavjud. Bu yerda asosiy muammo bo'lib tayyorgarlik va hisoblash ishlari ish sig'imining ko'pligi hamda hisoblash aniqligi va ishonchliligining chegara shartlarini to'g'ri berilishiga bog'liqligi hisoblanadi.

Konstruksiyaning ishlash qobiliyati to'g'risidagi dastlabki ma'lumotlarni soddalashtirilgan hisoblash modelidan foydalanib va ular asosida kuchlangan – deformatsiyalangan holatini qiyosiy baholash asosida olish mumkin.

Porshen tubining kuchlanganlik holatini konturi bo'yicha qisib qo'yilgan (5.19-a rasm) va porshen tubi hamda ishchi jismda o'zaro almashadigan gazlar bosimi va issiqlik oqimlari bilan yuklantirilgan dumaloq plastina kabi tasvirlaydigan modelni ko'rib chiqamiz. Tahlil gazlar bosimi va issiqlik oqimi statsionar hamda plastina sathi bo'yicha bir tekis taqsimlangan deb taxmin qilish bilan amalga oshiriladi.

O'rnatilgan kontur bo'yicha gazlar bosim kuchi ta'siridan normal kuchlanish:

- radial $\sigma_{x_к} = \frac{3}{4}\left(\frac{r_i}{\delta}\right)^2 p_z$;
- tangensial $\sigma_{y_x} = \frac{3}{4}\mu\left(\frac{r_i}{\delta}\right)^2 p_z$, bunda: δ –tubining qalinligi; r_i – porshen tubining ichki radiusi; μ –Puasson koeffitsiyenti (aluminiy qotishmasi uchun $\mu = 0{,}26$, cho'yan uchun $\mu = 0{,}3$); p_z – dvigatelning hisoblangan rejimda ishlashida ishchi sikldagi gazlar bosimining eng kattasi (uchqundan o't oldiriladigan dvigatel uchun $n = n_{\max}$, $M_b = M_{b\max}$ rejimdagi, dizel uchun $n = n_n$, $N_e = N_{en}$ rejimdagi).



5.19-rasm. **Porshen elementlarini hisoblash modeli:**
a – tubining modeli; *b* – moy sidiruvchi halqa ariqchasining eng kam kesimi; *d* – birinchi halqasimon tutashmaning eng kam kesimi.

Aluminiy qotishmali porshen tubi uchun ruxsat etilgan kuchlanish 40...60 MPa, cho'yan uchun 60...80 MPa.

Tubidagi termik kuchlanishni hisoblashda porshenning tubi va devorini harorati konturi bo'yicha teng hamda faqat $h = \delta + r_p - r_i$ balandlikka ega bo'lgan devorning qismi tubini isishi natijasida kengayadi deb faraz qilinib bajariladi.

Sovitilmaydigan porshenlar uchun issiqlik yuklamasidan tubining chekkasidagi yuklanish:

- radial (siquvchi) $\sigma_{x_k} = -\frac{(t_s - t_k)\alpha E}{2(1-\mu+K)}$;
- tangensial (cho'zuvchi) $\sigma_{y_k} = -\frac{(t_s - t_k)\alpha E}{2(1-\mu+K)}$, bunda: α–chiziqli kengayish koeffitsiyenti, 1/K; E–ashyoning elastiklik moduli, MPa; $(t_s - t_k)$–tubining markazi va tashqi konturi orasidagi haroratlar farqi: $(t_s - t_k) = qr_i^2/(4\lambda\delta)$; q–tubining solishtirma issiqlik yuklamasi, Vt/m^2; λ–issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti, Vt/(m·K); K– tubining tashqi chekkasini mustahkamlash koeffitsiyenti (moyilligi):

$$K = \frac{\delta}{h}\left(\frac{r_p^2 + r_i^2}{r_p^2 - r_i^2} + \mu\right).$$

Bunda tubining solishtirma issiqlik yuklamasi:

$$q = a\frac{N_{en} g_e H_i}{3{,}6 i F_p},$$

bunda: a–silindrda ajralib chiqadigan va porshen tubiga uzatiladigan barcha issiqlikning ulushi: a=0,01...0,15 sovitilmaydigan porshenlar uchun, a=0,04...0,1 moy bilan sovitiladigan porshenlar uchun; N_{en} – nominal rejimdagi IYOD quvvati, kVt; F_p–porshen yuzasi, m^2; i–silindrlar soni; g_e – samarali solishtirma yonilg'i sarfi, g/(kVt·s); H_u–yonilg'ining quyi yonish issiqligi, kJ/kg.

Tekis (yassi) devor uchun issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasidan o'q chiziq yo'nalishda porshenning olovli tubidagi t_{yok} va uning ichki sathidagi $t_{ich.s}$ haroratlarining farqi aniqlanadi:

$$t_{yok} - t_{ich.s} = \frac{q\delta}{\lambda}.$$

Bunda porshen tubining konturi bo'yicha kuchlanish (yonish kamerasi sathida siqish va sovitiladigan tomonida cho'zilish) tubining perifierisida va markazida quyidagi kabi aniqlanadi:

$$\sigma_{x_T} = \sigma_{y_T} = \sigma_T = \frac{\alpha E}{2(1-\mu)}\frac{q\delta}{\lambda}.$$

Porshen tubining periferisida yig'indi kuchlanish $\sigma_{\Sigma} = \sigma_{x_k} + \sigma_r$ ga teng va aluminiy qotishmali porshenlar uchun 70...120 MPa dan, cho'yandan tayyorlangan porshenlar uchun 150...200 MPa dan ortmasligi kerak.

Mustahkamlikka tekshirishga ehtiyoj bo'lgan porshenning elementiga moy olib ketuvchi kanallar bilan kuchsizlangan moy sidiruvchi halqaning kanalini kesimi bo'yicha porshenning devori kiradi (5.19-b rasm).

Gaz yuklamasidan kesimini siqishga tekshirish uchun hisoblash $M_b = M_{b\max}$, $P_j = 0$ deb ishga tushirish rejimi uchun bajariladi. Siqish kuchlanishi (MPa)

$$\sigma_s = \frac{P_z}{F_{min}} = \frac{p_z F_p}{F_{min}},$$

bunda: p_z – hisoblash rejimi uchun yonishning eng katta bosimi, MPa; F_{min} – porshenning hisoblanadigan kesim yuzasi, m²; $F_{min} = \left[\frac{\pi}{4}\left(d_a^2 - d_i^2\right) - i_{mo} F_{mo}\right]$, d_a – ariqchalar tubi bo'yicha porshen diametri, m; i_{mo} – sizdiruvchi moy olib ketuvchi kanallar soni; F_{mo} – moy olib ketuvchi kanallarning bo'ylama diametrial kesimi, m².

Aluminiy qotishmali porshenlar uchun ruxsat etilgan siqish kuchlanishi 30...40 MPa, cho'yandan tayyorlanganlar uchun 60...80 MPa.

Inersiya kuchidan moy sidiruvchi halqaning eng kichik kesimi $\chi - \chi$ bo'yicha uzilishga hisoblash salt yurishning eng katta aylanishlar chastotasi rejimi uchun M_b=0 va $n_{syu\max}$ bo'lganda amalga oshiriladi.

Uzilish kuchlanishi

$$\sigma_p = \frac{P_{jkal}}{F_{min}},$$

bunda: P_{jkal} – eng kichik kesimidan yuqorida joylashgan porshen massasining inersiya kuchi, MN: $P_{jkal} = m_{kal} r \omega_{syu}^2 (1+\lambda) 10^{-6}$, m_{kal} – eng kichik kesimidan yuqorida joylashgan porshen massasi, kg: $m_{kal} = (0{,}4...0{,}6) m_p$; ω_{syu} – salt yurishning eng katta aylanishlar chastotasiga mos keluvchi tirsakli valning burchak tezligi, 1/sek; λ – krivoship radiusining shatun uzunligiga bo'lgan nisbati: $\lambda = r / l_{sh}$.

Aluminiy qotishmali porshenlar uchun ruxsat etilgan uzilish kuchlanishi 4...10MPa, cho'yandan tayyorlangan porshenlar uchun 8...20 MPa.

Nadduv bilan kuchaytirilgan dvigatellar uchun birinchi kompression halqadagi bosimlar farqining birinchi halqasimon tutashmaga ta'siri natijasida unda paydo bo'ladigan kuchlanishlarning baholanishi bajariladi. Tutashmani hisoblashda ariqcha asosining aylanasi bo'yicha o'rnatilgan halqasimon plastina kabi qaraladi (5.19-d rasm).

Tutashmaning asosini hosil qiluvchisi bo'yicha kesimida kesilish kuchlanishi $\tau_{kest} = P_{ta} / F_{ta}$, bunda: P_{ta} – ta'sir etuvchi yuklama, MN;

F_{ta} – tutashma asosi kesimining yuzasi, m²: $F_{ta} = \pi d_a h_p$; h_p – birinchi halqasimon tutashtirgich balandligi, m.

Tutashtirgich F_{tut} yuza bo'yicha yuqorida $p_1 = 0{,}90 p_z$, MPa, gaz yuklamasi, pastda esa o'shanday yuzada $p_2 = 0{,}22 p_z$, MN gaz yukiamasi bilan yuklangan. p_2 dagi koeffitsiyentlar empirik yo'l bilan olinadi.

Bunda $F_{tut} \approx \frac{\pi}{4}\left(D_p^2 - d_a^2\right)$, m²; $P_{ta} = \left(p_1 - p_2\right) F_{tut}$, MN;

$$\tau_{kest} = 0{,}17 p_z \frac{\left(D_p^2 - d_a^2\right)}{d_a h_p}, \text{ MPa.}$$

Tutashtirgich egriligini inobatga olmasdan hisoblash kesimdagi egilish kuchlanishini quyidagiga teng deb qabul qilamiz:

$$\sigma_{et} \cong M_{te} / W_t$$

bunda: M_{te} – eguvchi moment, MN·m; $M_{te} = P_{ta}(D_p - d_a)/(4 \cdot 10^{-3})$;

W_p – tutashtirgichning egilishga qarshilik momenti, m³:

$$W_p = \pi\left(d_a h_p^2 / 6\right).$$

Nihoyat, quyidagini olamiz: $\sigma_{et} = 0{,}32 p_z \left(\frac{D_p}{h_p}\right)^2$.

Mustahkamlikning uchinchi nazariyasi bo'yicha

$$\sigma_{\Sigma p} = \sqrt{\sigma_{et}^2 + 4\tau_{o'r.p}^2}.$$

Aluminiy qotishmali porshenlar uchun $\sigma_{\Sigma p} \le 30...40$ MPa, cho'yandan tayyorlangan porshenlar uchun 60...80 MPa.

Porshen etagining yeyilishga chidamliligi q_e, MPa, nominal quvvat rejimida (N_{en}, n_n) quyidagi bog'liqlik bilan solishtirma bosim bo'yicha baholanadi:

$$q_e = N_{max} / (h_e D),$$

bunda: N_{max} – dinamik hisoblash bo'yicha eng katta yonlama kuch, MN;

h_e – porshen etagining balandligi, m.

UO'OD larning porshenlari uchun $q_e = 0{,}3...0{,}5$ MPa, dizellar porshenlari uchun $q_e = 0{,}4...1{,}0$ MPa.

Porshenning kafolatlangan harakatlanuvchanligining mavjud bo'lishi silindr va porshen qizigan holatida ularning kengayishidan so'ng oralaridagi diametral tirqish Δ' bo'yicha tekshiriladi:

$$\Delta' = \Delta + D_s \alpha_s (t_s - t_0) - D_p \alpha_p (t_p - t_0)$$

bunda: α_s, α_p – silindr va porshen ashyolarining chiziqli kengayish

koeffitsiyentlari, 1/K; t_s, t_p – silindr va porshen haroratlari, K; Δ – yig'ish tirqishi, m.

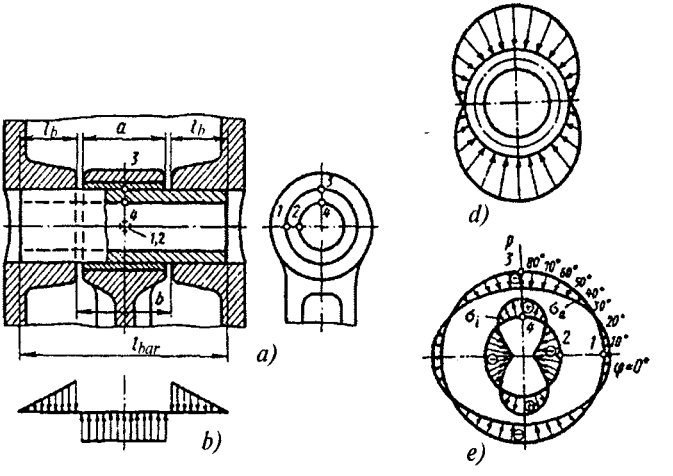
Bu tirqishlar, odatda, yuqori yon yuzasi va etagining o'lchamlari hamda haroratlari berilib, ular uchun tekshiriladi. Nisbiy diametral tirqish (silindr diametri D ga nisbatan) bu doiralar uchun mos holda 0,002...0,003 va 0,0005...0,001 ni tashkil etadi.

5.5. PORSHEN BARMOG'INING HISOBI

Ishlash jarayonida inersiya va gazlar kuchlari ta'siri ostida barmoqda egilishdan, kesilish hamda ovallanishdan uning sinishiga olib keladigan kuchlanish paydo bo'ladi. Odatda, barmoqning ichki sathida bo'ylama mikro yoriqlar hosil bo'ladi, ular uzoq muddat ishlash jarayonida uning buzilishi (parchalanishi)ga olib keladi. Barmoqning shatun vtulkasi va porshen bo'rtmasi bilan kontaktlanadigan sathining kattaligi ularga bo'ladigan solishtirma yuklamani va ularning moylanish ishonchliligini, nihoyat, bu sathlarning yeyilishini aniqlaydi.

Porshen va shatunning massa gabarit parametrlariga ta'sir qiluvchi barmoqning o'lchamlari dastavval statik ma'lumotlar bo'yicha (5.1-jadvalga qarang), so'ngra tekshirish hisoblari natijasida aniqlanadi.

d_{bar}, ℓ_b va a o'lchamlarni tanlashda (5.20-a rasm) quyidagi holatni e'tiborga olish kerak. Erkin harakatlanadigan konstruksiyali barmoqda shatun vtulkasi ashyosining yeyilishga chidamliligi bo'rtma ashyosiga qaraganda osonroq. Shuning uchun tugunning teng mustahkamlik prinsipidan kelib chiqqan holda vtulkaning tayanch uzunligini bo'rtmalarning tayanch



5.20-rasm. **Porshen barmog'ini hisoblash:**
a – asosiy geometrik nisbatlar; *b* – egilishda barmoqning yuklanish sxemasi; *d* – barmoq sathi bo'yicha yuklamaning kosinusoidal taqsimlanishi; *e* – barmoqning ichki va tashqi sathlaridagi kuchlanish.

uzunligining majmuasidan kam qilib qabul qilish mumkin. a miqdorning kichiklashishi bo'rtma yon yuzalari orasidagi masofa b ni qisqartirishga imkon beradi va demak, barmoqqa ta'sir qiluvchi eguvchi momentning ham kamaytirishiga imkon beradi.

Barmoq va u bilan tutashgan detallarning geometrik parametrlarini to'g'ri tanlanishining mezoni bo'lib, uning tayanch sathlarini yeyilishga chidamliligini aniqlaydigan ruxsat etilgan solishtirma bosimi, egilishdagi va kesilishdagi kuchlanishi, shuningdek, barmoqning ovallanishida paydo bo'ladigan undagi kuchlanish va chegaraviy deformatsiya hisoblanadi.

Barmoqning yeyilishga chidamliligi shatun vtulkasi q_{sh} va porshen bo'rtmasi q_b hamda barmoqning tayanch sathlari orasidagi solishtirma bosimi (MPa) bo'yicha baholanadi:

$$q_{sh} = (P_z + P_{jp})/(d_{bar}a);$$

$$q_b = (P_z + P_{jp.b})/(2d_{bar}l_b),$$

bunda: d_{bar} – barmoqning tashqi diametri, m; a – shatun vtulkasining uzunligi, m; l_b – bo'rtma tayanch qismining uzunligi, m; P_z – gazlarning bosim kuchi, MN; $P_{jp.b}$ – shatun vtulkasiga ta'sir qiluvchi porshen guruhi massasining inersiya kuchi, MN; $P_{jp.b} = -m_{pb}r\omega^2(1+\lambda)$; $P_{jp.b}$ – bobishkaga ta'sir qiluvchi, barmoqni massasisiz porshen guruhi massasining inersiya kuchi, MN; $P_{jp.b} = -m_b r\omega^2(1+\lambda)$; $m_{pb} = m_p - m_{bar}$, bunda: m_{bar} – barmoq massasi, kg.

UO'OD larning aluminiy qotishmali porshenlari uchun birinchi yaqinlik bilan $m_{pb} = 0{,}7m_p$ va dizellar uchun $m_{pb} = 0{,}65m_p$.

Solishtirma bosimlarning baholash uchun hisoblash rejimi $(P_z + P_{jp})$ va $(P_z + P_{jp.b})$ kuchlar majmuasining eng katta qiymatini olish sharti bilan qabul qilinadi. UO'OD larda bu, odatda, eng katta burovchi moment rejimi $n = n_{max}$, $M_b = M_{b\,max}$, dizellarda esa nominal quvvati rejimi $n = n_n$, $N_e = N_{en}$.

UO'OD larning porshen barmoqlari uchun $q_b = 20...30$ va $q_{sh} = 25...35$ MPa; dizellar uchun $q_b = 30...35$ va $q_{sh} = 40...50$ MPa.

Barmoqning egilishi uning o'rta kesimida eng ko'p kuchlanishni keltirib chiqaradi. Barmoq uzunligi bo'yicha yuklamalarning taqsimlanishi yetarlicha murakkab, barmoq va porshen bo'g'imlaridagi bikrliklari hamda tirqishlarini nisbatlari bilan aniqlanadi. R.S. Kinasoshvili tajriba materiallariga ishlov berish asosida, barmoqning o'rtasidagi eng katta egilishdagi kuchlanishini aniqlashga yordam beradigan balka ko'rinishidagi (yuklanish sxemasi 5.20-b rasmda tasvirlangan) barmoqning hisoblash modelini taklif etgan:

$$\sigma_e = \frac{M_{max}}{W} = \frac{P(1+2b-1{,}5a)}{1{,}2d_{bar}^3(1-\alpha)^4},$$

bunda: $P = P_z + P_{jp}$, MN; barmoqning ichki diametrini tashqi diametriga bo'lgan nisbati: $\alpha = d_{ich} / d_{bar}$.

Egilishdagi ruxsat etilgan kuchlanish $\sigma_e = 120...160$ MPa.

Barmoqda kesilishdan eng katta urinma kuchlanish uning bo'rtmalar va shatun vtulkasi yon yuzalari orasidagi kesimlarda paydo bo'ladi. Ularning qiymati betaraf (neytral) tekislikda quyidagi bog'liqlik bo'yicha aniqlanadi:

$$\tau = \frac{0,85P}{d_{bar}^2} \frac{1+\alpha+\alpha^2}{(1-\alpha)^3}.$$

Ruxsat etilgan urinma kuchlanish 80...120 MPa dan ortmasligi kerak.

Barmoqning oval shakliga kelishi uning perimetri bo'yicha kuchlarning notekis taqsimlanishi ta'siri ostida deformatsiyalanishi bilan ko'ndalang kesimida katta diametriga ega bo'lgan oval shaklini olishida namoyon bo'ladi (5.20-d rasm). Oval shaklga ega bo'lishdan hosil bo'lgan deformatsiya va kuchlanishlarni baholash uchun hisoblash bog'liqligi, kam egrilikka ega bo'lgan brus sathi bo'yicha yuklamalarning kosinusoidal taqsimlanishida unda kuchlanishni yoritadigan tenglamalarga asoslanadi.

Ovallanishda porshen barmog'ining gorizontal diametrini eng katta nim o'sishi uning o'rta qismida kuzatiladi va quyidagi tarzda aniqlanadi:

$$\Delta d_{max} = \frac{0,9P}{E_{bar} \ell_{bar}} \frac{(1+\alpha)^3}{(1-\alpha)^3} k,$$

bunda: k – tajriba ma'lumotlariga statik ishlov berish asosida aniqlangan tuzatish koeffitsiyenti: $k = 1,5....15(\alpha - 0,4)^3$; l_{bar} – barmoq uzunligi, m; E_{bar} – barmoq ashyosining elastiklik moduli, MPa.

Diametral deformatsiyaning kattaligi barmoq va shatunning yuqori kallagi vtulkasi orasidagi diametral tirqishning yarmidan ko'p bo'lmasligi kerak.

Ovallanishda barmoqning tashqi va ichki sathlarida *kuchlanish* paydo bo'ladi, ularning epyurasi 5.20-e rasmda keltirilgan.

Ular quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi:

- barmoqning tashqi sathi uchun

$$\sigma_a = \frac{Pr}{hl_{bar}} \left[2\frac{6r+h}{h(2r+h)} f_2 - \frac{f_1}{r} \right] k;$$

- barmoqning ichki sathi uchun

$$\sigma_i = \frac{Pr}{hi_{bar}} \left[2\frac{6r-h}{h(2r-h)} f_2 + \frac{f_1}{r_{bar}} \right] k,$$

bunda: h–barmoq devorining qalinligi: $h = (d_{bar} - d_{ich})/2 = d_{bar}/[2(1-\alpha/2)]$; r–barmoqning o'rtacha diametri: $r = (d_{bar} + d_{ich})/4 = d_{bar}(1+\alpha)/4$; f_1 va f_2 – o'lchamsiz funksiya, quyidagi burchaklarga bog'liq:

$f_1 = 0{,}5\cos\varphi + 0{,}3185\sin\varphi - 0{,}3185\varphi\cos\varphi$; $f_2 = f_1 - 0{,}406$.

Bu ifodalarda burchak φ radianlarda berilishi kerak.

Nuqta 2 dagi siqishning eng katta kuchlanishi nuqta 4 dagi cho'zilishdagi kuchlanishga qaraganda kamroq xavfli.

Avtotraktor dvigatellari barmoqlari uchun ruxsat etilgan kuchlanishi mos holda $\sigma_e = 120....160$ MPa, $\sigma_{ov} = 110....140$ MPa oraliqda yotadi.

Porshen va shatunning barmoq bilan birikkan tugunlaridagi tirqishlar uning shatunning yuqori kallagi bilan birikish usuliga bog'liq. Erkin turidagi barmoq va shatun vtulkasining orasidagi yig'ish tirqishi 0,01...0,03 mm ni tashkil etadi; cho'yan porshenning bobishkalarida – 0,02...0,04 mm; silumindan tayyorlangan porshenlar uchun – 0,01...0,02 mm. Qizigan dvigatel uchun erkin barmoq bo'lganda tirqish $\Delta' = 0{,}001 d_{bar}$ dan ortmasligi kerak, porshen barmog'i va bobishkalari orasidagi yig'ish tirqishlari quyidagicha aniqlanadi, m:

$$\Delta = \Delta' + (\alpha_{pbar}\Delta t_{pbar} - \alpha_b \Delta t_b) d_{bar},$$

bunda: α_{pbar} va α_b – barmoq va bobishkalarning chiziqli kengayish koeffitsiyentlari, 1/K; Δt_{pbar} va Δt_b – mos holda barmoq, bobishka va atrof-muhit haroratlarining farqi.

5.6. PORSHEN HALQASINING HISOBI

Halqaning radial tebranishga qarshi barqarorligini, uzoqqa chidamliligini va texnologikliligini ta'minlash uchun noksimon yoki ellipssimon qulfida bosimi yuqori bo'lgan bosimlar epyurasiga ega bo'lgan halqalar ma'qulroq hisoblanadi (5.17-rasmga qarang). Halqaning perimetri bo'yicha bosimlar epyurasini yoritish uchun $\xi(\varphi) = p(\phi)/p_{o'r}$ koeffitsiyentdan foydalaniladi.

Halqani hisoblash ketma-ketligi:

1. D/t (5.21-e rasm) va S_o/t (3–4) larning statik ma'lumotlariga, asosan halqaning radial qalinligi t va halqa qulfining erkin holatidagi ochilishi S_o tanlanadi.

2. Silindr ko'zgusidagi halqaning o'rtacha bosimi hisoblanadi, MPa:

$$P_{o'r} = \frac{0{,}425}{3-\mu} E \frac{S_o/t}{(D/t)(D/t-1)^3},$$

bunda: μ – halqaning silindr ko'zgusiga bosim epyurasining shakli bo'yicha aniqlanadigan koeffitsiyent; noksimon epyura uchun $\mu \approx 0{,}2$; E – halqa ashyosining elastiklik moduli, cho'yan uchun

$$\left[E = (1{,}0-1{,}2)\cdot 10^5 MPa\right].$$

Halqaning turi va silindr diametri D ga bog'liqligi bo'yicha $r_{o'r}$ ning chegaraviy qiymati 5.21-e rasmda keltirilgan.

3. Qulfning qarshisidagi halqa kesimida ishchi holatida sodir bo'ladigan egilishdagi eng katta kuchlanish aniqlanadi:

$$\sigma_{max} = \frac{1,275}{3-\mu} E \frac{S_o / t}{(D/t-1)^2}$$

σ_{max} = 300...400 MPa oralig'ida o'zgaradi. Yuqori haroratlar sharoitida ishlaganda halqaning yuqori kuchlangan holati, bu chegaraviy kuchlanish cho'yanning egilishdagi mustahkamlik chegarasini 50...70% ini tashkil etishini ko'rsatadi.

4. Qulfni ochishda va porshenga halqani kiydirishda halqadagi eng katta kuchlanish tekshiriladi:

$$\sigma'_{max} = \frac{3,9}{m} E \frac{1-(S_o/t)/[(3-\mu)\pi]}{(D/t-1)^2},$$

bunda: m – halqani porshenga kiydirish usuli bilan aniqlanadigan koeffitsiyenti (5.21-d rasm).

σ'_{max} kuchlanish σ_{max} kuchlanishidan 10...30% ga ko'p, ruxsat etilgani esa 400...500 MPa ni tashkil etadi.

5. Halqani silindrga o'rnatilganidan keyin sovuq holatida qulfdagi yig'ish tirqishining kattaligi aniqlanadi:

$$\Delta_x = \Delta'_x + (\alpha_h \Delta t_h - \alpha_g \Delta t_g),$$

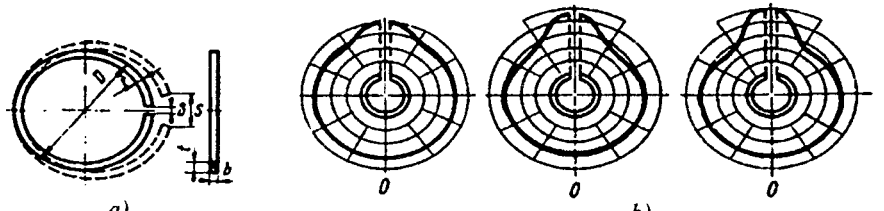
bunda: Δ'_x – qizigan dvigatelda qulfdagi eng kam ruxsat etilgan tirqish;

α_h va α_g – halqa va gilza ashyolarining chiziqli kengayish koeffitsiyentlari;

Δt_h va Δt_g – halqa va gilzaning mos holda qizish harorati.

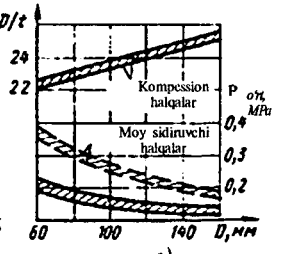
Tirqish Δ' qizigan dvigatelda qulfning yopilmasligini ta'minlash shartidan kelib chiqqan holda 0,06...0,1 mm oralig'ida qabul qilinadi.

Qiya qulf uchun tirqishning ko'rsatilgan qiymatlari halqaning yon yuzasiga qulfning qiyalik burchagini sinusiga ko'paytiriladi.



Halqani deformatsiyalash kuchining yo'nalishi			
koeffitsiyent	1,0	1,57	2,0

d)



5.21-rasm. **Porshen halqalarini hisoblash:**
a – asosiy geometrik nisbatlar; *b* – bosimlar epyurasining ma'qulrog'i; *d* – halqani porshenga kiydirish usullari; *e* – halqa. parametrlarining silindr diametri *D* ga bog'liqligi.

VI BOB
SHATUN GURUHI

6.1. KONSTRUKSIYALAR BO'YICHA SHARH

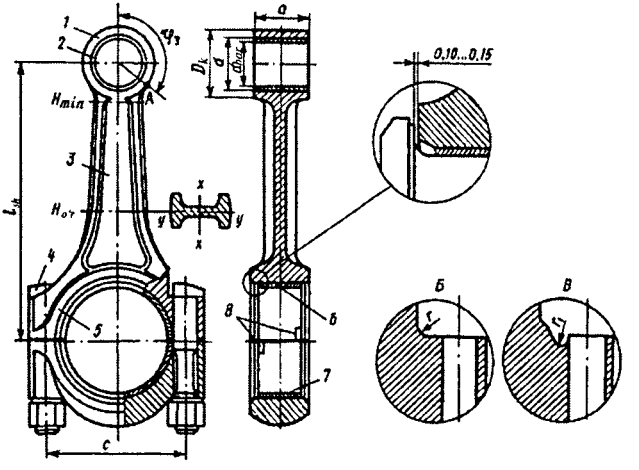
Shatun guruhi tarkibiga *qopqog'i ajratiladigan krivoship kallagi bilan shatun, shatun ichquymasi, qayd qiladigan elementlari bilan shatun boltlari* kiradi.

Shatunning ishlash sharoiti — gazlar va inersiya kuchlaridan jadal belgisi o'zgaruvchan yuklama va yuqori harorat. Shatunning ashyosi va konstruksiyasi konstruktiv massasi kam bo'lgani holda toliqishga mustahkamliligini va eng katta bikrligini ta'minlashi kerak.

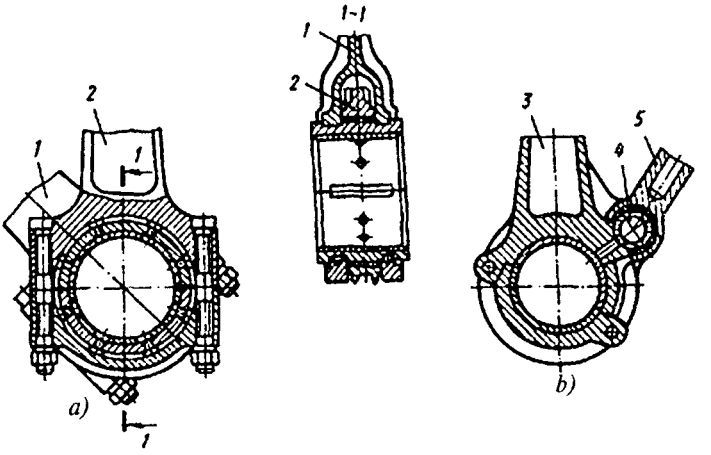
Shatunlar uchta konstruktiv elementlardan tashkil topgan (6.1-rasm): *porshen kallagidan, sterjendan va ajratiladigan qopqog'i bilan krivoship kallagidan.*

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarning shatunlarini tayyorlash uchun 45, 45Г2, 40Г, 40Х, 40ХН, 40R, rusumli po'latlar, dizellar uchun 18Х2Н4МА, 18Х2Н4ВА, 40Х2Н2МА, 40ХН3А, 40Х2МА rusumli mustahkamlik chegarasi yuqori bo'lgan legirlangan po'latlar ishlatiladi. Shatunlarning chala mahsuloti shtamplarda bolg'alash yo'li bilan olinadi hamda mexanik va issiqlik ishlovi beriladi. Toliqishga mustahkamligini oshirish uchun shatunlarga pitra oqimli ishlov beriladi, ba'zan yaltiratiladi.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda ayrim hollarda bolg'alangan perlitli cho'yan КЧ (ВСН) dan yuqori mustahkamlikka ega bo'lgan yoki



6.1-rasm. **Yakka shatun konstruksiyasi:**
1 — yuqori (porshen) kallagi; *2* — bronza vtulkasi; *3* — sterjeni; *4* — shatun bolti; *5* — pastki (krivoship) kallagi; *6* — yuqori ichquyma; *7* — quyi ichquyma; *8* — ichquymaning buralishidan va o'q chizig'i bo'ylab siljishidan saqlovchi chiqiq.

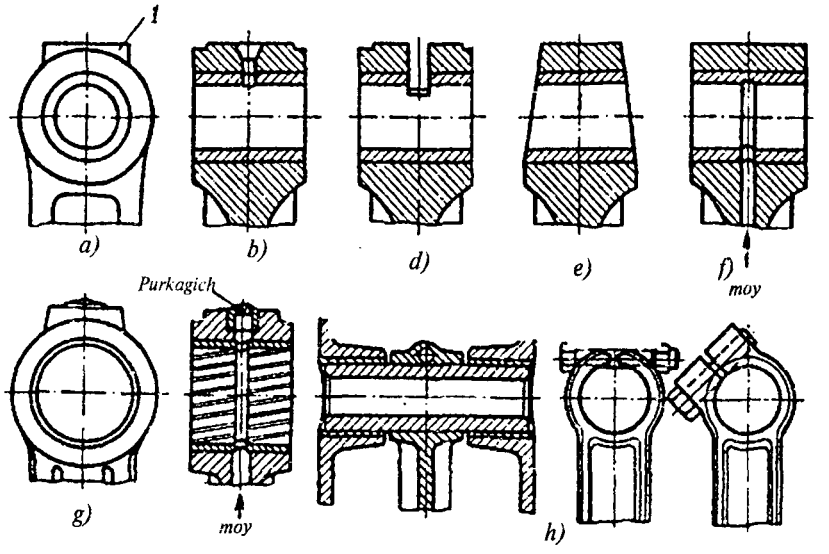


6.2-rasm. **Bo'g'inlangan shatunlar konstruksiyasi:**
a – markaziy bo'g'inlanish, *b* – tirkama shatunli. *1* – ayri shatun; *2* – ichki shatun; *3* – asosiy shatun; *4* – tirkama shatunning asosiy shatun bilan bo'g'inlash barmog'i; *5* – tirkama shatun.

sharsimon grafitli cho'yan ВЧ45 (VCH45) dan quyib tayyorlanadigan shatunlar ishlatilishi mumkin. Oxirgisi o'zining fizik-kimyoviy xususiyati bo'yicha po'latga yaqinlashadi, kuchlanish konsentratorlariga bo'lgan sezgirligi juda past va tebranishlarning so'ndirishga yordam beradigan yuqori ichki ishqalanishga ega. Quyma shatunlar uchun ashyo sifatida mustahkamlik tavsifi yuqori bo'lgan ($\sigma_B = 1000$ MPa, $E = 1{,}14 \cdot 10^5 \ldots\ldots 1{,}18 \cdot 10^5$ MPa) quyma titanli qotishma BT (VT) kelajagi porloq hisoblanadi.

Dvigatelning joylashtirilishiga bog'liq holda shatunlar *yakka* va *bo'g'imli* qilib bajarilishi mumkin (6.2-rasm). Bir qator va V simon konstruksiyalarda o'rnatiladigan yakka shatunlar keng tarqalgan (6.1-rasmga qarang). V simon dvigatellarning bir shatun bo'yinida qarama-qarshi yotgan ikki silindrlarning shatunlarini krivoship kallaklari ketma-ket joylashadi. Bunday holatda chapdagi va o'ngdagi silindrlarning o'q chiziqlari bo'ylama tekislikda bir-biriga nisbatan siljigan bo'ladi. Silindrlari bitta ko'ndalang tekislikda yotgan dvigatellarda *markaziy bo'g'inli shatunlar* (ayrisimon va ichki shatunlar 6.2-a rasm), shatun bo'yinga tayanadigan *krivoship kallakli asosiy shatun* va u bilan noo'qdosh bo'g'inlangan *tirkama shatun* o'rnatiladi (6.2-b rasm). Oxirgi holatda qarama-qarshi yotgan silindrlarning KSHM elementlarining harakatlanishini kinematik parametrlari turlicha bo'ladi.

Shatunning porshen kallagi konstruksiyasi porshen barmog'ining o'lchamlari va uning shatun bilan bo'g'inlash usuli bilan aniqlanadi (6.3-rasm). Erkin barmoqda shatunning nokesikli porshen kallagiga bronza vtulka bosib o'rnatiladi. Qisib qo'yiladigan barmoqlar o'rnatilgan holatda ularning kallakda mahkamlash yoki nokesik kallakda *yig'ishda kafolatlangan harorat tarangligi* hisobiga (20...40 mkm), yoki *kesikli* shatun *kallagida* tortadigan *rezbali birikma* hisobiga amalga oshiriladi (6.3-h rasm). Porshen



6.3-rasm. **Shatunlarning porshen kallaklari:**
a, b, d – majburiy o't oldiradigan dvigatellar; *e, f, g* – dizellar, *h* – porshen kallagida barmoqni mahkamlash.

kallagining yuqori qismi shatunlarning massasi bo'yicha va massalar markazi joylashishini moslashtirish uchun metall bo'rtmasi 1 ga ega (6.3-a rasm).

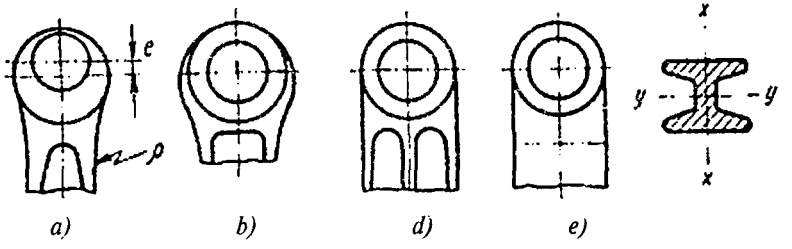
Porshen barmog'i sathiga moyni uzatish uchun porshen kallagining kam yuklangan yuqori qismi *moyni to'plash* uchun teshikli qilib bajariladi. Avtotraktor dvigatellarida gazlarning bosim kuchi P_g inersiya kuchi P_j dan anchaga ko'p bo'lishi mumkin. Tayanch sathlarining yuzasi bir xil bo'lganda barmoq va vtulkaning pastki sathi orasidagi moy qatlamining qalinligi solishtirma bosimning kattaligi ko'p bo'lganligi tufayli yuqori sathiga qaraganda kam bo'ladi.

Moy qatlamining qalinligini tenglashtirish, vtulkaning yuqori yarmini o'rta qismidagi chuqurchani frezalash hisobiga uning tayanch sathini kamaytirishga yordam beradi (6.3-d rasm). P_j va P_g kuchlar orasidagi farq yanada sezilarli bo'lgan dizellarda vtulkaning yuqori va pastki yarmida barmoqning solishtirma bosimi bir xil bo'ladigan qilib shatunlarning yuqori kallagining yon sirt tekisliklari qiya qilib bajariladi (6.3-e rasm). Kuchaytirilgan dizellarda porshen barmog'ini moylash bosim ostida amalga oshiriladi (6.3-f,g rasm). Porshen tubi oqimli sovitish bilan ishlaydigan dvigatellar porshen kallagida purkagichga ega bo'ladi (6.3-g rasm).

Shatun porshen kallagining sterjenga o'tish joyi kesimi xavfliroq hisoblanadi (*A* nuqta). *Porshen kallagini mustahkamlash* quyidagi konstruktiv tadbirlar bilan amalga oshiriladi (6.4-rasm):

- shatun sterjenidan kallakka o'tish radiusi ρ ni kattalashtirish (6.4 -a rasm) va kallakda sterjenning torayishini to'liq bartaraf qilingunicha sterjenning torayishini kamaytirish bilan (6.4-d rasm);

- o'tish doirasida metall bo'rtmasini barpo qilish bilan (6.4-b rasm);
- sterjenning bo'ylama o'qi bo'ylab uchinchi tokchani hosil qilish bilan (6.4-*d* rasm);
- barmoq ostidagi teshik chizig'ini kallak o'q chizig'iga nisbatan ekssentrik joylashtirish bilan (6.4-*a* rasm);
- shatun sterjeniga ark shaklini berish bilan (6.4-*a* rasm), bu porshen kallagi ostidagi doirada kuchlanish konsenratsiyasini anchaga kamaytiradi;
- shatun tokchasining tebranish tekisligida joylashtirish bilan, bu barmoqning bo'ylama o'q chizig'i yo'nalishida porshen kallagini konsolligini kamaytiradi (6.4-*e* rasm).



6.4-rasm. **Porshen kallagini mustahkamlashga konstruktiv misollar:**
a – shatun sterjenida kallakka o'tish radiusini kattalashtirish; *b* – o'tish doirasida metall bo'rtig'ini barpo qilish; *d* – kallak yonidagi sterjen torayishini to'liq bartaraf qilish; *e* – shatun tokchasini tebranish tekisligida joylashtirish.

Yuqori kallakka o'rnatiladigan yupqa devorli bronza vtulka bronza varaqdan o'rab tayyorlanadi, keyinchalik vtulka devorining qalinligi 0,8...2,5 mm bo'lgunicha mexanik ishlov beriladi. Vtulkalar uchun ashyo bo'lib aluminiy-temirli bronza АЖ (AJ) 9 – 4 (10% aluminiy, 4% temir), qalay-ruxli bronza Бр.ОЦС (Br. OSS) 4 – 4 – 2,5 (5% qalay, 5% rux, 3,5% qo'rg'oshin) va qalay-fosforli bronza Бр. ОФ (Br.OF) 6,5 – 0,15 (7% qalay, 0,25% fosfor) xizmat qiladi.

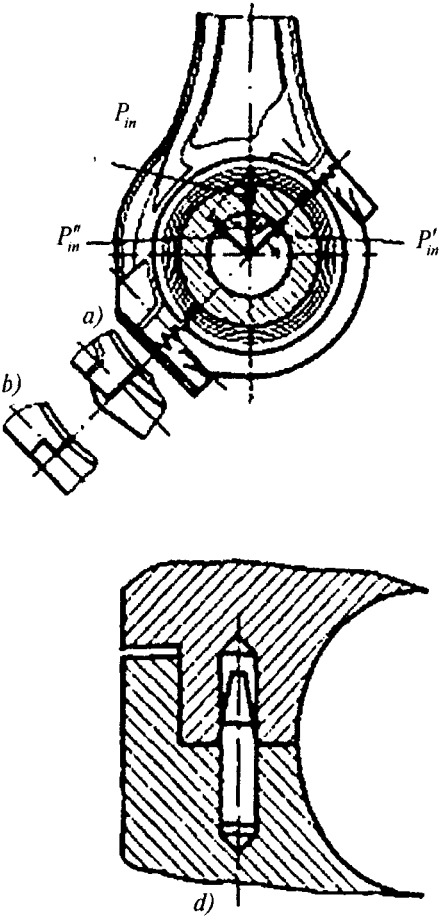
Barmoq va bronza orasidagi tirqish barmoqning diametriga bog'liq holda $\Delta = (0{,}0004...0{,}001)d_{bar}$ oralig'ida belgilanadi.

Shatun sterjeni, odatda, krivoship kallakning o'q chizig'iga nisbatan simmetrik bo'lgan ikki tavrli kesimga ega bo'ladi (6.1, 6.4-rasmlarga qarang). Shatun sterjenining krivoship kallagi simmetriyasini bo'ylama o'q chizig'iga nisbatan siljishi to'liqsiz tayanchli tirsakli vallarda silindrlar o'qi orasidagi masofani kamaytirishga imkon beradi, lekin bunda shatun bo'yinlarini va ichquymalarning uzunligi bo'yicha notekis yeyilishi kuzatiladi.

Shatunning *krivoship kallagiga* quyidagi *talablar* qo'yiladi:

- yupqa devorli ichquymalar va shatun boltlarini ishonchli ishlashini ta'minlaydigan yuqori bikrliligi;
- gabarit o'lchamlari va massasining eng kamligi;
- kesimi o'zgaradigan va o'tish joylarida shaklining ravonligi;
- yig'ish paytida kallakning silindr orqali o'tishi mumkinligi (blok-karterli dvigatellar uchun zaruriy shart).

Avtotraktor dvigatellari shatunlarining krivoship kallagi ajraladigan qilib tayyorlanadi. Tekisligi shatun o'q chizig'iga perpendikular bo'lgan to'g'ri (normal) ajratkichlar keng tarqalgan (6.1-rasmga qarang). Diametri $d_{shb} = (0{,}7...0{,}8)D$ bo'lgan keng shatun bo'yinlarida tekisligi shatun sterjenining bo'ylama o'q chizig'iga $\varphi = 30$, 45 yoki 60° burchak ostida joylashadigan qiya ajratkichlar ishlatiladi (6.5-rasm). Ajratkichi qiya bo'lganda shatun boltlariga ta'sir qiluvchi inersiya kuch P_{in} kamayadi, hosil bo'ladigan yonlama kuch P'_{in} ni uchburchakli shlitsalar yoki bo'rtiqlar ko'rinishidagi maxsus qaydlagich tuzilmalari qabul qiladi (6.5-a,b rasm). Shlitsali sathlar tekis sathlarga qaraganda birikma qattiqligini kamaytiradi, ularning tayyorlash texnologiyasi murakkab va qiya ajratkichli ayrim shatunlar konstruksiyalarida shtiflar bilan mahkamlanuvchi tekis tutashuvchi tekisliklar ishlatiladi (6.5-d rasm). Qiya ajratkichda qopqoq shatunga asosan kallakning yuqori yarim gavdasiga burab kiritiladigan boltlar bilan mahkamlanadi. Kuchlanishlar konsentratsiyasini kamaytirish uchun shpilkalar, boltlar, gaykalarning kallaklarini tayanch sathlariga o'tishi r ga qaraganda katta radius bilan (6.1-b rasmga qarang) yoki r_1 radius bo'yicha ichki tomonda bajariladi (6.1-d rasmga qarang). Krivoship kallagining gabarit o'lchamlarini va massasini kamaytirish uchun shatun boltlari hamda shpilkalarni iloji boricha bo'yin o'q chizig'iga yaqin qilib joylashtirishga intiliniladi.



6.5-rasm. **Uchburchak shlitsalar (a), bo'rtiqlar (b) ko'rinishidagi qiya ajratkichli va (d) shtift bilan qaydlanuvchi tekis tutash sathli shatunning krivoship kallagi.**

Ba'zi konstruksiyalarda ichquyma gavdasida shatun boltining o'tishi uchun joy nazarda tutiladi.

Shatunlarning sirpanish podshipniklari ajratkichli yupqa devorli ichquymalar ko'rinishida

tayyorlanadi, ular krivoship kallagiga o'rnatilganidan so'ng uning podshipnigini hosil qiladi. Ichquyma qirrasining birida qayd qiladigan shatunning krivoship kallagidagi maxsus ariqchaga kiradigan chiqiq egib qo'yiladi. Bu ichquymaning burilishdan va o'q chizig'i bo'ylab siljishidan saqlaydi (6.1-rasmga qarang). Podshipniklar belgisi o'zgaruvchan yuqori mexanik yuklamalar va haroratlar sharoitida ishlaydi.

Ichquymalar konstruksiyasi bo'yicha *bimetalli* (asosi po'lat va ishqalanishning kamaytiruvchi (antifriksion) modda qatlami) va *uch metalli* (asosi po'lat, oraliq qalayli qatlam, ishqalanishni kamaytiruvchi modda qatlami). Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun ichquymaning umumiy qalinligi $\delta = 1{,}3...2$ mm ni tashkil etadi, shu jumladan, ishqalanishning kamaytiruvchi modda qatlami 0,2...0,4 mm ni, dizellar uchun $\delta = 2{,}5...3$ mm (ishqalanishning kamaytiruvchi modda qatlami 0,3...0,7 mm dan ko'p bo'lmaydi). Ishqalanishning kamaytiruvchi modda qatlami toliqishdan buzilish, zanglash – mexanik va abraziv yeyilish ta'sirida bo'ladi.

Zamonaviy avtotraktor dvigatellarida ishqalanishning kamaytiruvchi ashyo sifatida qo'rg'oshin-qalay, qalay miqdori yuqori bo'lgan aluminiy qotishmalari va qo'rg'oshinli bronza ishlatiladi. COC (SOS) – 6 – 6 qotishma (5...6% qalay va surma, 88...90% qo'rg'oshin) uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda foydalaniladi. Yuqori yuklamali podshipniklarda tarkibida qalay ko'p bo'lgan aluminiy qotishmasi AO 20 – 1 (20% – qalay, 1% dan mis va nikel, 78% aluminiy) ishlatiladi.

Dizellarning o'ta yuqori yuklamalarda ishlaydigan podshipniklarini ichquymasi ishqalanishni kamaytiruvchi (masalan, KamAZ) qo'rg'oshinli bronza Бр.С (Br.S)-30 (30% qo'rg'oshin, 70% mis) qatlami bilan tayyorlanadi. Qo'rg'oshinli bronza nisbatan yomon ishlab moslashadi, moyda yig'iladigan kislota birikmalari tufayli zanglashga duchor bo'ladi (qo'rg'oshinni «terlashi»). Bunga bog'liq holda ichquymaning zanglashini oldini olish uchun motor moyiga maxsus qo'shilmalar kiritiladi.

Ichquymalarning ishlab moslanishini yaxshilash uchun ishqalanishning kamaytiruvchi qatlamning sathi qo'rg'oshin kadmiyli qotishma bilan yupqa parda tarzida qoplanadi. Qoplamaning qalinligi 0,015...0,04 mm ni tashkil etadi. Gazlarning yuqori yuklamasida va ko'p bo'lmagan inersiyalarda ishlaydigan dizellarda yuqori ichquyma AO 20 – 1 (yoki AO 6 – 1) qotishmani qo'llash bilan, pastkisi esa – ACM (ASM) qotishmasidan (masalan, VTZ dvigatellari) tayyorlanadi. Aluminiy qotishma ASM (0,7 % magniy, 6% surma, 93,3% aluminiy), asosan, traktor dizellarining o'zak podshipniklarini ichquymalari uchun antifriksion qatlamning 0,5...0,7 mm qalinligi bilan ishlatiladi.

O'zak podshipniklarning ichquymalari shatun podshipniklaridan faqat po'lat asosining qalinligi ko'pligi bilan farq qiladi. Ko'pchilik dvigatellar uchun o'zak podshipniklarning ichquymalari $\delta = 2{,}4...3$ mm li (avtomobil dvigatellari) va $\delta = 4...5$ mm li (traktor dvigatellari) qilib bajariladi. Bo'yin diametriga nisbatan diametral tirqishlar: yuqori qalayli qotishmalar ishlatilganda $\Delta/d = 0{,}0005...0{,}007$, qo'rg'oshinli bronza uchun $\Delta/d = 0{,}0007...0{,}001$. ASM qotishmasidan foydalanilganda o'zak podship-

niklardagi nisbiy tirqishlar $\Delta_{b'b}/d_{o'b}=0,012..0,015$; $\Delta_{shh}/d_{shb}=0,001...0,0012$.

Shatunning shatun bo'yini bo'ylab siljishiga mos keladigan o'q bo'ylab tirqish 0,2...0,3 mm dan ortmasligi kerak (6.1-rasmga qarang).

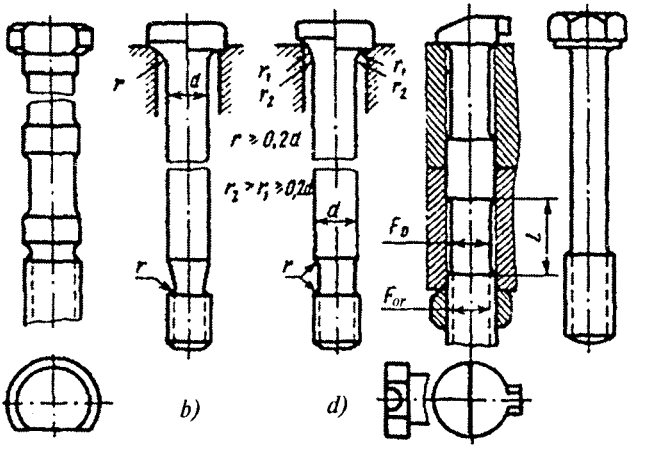
Shatun boltlari dastlabki tortish kuchi va inersiya kuchi yuklamalarining ta'siri ostida bo'ladi. *Boltlarning toliqishga mustahkamligi* tutash doirasida kallakning deformatsiyalanishida sodir bo'ladigan takrorlanuvchi – o'zgaruvchan egilishni bartaraf qiladigan yoki ularning eng kamiga keltiradigan quyidagi konstruktiv tadbirlar hisobiga *oshiriladi*:

- krivoship kallak bikrligini oshirish;
- boltning ingichka qismidan rezbaga, markazlashtiradigan belbog'ga va kallakka o'tishlarni (6.6-b,d rasm) mumkin qadar katta radius $r=(0,15...0,5)d_b$ yoki ikki radius bilan $(r_2>r_1)$ bajarish;
- boltlar kallaklarining tayanch sathlarini kamaytirish (6.6-b rasmga qarang);
- bolt kallagi va shatundagi uning o'rnashadigan joyini tegib turish sathlarining o'zi o'rnashuvchisidan (sferik) foydalanish (6.6-d rasmga qarang);
- rezbani mayda qadamli qilib bajarish va rezbaning botiqligidagi doiralash radiusini ko'paytirish.

Tortishda paydo bo'ladigan buralma kuchlanishdan gaykaning orqasi (teskari)ga ozgina burchakka burib bolt yuksizlantiriladi.

Ajratkichi normal tekislikli krivoship kallagining shatun boltlari, odatda, bir vaqtning o'zida qopqoqning shatunga nisbatan holatini qayd qiladigan o'rnatuvchi bo'lib ham hisoblanadi (6.6-e rasm).

Boltlar 30X, 35X, 40X, 45X, 40XHMA rusumli xromli va xromnikel-molibdenli po'latlardan sovuqlayin cho'ktirish avtomatlarida shtamplash,



6.6-rasm. **Vertikal kesimli kallagi nosimmetrik shaklli (*a*), tayanch sathi kamaytirilgan kallakli (*b*) bolt kallagining va uning shatundagi o'rnashadigan joyiga kontaktli sferik sathli (*d*), o'rnatuvchi elementli (*e*) bo'lgan shatun boltlarining konstruksiyalari.**

keyinchalik rezbani dumalatib ishlov berish (nakatka) hamda termik ishlov berish bilan tayyorlanadi (toblash va toblab bo'shatish). Boltlarning buralib ketishidan holi bo'lish uchun ularning kallagi vertikal kesikli nosimmetrik qilib bajariladi (6.6-a; 6.1-rasmlarga qarang), shatun gavdasida esa yuzalar yoki vertikal pog'onali o'yiq frezalanadi (6.1-rasmga qarang). Ayrim hollarda bolt kallagida qayd qiluvchi chiqiqlar ko'zda tutiladi (6.6-e rasm). Shatun boltlarining gaykasi o'z-o'zini mahkamlovchi hisoblanadi (qirralari bo'yicha qisish) va bolt tayyorlashda ishlatiladigan po'latlardan yoki uglerodli po'latlardan tayyorlanadi.

6.2. SHATUN ELEMENTLARINI MUSTAHKAMLIKKA HISOBLASH

Shatun guruhi elementlari dvigatelning ishlash rejimiga bog'liq holda kattaligi bo'yicha keng oraliqda o'zgaradigan yuklamalar sharoitida ishlaydi.

Shatun elementlariga ta'sir qiluvchi kuchlanishlar, ayniqsa, kuchaytirilgan dvigatellarda yuqori qiymatlarga erishadi, bunda eng katta kuchlanish miqdori bardoshlik chegarasiga yaqinlashishi mumkin.

Shatun guruhining hisobi kuchlanishlarni, deformatsiyalarni va uning elementlarini mustahkamlik zaxirasini aniqlashdan iborat bo'ladi.

Porshen kallagi quyidagi kuchlardan yuklanadi:

- porshen YUCHN da bo'lib kiritish taktini boshlanishida eng katta qiymatga erishadigan kallakni uzadigan porshen komplektining *inersiya kuchi* P_{in} dan;
- YUCHN kengayish taktida eng katta qiymatga erishadigan kallakni siqadigan gazlar bosim kuchi P_z dan.

Porshen kallagining kuchlanish holati P_{in} va P_z kuchlarning birgalikdagi ta'siri hisobga olinib, nominal quvvat rejimida baholandi.

Shatunning porshen kallagida uzuvchi va siquvchi kuchlardan tashqari bronza vtulkani taranglik bilan unga bosib kirgizish natijasida bosim p dan yoki qisib qo'yilgan barmoqdan kuchlanish paydo bo'ladi.

Uzuvchi va siquvchi kuchlar (MN) quyidagi ifodalar bo'yicha aniqlanadi:

$$P_{ch} \approx P_{jp} = -m_p r\omega^2(1+\lambda)\cdot 10^{-6}, \qquad (6.1)$$

$$P_{siq} = p_z F_p - m_p r\omega^2(1+\lambda)\cdot 10^{-6}, \qquad (6.2)$$

Erkin barmoq qo'llanilganda, bosim p ning hisoblashda tutashmadagi yig'indi taranglik $\Delta+\Delta_t$ aniqlanadi, bunda: Δ – bronza vtulkani bosib kirgizishdagi taranglik; $\Delta_t = d\Delta t(\alpha_v - \alpha_{sh})$ – harorat tarangligi; $\Delta t = 100...120^{\circ}C$ – hisoblash rejimidagi porshen kallagi va «sovuq» dvigatel haroratlarining farqi; α_v va α_{sh} – mos holda vtulka va shatun ashyolarining chiziqli kengayish koeffitsiyentlari. Taranglik yig'indisi $(\Delta+\Delta_t)$ katta qiymatlarga erishishi mumkin (0,12...0,14 mm). Bunda vtulka va porshen kallagi orasida paydo bo'ladigan solishtirma bosim (MPa) quyidagiga teng bo'ladi:

- erkin barmoq uchun (6.3-rasmga qarang):

$$p = \frac{(\Delta + \Delta_t)}{d\left[\frac{\left(D_k^2 + d^2\right)/\left(D_k^2 - d^2\right) + \mu}{E_{sh}} + \frac{\left(d^2 + d_{bar}^2\right)/\left(d^2 - d_{bar}^2\right) - \mu}{E_v}\right]}; \qquad (6.3)$$

- qisib qo'yilgan barmoq uchun (6.3-rasmga qarang):

$$p = \frac{\Delta_t E_{sh}}{2d_{bar}^2} \cdot \frac{\left(D_k^2 - d_{bar}^2\right)\left(d_{bar}^2 - d_{ich}^2\right)}{D_k^2 - d_{ich}^2}. \qquad (6.4)$$

(6.3) va (6.4) ifodalardagi E_{sh} va E_v – mos holda shatun hamda vtulka ashyolarining elastiklik moduli, MPa; $\mu = 0{,}3$ – Puasson koeffitsiyenti.

p bosimdan tashqi σ_a' va ichki σ_i' sathlarda paydo bo'ladigan kuchlanishlar Lame ifodasi bo'yicha aniqlanadi (MPa):

- erkin barmoq uchun:

$$\sigma_a' = p\frac{2d^2}{D_k^2 - d^2}, \quad \sigma_i' = p\frac{D_k^2 + d^2}{D_k^2 - d^2}; \qquad (6.5)$$

- qisib qo'yilgan barmoq uchun:

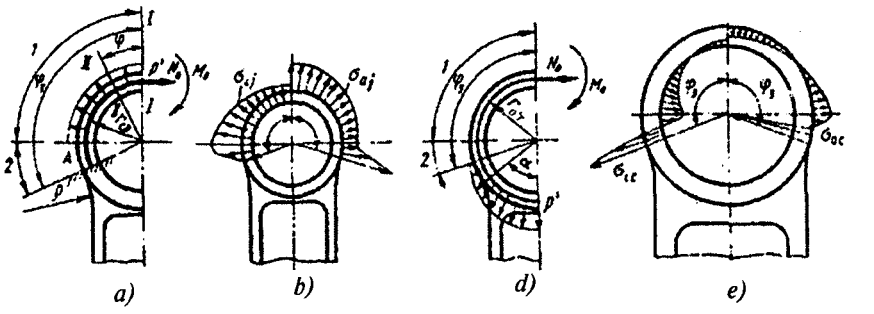
$$\sigma_a' = p\frac{2d_{bar}^2}{D_k^2 - d_{bar}^2}, \quad \sigma_i' = p\frac{D_k^2 + d_{bar}^2}{D_k^2 - d_{bar}^2}. \qquad (6.6)$$

P_{ch} va P_s kuchlardan *porshen kallagidagi cho'zilish va siqilish kuchlanishi* egriligi kam to'sinning bo'lgan quyidagi yo'l qo'yishlarda olingan tenglamasi asosida aniqlanadi:

- P_{ch} kuch $r_{o'r} = \frac{D_k + d}{4}$ radiusda kallakning yuqori yarim aylanasi bo'yicha $p' = P_{ch}/(2r_{o'r})$ jadallik bilan bir tekis taqsimlangan (6.7-a rasm);
- P_s kuch $r_{o'r}$ radiusning pastki yarim aylanasi bo'yicha $p' = P_s \cos\alpha / \pi r_{o'r}$ jadallik bilan taqsimlangan (6.7-d rasm);
- Shatun kallagining sterjenga o'tish joylari (A nuqta) mahkamlangan deb faraz qilinadi (6.7-a rasm);
- kallak shartli ravishda simmetriyaning vertikal o'q chizig'i bo'yicha kesishadi, o'ng qismi olib tashlanadi, qolgan qismiga uning ta'siri esa eguvchi moment M_0 va normal kuch N_0 bilan almashtiriladi. Burovchi momentlar M ni va normal kuchlar N ning kattaligi φ burchakka bog'liq holda $II-II$ kesim uchun topiladi (6.7-*a*, rasmga qarang). M va N lar aniqlanganidan so'ng shatun kallagining ushbu kesimi uchun P_{ch} kuch ta'siridagi kuchlanish hisoblanadi (MPa):

tashqi tolasida

$$\sigma_{aj} = \left[2M\frac{6r_{o'r} + h}{h(2r_{o'r} + h)} + kN\right]\frac{1}{ah}; \qquad (6.7)$$



6.7-rasm. **Porshen kallagida yuklamalarning taqsimlanishi va tashqi hamda ichki sathlarda kuchlanishlar epyuralari:** *a* – cho'zilishda yuklamaning taqsimlanish sxemasi; *b* – cho'zilishda kuchlanishlar epyuri; *d* – siqishda yuklamaning taqsimlanish sxemasi; *e* – siqishda kuchlanishlar epyuri.

ichki tolasida

$$\sigma_{ij}=\left[-2M\frac{6r_{o'r}-h}{h(2r_{o'r}-h)}+kN\right]\frac{1}{ah}, \qquad (6.8)$$

bunda: a–porshen kallagining uzunligi (6.1-rasmga qarang); $h=(D_k-d)/2$–kallak devorining qalinligi. Koeffitsiyent K=0,8...0,85 ta'sir qilayotgan kuchlarni kallak ashyosi emas, unga bosib kiritilgan vtulka qabul qilishini hisobga oladi.

Tashqi tolasida eng katta kuchlanish $\varphi=\varphi_3$ bo'lganda mahkamlangan joylarida paydo bo'ladi (6.7-b rasm).

Hisoblashlarni osonlashtirish uchun M va N larning qiymatlari yordamchi diagrammadan topiladi (6.8-rasm): $M=P_{ch}r_{o'r}f_1(\varphi_3)$, $N=P_{ch}f_2(\varphi_3)$.

P_s kuch ta'siridagi kuchlanish (6.7) va (6.8) ifodalar bo'yicha aniqlanadi. Bunda $M=P_s r_{o'r}f_3(\varphi_3)$ $N=P_s f_4(\varphi_3)$.

P_s kuch ta'siridan kallakning hisoblanadigan kesimidagi kuchlanish nosimmetrik sikl bo'yicha o'zgaradi. Siklning eng katta va eng kichik kuchlanishi $\sigma_{max}=\sigma'_a+\sigma_{aj}$, $\sigma_{min}=\sigma'_a+|\sigma_{as}|$. Mustahkamlik zaxirasi quyidagi ifoda asosida aniqlanadi:

$$n_\sigma=\frac{2\sigma_{-1}}{\frac{\sigma'_a+|\sigma_{as}|}{\varepsilon''_\sigma}+\alpha_\sigma(\sigma_{aj}-|\sigma_{as}|+2\sigma'_a)}. \qquad (6.9)$$

Porshen kallaklarining mustahkamlik zaxirasi 2,5...5,0 oralig'ida yotadi.

Normal ishlashini buzilishiga yo'l qo'ymaydigan chegaraviy diametral deformatsiyaga porshen kallagini hisobi P_s kuch ta'siridan kallakning ko'ndalang diametrini (m) kamayishini aniqlashdan iborat bo'ladi:

$$\Delta d_{max} = \frac{P_{ch} d_{o'r}^3 (\varphi_3 - 90^\circ)}{10^6 E_{sh} I}, \qquad (6.10)$$

bunda: $d_{o'r}$ – kallakning o'rtacha diametri; $I = ah^3/12$ – kallak kesimi yuzasining inersiya momenti. Nisbat $(\Delta d_{max}/d_{o'r}) < 0{,}001 - 0{,}007$ bo'ladi.

Shatun sterjenining kuchlanganlik holati kuchlanishning absolut qiymati va mustahkamlik zaxirasi bo'yicha baholanadi.

Avtotraktor turidagi dvigatellarning hisoblash amaliyotida shatun sterjenining o'rtacha kesimi uchun $H_{o'r}$ bir vaqtda siqish va bo'ylama egilishni hisobga oladigan shartli yig'indi kuchlanishni aniqlash qabul qilingan (6.1-rasmga qarang).

Shatun sterjenini siquvchi kuch (MN)

$$P_s = p_z F_p - (m_p + m_{sh.o'r}) r\omega^2 (1+\lambda) \cdot 10^{-6}, \qquad (6.11)$$

bunda: $m_{sh.o'r}$ – $H_{o'r}$ kesimidan yuqorida joylashgan shatun qismining massasi. $m_p + m_{sh.o'r} \approx m_j$ deb qabul qilinadi.

Uzuvchi kuch (MN)

$$P_{ch} = -m_j r\omega^2 (1+\lambda) \cdot 10^{-6}. \qquad (6.1$$

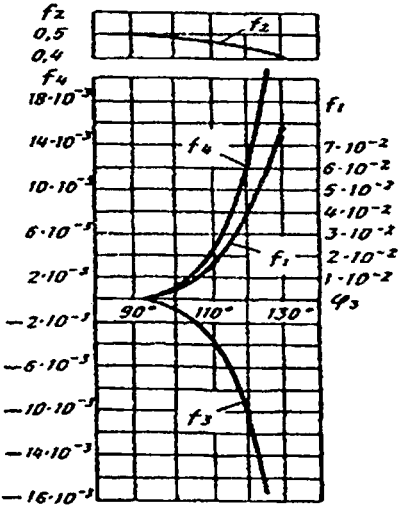
Kiritish taktining boshlanishi bo'lgan porshenning holati YUCHN da bo'lganda uzilish kuchi eng katta bo'ladi.

Tebranish tekisligida *shatun sterjenining egilishdagi kuchlanishi* $\sigma_1 = K_x P_s / f_{o'r}$ va tebranish tekisligiga perpendikulyar bo'lgan tekislikda $\sigma_2 = K_y P_s / f_{o'r}$. Koeffitsienti $K_x \approx K_y \approx 1{,}10 \ldots 1{,}15$ va shatun sterjenining bo'ylama egilishini shartli ravishda hisobga oluvchi kuchlanish mos holda yig'indi kuchlanishlarning 10–15% dan ko'p bo'lmaganini tashkil etadi.

O'rtacha kesimi uchun shatunning *cho'zuvchi kuchlanishi* $\sigma_{ch} = P_{ch} / f_{o'r}$.

σ_1 va σ_2 larning qiymatlari 160–250 MPa ga erishadi. Shatun sterjenining mustahkamlik zaxirasi avtomobil dvigatellari uchun 2–2,5 oralig'ida, traktor dvigatellari uchun 2,5–3,0 oralig'ida yotadi.

Shatun sterjenining *teng mustahkamliligi* $n_{\sigma_1} \approx n_{\sigma_2} \approx n_{\sigma_{f\min}}$ tenglik bajarilganda ta'minlanadi.



6.8-rasm. **Eguvchi moment *M* va normal kuch *N* ning bekilish burchagiga bog'liqligini aniqlash uchun yordamchi diagramma.**

Mustahkamlik zaxirasi $n_{\sigma f\min}$ shatun sterjenining eng kichik kesimi $H_{\min}$ uchun aniqlanadi (6.1-rasmga qarang). Kuchlanish $\sigma_s = P_s / f_{min}$; $\sigma_{ch} = P_{ch} / f_{min}$, MPa. P_s va P_{ch} kuchlar $H_{\min}$ kesimdan yuqorida joylashgan qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi massalar uchun hisoblanadi.

Shatun qopqog'i ilgarilanma va aylanma harakatlanuvchi massalarning inersiya kuchlaridan yuklanadi (shatun qopqog'i massasi hisobga olinmaganda). Qopqoqni deformatsiyalaydigan kuch P_{ch}, MN, $n_{salt.yur.max}$ rejimida aniqlanadi:

$$P_{ch} = -[\, m_j r\omega^2_{s.yu.max}(1+\lambda) + (m_{shk} - m_{qop}) r\omega^2_{s.yu\,max}\,] \cdot 10^{-6}, \qquad (6.13)$$

bunda: m_{qop} – qopqoq massasi. P_{ch} kuch eng katta qiymatiga kiritish taktining boshlanishi YUCHN da erishadi.

Qopqoqni hisoblashda quyidagi *yo'l qo'yishlar* taxmin qilinadi:

- kallak va podshipnik ichquymasi birgalikda deformatsiyalanadi; bunda eguvchi momentlar ichquyma va qopqoq orasida ularning ko'ndalang kesimining inersiya momentiga proporsional taqsimlanadi;
- tutash sath absolut deformatsiyalanmaydigan deb faraz qilinadi, bunga bog'liq holda krivoship kallakning yuqori qismi qopqoq bilan yaxlit deb qaraladi;
- kallakning sterjenga o'tish joyi mahkamlangan deb nazarda tutiladi.

Qopqoqning hisoblanadigan kesimi qilib uning o'rtacha kesimi, hisoblash to'sinining egrilik radiusi qilib esa boltlar orasidagi masofaning yarmi $C/2$ qabul qilinadi. Taxminiy so'nggi hisoblash ifodasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\sigma = P_{ch}\left[\frac{0{,}023C}{\left(1 + J_{ich} / J_{qop}\right)W} + \frac{0{,}4}{F_{qop} + F_{ich}}\right] \text{ MPa},$$

bunda: J_{qop} va J_{ich} – qopqoq va ichquyma kesimlarining inersiya momentlari; F_{qop} va F_{ich} – qopqoq va ichquymaning ko'ndalang kesimini yuzasi; W – qopqoqning hisoblash kesimi $I–I$ dagi egilishga qarshilik momenti. Kuchlanish σ 100...150 MPa oralig'ida bo'ladi.

Shatun boltlarining kuchlanganlik holati mustahkamlik zaxirasi bo'yicha baholanadi. Shatun boltlari uchun asosiy yuklama bo'lib (6.13) tenglama bo'yicha aniqlanadigan P_{ch} kuch va boltning dastlabki tortilishini statik kuchi $P_{d.t}$ hisoblanadi. Har bir bolt $P'_{ch} = \overline{P}_{ch} / i_b$ kuch bilan yuklanadi, bunda: i_b – boltlar soni. Krivoship kallagining qopqog'i ko'p hollarda ikki shatun boltlari bilan mahkamlanadi.

Boltlar ish qobiliyatining buzilishi asosiy yuklama ta'siridan tashqari quyidagilar tufayli ham bo'lishi mumkin:

- boltlarning dastlabki tortish kuchi yetarlicha bo'lmasligi, bunda tutashmaning ochilishi va uning sathlarida qoplama qattiq yuza paydo bo'lishi bilan kuzatiladi;
- tortilishning keyinchalik kuchsizlanishi bilan ashyoning oquvchanligi kuzatiladigan boltlarning yig'ishdagi haddan tashqari tortilishi;

• krivoship kallakning bikrligini yetarlicha bo'lmasligi va bolt hamda gaykaning tayanch sathlarining noparallelligi tufayli paydo bo'ladigan egilish kuchlanishlari.

Ishlash paytida bolt qo'shimcha *siklik kuch* $\chi P'_{ch}$ bilan yuklanadi. Rezbali birikmaning asosiy yuklamasining koeffitsiyenti χ bolti λ_b va krivoship kallakning λ_{sh} tortiladigan qismlarining birgalikdagi deformatsiyalanish sharoitidan kelib chiqqan holda aniqlanadi:

$\lambda_b = \chi P'_{ch} K_b$; $\lambda_{sh} = (1-\chi) P'_{ch} K_{sh}$, bunda: K_b va K_{sh} – mos holda bolt va krivoship kallakning tortiladigan qismlarini moyilligi. $\Delta\lambda_b = \Delta\lambda_{sh}$ bo'lgan sharoitda kattalik $\chi = K_{sh}/(K_{sh}+K_b)$ bo'ladi. Statik ma'lumotlarga asosan $\chi = 0{,}15...0{,}25$.

Dastlabki tortish kuchi $P_{d.t} > (1-\chi)P'_{ch}$ shartidan kelib chiqqan holda aniqlanadi. Bunga bog'liq holda zaxira koeffitsiyenti m=2...2,5 deb qabul qilinadi. Natijada boltning yuklantiradigan eng katta va eng kichik kuch quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_{max} = P_{d.t} + \chi P'_{ch}; \quad P_{min} = P_{d.t} = m(1-\chi)P'_{ch}.$$

Boltdagi kuchlanish $\sigma_{max} = P_{max}/F_{or}$, bunda: F_{or} – rezbali qismi bo'yicha boltning eng kichik kesimi yuzasi (6.6-e rasmga qarang).

Zaxira koeffitsiyenti n_σ 2,0 dan kam bo'lmasligi kerak.

VII BOB
TIRSAKLI VAL
7.1. KONSTRUKSIYALAR BO'YICHA SHARH

Tirsakli val kattaligi va yo'nalishi bo'yicha o'zgaruvchan gazlar hamda inersiya kuchlarini va ularning momentlarini qabul qilib, egilish va buralish deformatsiyalari, shuningdek, dvigatelning ishlashida bo'ladigan eguvchi va buralma tebranishlar deformatsiyalari ostida ham bo'ladi. Bularning hammasi tirsakli val elementlarining toliqishdagi buzilishiga olib kelishi mumkin.

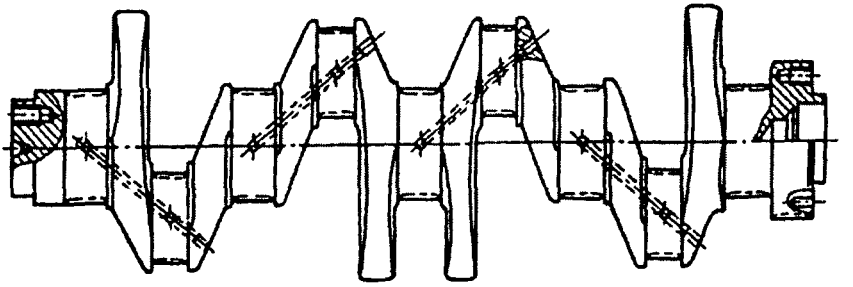
Bu sabablarga ko'ra, zamonaviy kuchaytirilgan dvigatelning tirsakli vali ko'proq shikastlanadigan detallardan biri bo'lib hisoblanadi.

Avtomobil va traktor dvigatellari tirsakli vallarining tayyorlash uchun ashyo sifatida 45, 45X, 40XΦA, 42XMΦA, 18X2H4BA po'latlar ishlatiladi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarning tirsakli vallari uchun kulrang va bolg'alangan cho'yanlar yetarlicha keng miqyosda qo'llaniladi. Cho'yandan tayyorlangan vallarning afzalliklariga narxining kamligi, mexanik ishlov berish uchun ajratiladigan qatlamning kamayishi va po'lat prokatning tejalishi hisoblanadi.

Biroq ular hozirgi paytda dizellarda keng miqyosda qo'llanilmaydi, chunki cho'yanning toliqish chegarasi po'latga qaraganda ancha kam, shuning uchun val elementlarining cheklangan o'lchamlarida dizelda kerakli mustahkamlik zaxirasini ta'minlash murakkab hisoblanadi.

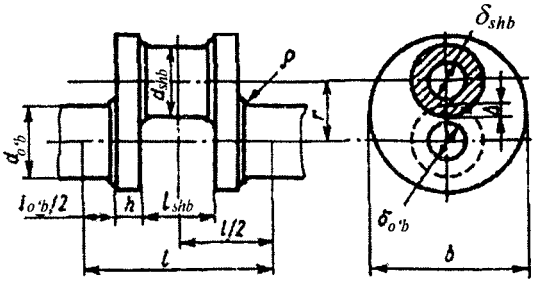
Valning konstruksiyalashda turli kategoriyali dvigatellar uchun val elementlarining nisbiy o'lchamlari bo'yicha statik ma'lumotlardan keng foydalaniladi. 7.1-jadvalda avtotraktor dvigatellari uchun bunday statik ma'lumotlar keltiriladi.

7.1-rasmda misol sifatida to'rt silindrli to'rt taktli dvigatelning po'lat tirsakli vali; 7.2-rasmda esa cho'yandan quyilgan tirsakli val ko'rib chiqilgan. 7.2-rasmdan ko'rinishicha quyma valda toliqish mustahkamligini yuqori bo'lishini ta'minlovchi bo'yin va jag'larning ichki sathlarini eng maqbulroq shaklini berish mumkin.

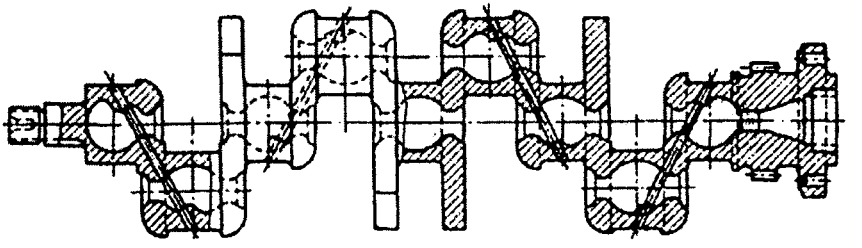


7.1-rasm. **Po'latdan tayyorlangan tirsakli val.**

7.1-jadval



O'lchamlar	Dvigatel			
	Uchqundan o't oldiriladigan		dizel	
	chiziqli	V simon	chiziqli	V simon
$d_{o'b}/D$	0,65...0,80	0,63...0,75	0,72...0,90	0,70...0,75
d_{shb}/D	0,60...0,70	0,57...0,66	0,64...0,75	0,65...0,72
$\ell_{o'b}/d_{o'b}$ *	0,50...0,60	0,40...0,70	0,45...0,60	0,40...0,55
	0,74...0,84	0,70...0,88	0,70...0,85	0,65...0,86
ℓ_{shb}/d_{shb}	0,45...0,65	0,80...1,00	0,50...0,65	0,80...1,00
b/D	1,00...1,25		1,05...1.30	
h/D	0,20...0,22		0,24...0,27	
Δ/d_{shb}	-		0,30...0,40	
ρ/h	0,15...0,20		0,15...0,23	
δ_{shb}/d_{shb}	-		0...0,5	

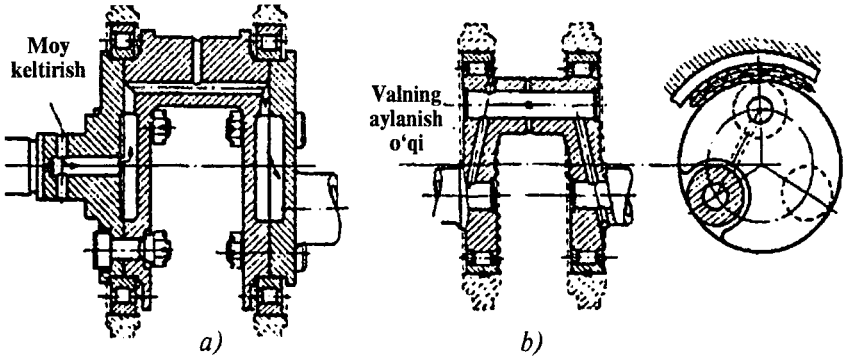


7.2-rasm. **Cho'yandan tayyorlangan tirsakli val.**

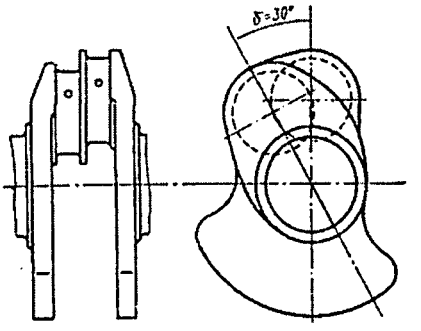
Vallar, odatda, sirpanish podshipniklarga o'rnatiladi. Yumalash podshipniklarini tarkibiy (7.3-*a* rasm) va monolit (7.3-*b* rasm) tirsakli val konstruksiyalarida qo'llash mumkin.

Zamonaviy dvigatellarning tirsakli vallari ko'p hollarda to'liq tayanchli qilib bajariladi, ya'ni o'zak bo'yinlarining soni $i+1$ ta bo'lgan, bunda: i—val krivoshiplarining soni. Valning bunday konstruksiyalari katta bikrlikni, shuning uchun blok-karter, o'zak podshipniklar va tirsakli valning o'zini ham qulay sharoitda ishlashini ta'minlaydi.

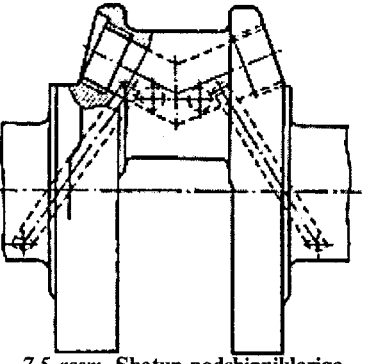
* Maxrajda chekkadagi o'zak bo'yinlar uzunligi keltirilgan.



7.3-rasm. **Yumalash podshipniklariga tarkibiy *(a)* va monolit *(b)* tirsakli valni o'rnatish.**



7.4-rasm. **Siljitilgan shatun bo'yinli krivoship.**



7.5-rasm. **Shatun podshipniklariga moy keltirish.**

Bir qator xorijiy va yurtimizning *V* simon dvigatellarini chap va o'ng qatoridagi bir xil nomlangan silindrlarining shatun bo'yinlari ishchi yo'llarning bir tekis almashinishi uchun bir-biriga nisbatan δ burchakka (2-bobga qarang) siljigan avtonom qilib bajariladi. 7.4-rasmda olti silindrli *V* simon YAMZ–KAZ–642 dvigatelining shunday krivoshipi ko'rsatilgan.

Tirsakli valning ishonchli ishlashiga blokning o'zak tayanchlarini noo'qdoshligi va val o'zak bo'yinlarining urishi katta ta'sir qiladi.

Blok o'zak tayanchlarining noo'qdoshligi texnik shartida kelishilgan chegaradan chiqmasa, val mustahkamlik zaxirasining kamayishi 13% dan ortmasligi NATI tadqiqotlari bilan o'rnatilgan. Noo'qdoshlik bu chegaradan oshgan taqdirda mustahkamlik zaxirasi keskin kamayadi, 0,1...0,15 mm ekssentrtetda 30...50% gaerishadi. Val bo'yini – podshipnik juftining notekis yeyilishida ham shunga o'xshash samara kuzatiladi. Bunda tirsakli valning mustahkamligiga o'zak bo'yinga qaraganda o'zak tayanchlarning noo'qdoshligi katta ta'sir qiladi. NATI tadqiqotlari podshipniklarning yeyilishini notekisligi 0,05...0,06 mm bo'lganda tirsakli valning sinish xavfi paydo bo'lishini ko'rsatgan.

Zamonaviy dvigatellarning tirsakli vallari konstruksiyasining o'ziga xosligi o'zak va shatun bo'yinlarining diametrlarini nisbatan kattaligi hisoblanadi, bu bo'yinlarning bir-birini ichiga kirishiga olib keladi (7.1-jadvalga qarang) va tirsakli valning egilishga bikrligini oshirishga yordam beradi. Shatun bo'yinlarida mexanik zarrachalarni ushlab qoluvchi bo'shliqli qilib tayyorlanadi (7.5-rasm). Bu bo'shliqlar krivoshipning muvozanat-lanmagan massasini kamaytiradi, bu posangilar massasini ham birmunchaga kamaytirishga imkon beradi.

Valning jag'i ellipssimon, to'g'riburchakli yoki doirasimon qilib bajariladi. Zamonaviy avtotraktor dvigatellari jag'larining geometrik parametrlari 7.1-jadvalda keltirilgan.

Jag'lar shaklini qabul qilishda bo'yinlar tutashmalariga kuchlarning uzatmaydigan jag'lar elementlari hisobiga metallni eng maqbul ishlatilishiga alohida ahamiyat berilishi kerak. Bunday holatda avtomobil dvigateli tirsakli valining massasini uning mustahkamligini kamaytirmasdan 7...8% ga kamaytirishga erishiladi.

Jag'lardan bo'yinlarga o'tish (galtellar) joylari (0,05...0,07) radius bilan bir tekis qilib bajariladi.

Ba'zi konstruksiyalarda galtellar ikki yoki uch radiusli yoki ichi o'yilgan (7.6-rasm) qilib bajariladi, bu ichquymalarning tayanch uzunligini saqlagan holda egilishga kuchlanishlar konsentratsiyasini kamaytiradi.

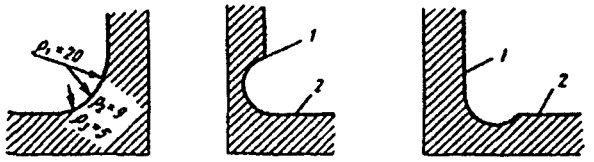
Tirsakli vallarni konstruksiyalashda birdan-bir eng muhim masalalar bo'lib krivoshiplarning joylashish sxemasini tanlash hisoblanadi. Ushbu konstruktiv parametrga dvigatelning muvozanatlanganligi, uning ravon ishlashi, tirsakli valning buralma tebranishlarini parametrlari hal qiluvchi tarzda bog'liq.

Ushbu masalaning yechilishida qoidaga ko'ra, ustuvorlik darajasi quyidagi tarzda taqsimlanadi:

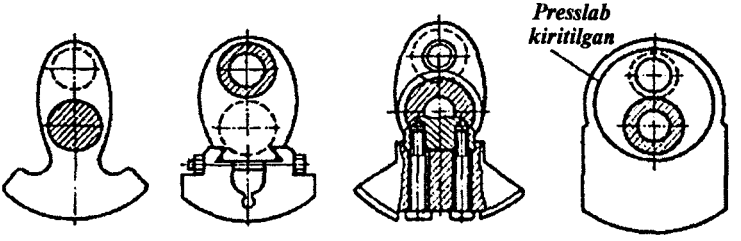
- dvigatelning ishchi yo'li almashinuvining bir tekisligini ta'minlash va eng maqbul tartibda ishlashini tanlash;
- inersiya kuchlari va ularning momentlaridan dvigatelning tashqi muvozanatlanganlik darajasi;
- dvigatelning ichki muvozanatlanganligiga nisbatan oddiy usulda eng yuqori darajada erishish mumkinligi;
- asosiy va kuchli garmonik burovchi momentlarning buralma tizimning tebranishlarini pastsimon chastotalari diapazoni orti oralig'iga siljitish mumkinligi.

Dvigatelni loyihalashda posangilarning sonini, o'lchamlarini tanlash va ularni joylashtirish masalasi eng muhim hisoblanadi, u eng kam metall sig'imiga ega bo'lgan holida dvigatelning tashqi muvozanatlanganligini ta'minlashi va ichki nomuvozanatlanganligini eng kamiga keltirishi kerak.

Posangilar konstruktiv nuqtayi nazaridan yoki tirsakli val bilan yaxlit qilib bajariladi yoki jag'larning davomiga avtonom element ko'rinishida o'rnatiladi. Ularning ba'zi konstruksiyalari 7.7-rasmda ko'rsatilgan.



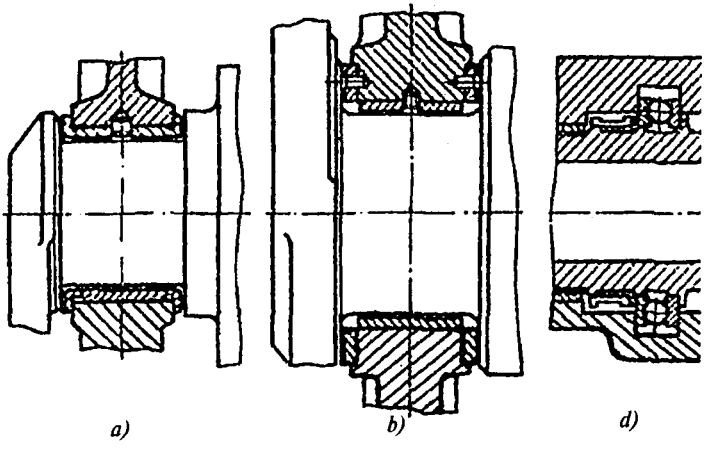
7.6-rasm. **Galtellarning shakllari:**
a – ko'p radiusli; *b* – jag'da ichi o'yilgan; *d* – bo'yinda ichi o'yilgan.
1 – jag'; *2* – bo'yin.



7.7-rasm. **Tirsakli valning jag'i va posangilarining shakli.**

Tirsakli valning karterga nisbatan o'q bo'ylab qayd qilinishi tirak halqalar (7.8-*b* rasm), ichquymalarning yon devori (7.8-*a* rasm) yoki tirak podshipniklar bilan ta'minlanadi (7.8-*d* rasm).

Tirak halqalar bronzadan, po'latdan yoki metall keramikadan tayyorlanadi. Po'lat halqalar va ichquymalarning tirak yon devorlari ishqalanishni kamaytiruvchi moddalardan quyib tayyorlanadi. Halqalar shtiftlar yordamida burilishidan saqlab turiladi. O'q bo'ylab tirqishlar 0,05...0,15 mm oralig'ida o'rnatiladi.



7.8-rasm. **Tirsakli valning tirak podshipniklari:**
a – chiqiqli ichquyma; *b* – tirak halqa;
d – tirak zoldirli podshipnik.

O'zak podshipniklarga moy bosh moy magistralidan ularning tashqi sathlarini kam yuklangan doirasiga keltiriladi.

Shatun podshipniklarga moy jag'lardagi parmalangan teshiklar va shatun bo'yindagi radial teshiklar bo'yicha keltiriladi (7.5-rasmga qarang).

7.2. TIRSAKLI VALNI MUSTAHKAMLIKKA HISOBLASH

Tirsakli val murakkab shaklga ega bo'lgan va o'zgaruvchan kuchlarning fazoviy tizimi bilan yuklangan ko'p tayanchli statik belgilab bo'lmaydigan konstruksiya ko'rinishiga ega.

Hozirgi paytda mustahkamlikka hisoblashda kesimli sxemasi deb ataladigani kengroq tarqalgan, bunga mos holda tirsakli valdan o'zak podshipniklarning o'rtasidan krivoship kesib olinadi va u ikki tayanchli to'sin sifatida ko'rib chiqiladi.

R.S.Kinasoshvilining tadqiqotlari bilan valning kesimli yoki kesimsiz sxemasi bo'yicha mustahkamlikka hisoblaganda olingan natijalar amaliy foyda nuqtayi nazaridan jiddiy ahamiyatga ega emasligi o'rnatilgan. O'zak podshipniklarning mustahkamlik zaxirasi deyarli bir xil, shatun bo'yinlariniki kesimli val sifatida hisoblashda 5...10% ga kam bo'ladi va faqat jag' uchun hisoblash natijalari jiddiy farqlanadi. Masalan, chekkadagi jag'larning kesimli val sifatida qarab hisoblashda mustahkamlik zaxirasi kesimsiz hisoblanganiga qaraganda 30...40% ga kam bo'ladi; oraliq jag'lar uchun bu farq yanada ko'p bo'ladi.

Biroq valning kesimsiz sxemasi bo'yicha hisoblashni kiritish zarurati to'g'risida xulosa qilish faqat tayanchlari va o'zak bo'yinlari o'qdoshmasligini, foydalanish jarayonida ularning notekis yeyilishini hamda karter va bo'yinlar tayanchlarini dinamik deformatsiyalanishi kabi qiyin bashorat qilinadigan omillarning hisoblashda yetarlicha aniq hisobga olish mumkin bo'lganida ahamiyatga ega bo'lur edi.

Yuqorida bayon qilinganlarni e'tiborga olib, valning kesimli sxemasi bo'yicha hisoblash usulini ko'rib chiqish bilan cheklanamiz. Bunda o'zak va shatun bo'yinlarining mustahkamlik zaxirasini moy keltiruvchi kanallar kesimlarida, jag'lar uchun esa ularning bo'yin bilan tutashgan joyida, ya'ni galtellarda aniqlaymiz.

Tirsakli valning mustahkamligi quyidagi omillar bilan aniqlanadi:

- valning ayrim elementlarining o'lchamlari va shakli;
- moy kanallari, galtellar qirralarida va boshqa o'tish joylarida kuchlar konsentratorlarining mavjudligi;
- ashyoning mustahkamlik tavsiflari σ_B, σ_{-1}, σ_T, τ_B, τ_{-1}, τ_T;
- valning tayyorlashda mustahkamlashni konstruktiv va texnologik usullaridan foydalanganligi;
- ichki tartiblangan tuzilishlarini mavjudligi va yo'nalishi, tirsakli valning tayyorlash usuliga bog'liq bo'lgan tolalarning joylashishi.

Dvigatel loyihalanayotganda valning ayrim elementlarini o'lchamlari loyihalanayotgan dvigatelning konstruksiyasini o'ziga xosligi va kuchaytirilganlilik darajasi e'tiborga olingan holda 7.1-jadvalda keltirilgan statik

ma'lumotlarga asosan beriladi. Bundan so'ng valning har bir elementining kuchlanganlik holatini baholanishi amalga oshiriladi.

O'zak bo'yinlarini hisoblash. O'zak bo'yinlari asosan burovchi moment bilan yuklanadi, chunki bo'yinning nisbiy uzunligi kam bo'lganligi tufayli ularning egadigan momentlar kattaligi kam. Shuning uchun o'zak bo'yinlarining mustahkamlik zaxirasini faqat urinma kuchlanish bo'yicha baholash qabul qilingan.

Hisoblashning ketma-ketligi quyidagicha:

- dvigatelning dinamik hisoblashdagi ma'lumotlar bo'yicha jadval tuziladi yoki ayrim o'zak bo'yinlar uzatadigan yugurib urilish burovchi momentlarining chiziqli tasviri quriladi (dinamik hisoblashga qarang). Hisoblash yugurib uriladigan buruvchi momentning eng katta amplitudasi bo'ladigan bo'yin uchun bajariladi;
- urinma kuchlanishning eng katta va eng kichik qiymatlari aniqlanadi (MPa):

$$\tau_{\max} = \frac{M_{bur\max}}{W_{o'b}}, \quad \tau_{\min} = \frac{M_{bur\min}}{W_{o'.b}}, \qquad (7.1)$$

bunda: $W_{o'.b} = \frac{\pi}{16} d^3_{o'.b} \left[1 - \left(\frac{\delta_{o'.b}}{d_{o'.b}} \right) \right]$ – bo'yinning buralishga qarshilik momenti, m^3;

- sikldagi amplitudaviy va o'rtacha kuchlanish aniqlanadi (MPa):

$$\tau_a = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{2} \quad \text{va} \quad \tau_m = \frac{\tau_{\max} + \tau_{\min}}{2}; \qquad (7.2)$$

- nosimmetrik siklli yuklanishda amplitudalar chegarasi diagrammasining I doirasi uchun mustahkamlik zaxirasi aniqlanadi:

$$n_\tau = \frac{\tau_1}{(K_\tau / \varepsilon_\tau)\tau_a + \alpha_\tau \tau_m}. \qquad (7.3)$$

n_τ ni aniqlash uchun kuchlanishlar konsentratsiyasining samarali koeffitsiyentini masshtab va texnologik omillar ko'paytmasiga bo'lgan nisbati $K_\tau / \varepsilon_\tau$ ni bilish zarur. Bu nisbatning kattaligi ko'p omillarga, avvalombor, valning konstruktiv o'ziga xosligiga bog'liq. Taxminiy hisoblashlar uchun R.S.Kinasoshvili $K_\tau / \varepsilon_\tau = 2{,}5$ deb qabul qilishni tavsiya etadi.

Dvigatel vallarining o'zak bo'yinlari uchun foydalanishda o'zini yaxshi ko'rsatgan n_τ ning qiymati quyidagi oraliqda yotadi: avtomobil dvigatellari uchun $n_\tau = 3...4$, traktor dvigatellari uchun $n_\tau = 4...5$.

Shatun bo'yinlarini hisoblash. Shatun bo'yinlariga bir vaqtning o'zida o'zgaruvchan burovchi va eguvchi momentlar ta'sir qiladi. Bu momentlarning ekstremal qiymatlari vaqt bo'yicha mos kelmasligi tufayli urinma va normal kuchlanishlar bo'yicha mustahkamlik zaxirasini alohida-alohida aniqlash qabul qilingan, so'ngra natijaviy mustahkamlik zaxirasi topiladi.

Bunda urinma kuchlanish bo'yicha mustahkamlik zaxirasini hisoblash o'zak bo'yinlari mustahkamlik zaxirasini aniqlash ketma-ketligida olib boriladi, faqat burovchi momentlarning qiymatlari jadvallar yoki shatun bo'yniga yugurib uriluvchi burovchi momentlarning chiziqli tasvirlari bo'yicha aniqlanadi.

Normal kuchlanishlar bo'yicha mustahkamlik zaxirasini aniqlashda ishlatiladigan hisoblash sxemasi 7.9-rasmda keltirilgan. Soddalashtirish uchun bu yerda krivoship simmetrik va jag'lar hamda posangilarning markazdan qochma kuchlari bir chiziqda yotadi deb qabul qilingan.

Hisoblash ketma-ketligi quyidagicha:

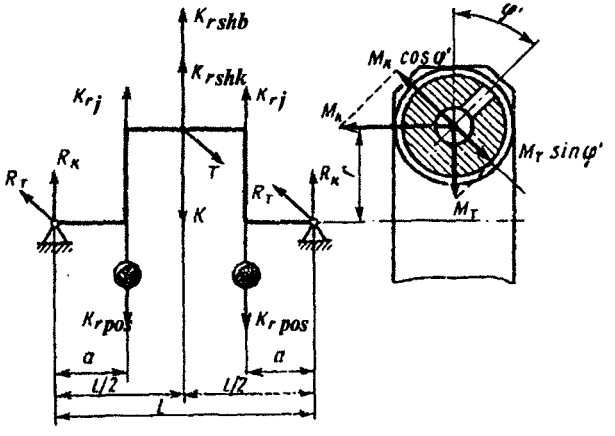
● moy keltirish kanali kesimida krivoship tekisligida M_K va krivoship tekisligiga perpendikulyar bo'lgan tekislikda M_T eguvchi momentlar aniqlanadi:

$$M_k = R_k \frac{\ell}{2} + (K_{rj} - K_{rpos})\left(\frac{1}{2} - a\right), \qquad (7.4)$$

bunda: $R_k = \frac{K}{2} - \frac{K_{r.shk} + K_{r.shb} + 2K_{rj} - 2K_{r.pos}}{2} = \frac{K - K_r}{2}$;

$$M_T = R_T \frac{\ell}{2}, \quad \text{bunda:} \quad R_T = \frac{T}{2}. \qquad (7.5)$$

Bu ifodalarda: K–krivoship bo'ylab ta'sir qiluvchi kuch; K_{rshk} – krivoshipga taalluqli bo'lgan shatun massasini markazdan qochma inersiya kuchi;



7.9-rasm. **Krivoshipning hisoblash sxemasi.**

K_{rshb} – shatun bo'yinning markazdan qochma inersiya kuchi; K_{rj} – jag'ning markazdan qochma inersiya kuchi; K_{rpos} – posangining markazdan qochma inersiya kuchi; $K_r = (m_{shk} + m_k) r\omega^2 \cdot 10^{-6}$ – aylanuvchi massalarning markazdan qochma inersiya kuchi, MN; T–tangensial kuch.

K va T kuchlarning qiymatlari va ularning tirsakli val burilish burchagi bo'yicha o'zgarishi jadvallardan yoki dinamik hisoblashning chiziqli tasvirlaridan olinadi.

Yig'indi eguvchi momentning moduli $M = \sqrt{M_K^2 + M_T^2}$ ga teng bo'ladi. Valning aylanishida uning ta'sir tekisligi va kattaligi o'zgarib turadi. Bo'yinda kuchlanishning eng kam konsentratsiyasi moy keltirish teshigining qirralarida bo'ladi, u holda shatun bo'yinning toliqishdan buzilishini ehtimolligi ko'rsatilgan doirada ko'proq.

Moy keltiruvchi kanal tekisligida ta'sir qiluvchi eguvchi moment quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi (7.10-rasm):

$$M_{\varphi'} = M_K \cos\varphi' + M_T \sin\varphi' . \qquad (7.7$$

Bu momentning ekstremal qiymati ikki usul bilan aniqlanishi mumkin:
1) 7.2-jadval yordamida (1-shakl);

7.2-jadval

φ	K	R_K	$R_K \ell/2$	M_K	$M_K \cos\varphi'$	T	R_T	M_T	$M_T \sin\varphi'$	$M_{\varphi'}$
0										
30										
.										

2) qutbli diagramma yordamida (7.10-rasm), bunda (MN·m);

$$M_{\varphi'\max} = \overline{\Pi}_{o'b} A_1 \frac{m_p}{2} \frac{l}{2}, \qquad (7.8)$$

$$M_{\varphi'\min} = \overline{\Pi}_{o'b} A_2 \frac{m_p}{2} \frac{l}{2}, \qquad (7.9)$$

bunda: m_p – diagrammaning kuch masshtabi (dinamik hisobga qarang, MN/mm); l – silindr o'q chiziqlari orasidagi masofa, m;

• $M_{\varphi'\max}$ va $M_{\varphi'\min}$ larni aniqlab, shatun bo'yinining eng katta va eng kichik egilish kuchlanishi topiladi:

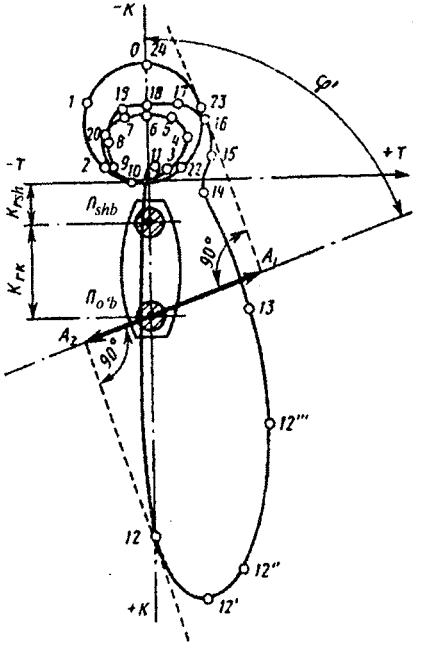
$$\delta_{\max} = \frac{M_{\varphi'\max}}{W_{\sigma shb}} \quad \text{va} \quad \delta_{\min} = \frac{M_{\varphi'\min}}{W_{\sigma shb}},$$

bunda: $W_{\sigma shb} = \frac{\pi}{32} d_{shb}^3 \left[1 - \left(\frac{\sigma_{shb}}{d_{shb}}\right)\right]$ – shatun bo'yinning egilishga qarshilik momenti, m^3;

σ_{max} va σ_{min} larning aniq qiymatlari bo'yicha amplituda, o'rtacha kuchlanish va mustahkamlik zaxirasi aniqlanadi:

7.3-jadval

Mustahkamlik chegarasi, MPa	K_σ	K_τ	Mustahkamlik chegarasi, MPa	K_σ	K_τ
60	2,00	1,8	90	2,15	1,9
70	2,05	1,8	100	2,20	1,9
80	2,10	1,85	120	2,30	2,0



7.10-rasm. **Shatun bo'yinining egilishdagi hisob sxemasi.**

$$n_\delta = \frac{\sigma_{-1}}{(K_\sigma/\varepsilon_\delta)\sigma_a + \alpha_\delta \sigma_m}. \qquad (7.10)$$

K_σ va K_τ larning qiymatlari 7.3-jadval bo'yicha aniqlanishi mumkin ($a/d = 0{,}05...0{,}15$ bo'lganda), masshtab va texnologik omillar esa 7.4-jadval bo'yicha;

- n_τ va n_σ larni aniqlab, shatun bo'yinning umumiy mustahkamlik zaxirasi aniqlanadi:

$$n = \frac{n_\tau n_\sigma}{\sqrt{n_\tau^2 + n_\sigma^2}}. \qquad (7.11)$$

Avtomobil dvigatellarining shatun bo'yinlarini mustahkamlik zaxirasi 2,5–3,0 va traktor dvigatellari uchun esa 3–3,5 oralig'ida yotadi. Zamonaviy kuchaytirilgan dvigatellarda n=2,0–2,5.

7.4-jadval

Bo'yinning diametri, mm	Uglerodli po'lat		Legirlangan po'lat	
	ε_σ	ε_τ	ε_σ	ε_τ
80...100	0,73	0,72	0,64	0,72
100...120	0,70	0,70	0,62	0,70
120...150	0,68	0,68	0,60	0,68

Jag'larni hisoblash. Jag'lar ikki tekislikda egilish, cho'zilish, siqilish va buralish xavfi ostida bo'ladi, ya'ni ular tirsakli valning eng murakkabroq yuklangan elementlari bo'lib hisoblanadi. Mustahkamlik zaxirasi kuchlanishlar konsentratsiyasi ko'p bo'lgan joy galtellarda aniqlanadi.

• *Normal kuchlanish bo'yicha mustahkamlik zaxirasi.*

Krivoship tekisligidagi eguvchi moment quyidagiga teng:

$$M_{e.j} = R_k a, \tag{7.12}$$

bunda:

$$R_k = \frac{K - K_r}{2}. \tag{7.13}$$

Egilish va cho'zilish (siqilish) dan yig'indi normal kuchlanish (MPa):

$$\sigma_j = \frac{M_{e.j}}{W_{e.j}} + \frac{R_k}{f_j} = \frac{K - K_r}{2}\left(\frac{a}{W_{e.j}} + \frac{1}{f_j}\right) \tag{7.14}$$

Eng katta kuchlanish (MPa):

$$\sigma_{j.\max} = \frac{K_{\max} - K_r}{2}\left(\frac{a}{W_{e.j}} + \frac{1}{f_j}\right).$$

Eng kichik kuchlanish (MPa):

$$\sigma_{j.\min} = \frac{K_{\min} - K_r}{2}\left(\frac{a}{W_{e.j}} + \frac{1}{f_j}\right).$$

Kuchlanish amplitudasi (MPa):

$$\sigma_{aj} = \frac{K_{\max} - K_{\min}}{4}\left(\frac{a}{W_{e.j}} + \frac{1}{f_j}\right), \tag{7.15}$$

bunda: $W_{e.j} = bh^2/6$ – egilishga jag'larning qarshilik momenti, m^3; $f_j = bh$ – jag'larning hisoblash kesimi yuzasi, m^2; b – o'lcham shatun bo'yinning galteli kesimi bo'yicha qabul qilinadi.

Krivoship tekisligiga perpendikular bo'lgan tekislikda jag'ning egilishdagi kuchlanishi hisoblashda ishtirok etmaydi, chunki qarshilik momenti $W = hb^2/6$ ning kattaligi ko'p bo'lganligi tufayli ular kam.

Normal kuchlanish bo'yicha jag'larning mustahkamlik zaxirasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$n_{\sigma j} = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \varepsilon_\sigma \sigma_{aj}}.$$

O'rtacha kuchlanish e'tiborga olinmaydi, chunki u kam.

$K_\sigma / \varepsilon'_\sigma$ nisbatni 2,0–2,5 ga teng deb qabul qilish mumkin.

• *Urinma kuchlanish bo'yicha mustahkamlik zaxirasi.*

Jag'ning buralishini quyidagi moment keltirib chiqaradi:

$$M_{bur.j} = R_1 a = \frac{Ta}{2} \qquad (7.16)$$

Tangensial kuch T ning eng katta va eng kichik qiymatlari dinamik hisoblash ma'lumotlari bo'yicha aniqlanadi.

Buralishga jag'ning qarshilik momenti

$$W_{bur.j} = \alpha b h^2, \qquad (7.17)$$

bunda: $\alpha - b/h$ nisbatga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent.

Yetarlicha aniqlik darajasi bilan uni quyidagi ifodadan aniqlash mumkin:

$$\alpha = \frac{1}{3 + 1{,}8h/b}. \qquad (7.18)$$

Jag'ning buralishida urinma kuchlanishning amplitudasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\tau_{aj} = \frac{M_{bur.j.\max} - M_{bur.j.\min}}{2W_{bur.j}}. \qquad (7.19)$$

Mustahkamlik zaxirasi:

$$n_{\tau j} = \frac{\tau_{-1}}{(K_\tau / \varepsilon_\tau)\tau_{aj}}.$$

$K_\tau / \varepsilon_\tau$ ni 2,0 ga teng deb qabul qilish tavsiya etiladi.

Jag'larning umumiy mustahkamlik zaxirasi (7.11) ifoda bo'yicha aniqlanadi. Zamonaviy avtotraktor dvigatellari jag'larining mustahkamlik zaxirasi 1,5–3,0 oralig'ida yotadi.

V simon dvigatel tirsakli valini hisoblash.

V simon avtotraktor dvigatellarining ko'pchilik konstruksiyalarini shatun bo'yinlarida ketma-ket ikki shatun joylashgan, buning natijasida krivoship ikki silindr yuklamasini qabul qiladi.

Urinma kuchlanishlardan o'zak va shatun bo'yinlarning mustahkamlik zaxirasi bir qatorli dvigatellarda aniqlangan ketma-ketlik kabi aniqlanadi, hisoblashning o'ziga xosligi faqat V simon dvigatelga ta'sir qiluvchi yugurib uriluvchi momentlarning aniqlash usuli hisoblanadi.

Mustahkamlik zaxirasini normal kuchlanish bo'yicha aniqlashda krivoshipga nisbatan shatun bo'yin δ burchakka siljigan umumiyroq bo'lgan holatni ko'rib chiqamiz (7.4 va 7.11-rasmlarga qarang). Krivoship simmetrik deb hisoblaymiz, ya'ni $B_1 = B_2 = B$ va $a_1 = a_2 = a$.

K_1 tekislikda chap tayanchda aks ta'sir (7.11-rasm).

$$R_K = (K_1 - K_{rsh.b} - K_{ro'.b})\frac{\ell - b}{\ell} + (K_2 - K_{rsh.b} - K_{ro'.b})x$$

$$x\frac{b}{\ell}\cos\delta - (K_{rj} - K_{r.pos})\frac{\ell - a}{\ell} - (K_{rj} - K_{r.pos})\frac{a}{\ell}\cos\delta - \qquad (7.20)$$

$$-K'_{rj}\frac{\ell}{2}\cos\frac{\delta}{2} + T_2\frac{b}{\ell}\sin\delta,$$

bunda: K'_{rj} – jag'ni bog'lovchi markazdan qochma kuch.

T_1 tekislikda chap tayanchda aks ta'sir:

$$R_T = T_T\frac{\ell-b}{\ell}+T_2\frac{b}{\ell}\cos\delta+K'_{rj}\frac{\ell}{2}\sin\frac{\delta}{2}+(K_2-K_{rsh.b}-K_{ro'.b})x$$
$$x\frac{b}{\ell}\sin\delta+(K_{rj}-K_{r.pos})\frac{a}{\ell}\sin\delta. \qquad (7.21)$$

Aks ta'sirni aniqlashda δ belgisini e'tiborga olish kerak: agar o'ng silindrning shatun bo'yini chapdagi shatun bo'yinidan ilgarilashsa, belgi musbat, agar o'ng silindrning shatun bo'yini ortda qolsa, belgi manfiy bo'ladi (7.11-rasm).

K_1 tekislikda chap shatun bo'yinning o'rtacha kesimidagi eguvchi moment:

$$M_k = R_k b+(K_{rj}-K_{r.pos})(b-a) \qquad (7.22)$$

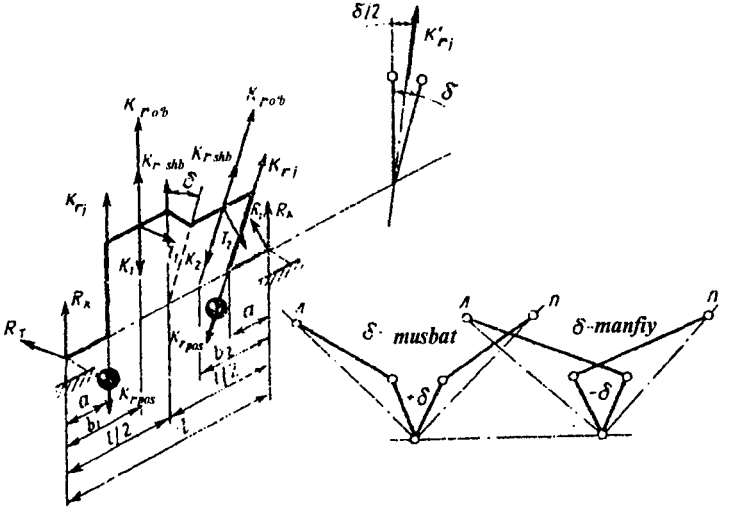
va T_1 tekislikda

$$M_T = R_T b. \qquad (7.23)$$

Moy keltiruvchi kanal tekisligidagi eguvchi moment (7.9-rasmga qarang) (7.7) ifoda bo'yicha aniqlanadi.

$M_{\varphi'}$ ning ekstremal qiymati 7.5-jadval bo'yicha aniqlanadi (2-shakl).

$M_{\varphi'}$ ning ekstremal qiymatlari bo'yicha σ_{max} va σ_{min} kuchlanishlar va normal kuchlanish bo'yicha mustahkamlik zaxirasi, so'ngra esa (7.11) ifoda bo'yicha umumiy mustahkamlik zaxirasi aniqlanadi.



7.11-rasm. **Siljitilgan shatun bo'yinli krivoshipning hisobi uchun sxema.**

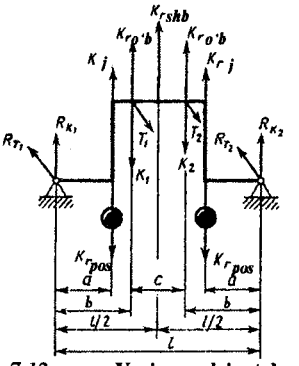
7.5-jadval

φ	K_1	K_2	T_2	R_κ	M_κ	$M_\kappa cos\varphi'$	T_1	R_T	M_T	$M_T \sin\varphi'$	$M_{\varphi'}$
0											
30											
.											
.											
.											

Agar V simon dvigatel ikki ketma-ket joylashgan shatunli odatdagi krivoshipga ($\delta = 0$; $K_{rj} = 0$) ega bo'lgan holatida (7.12-rasm) tayanchlardagi aks ta'sir quyidagiga teng:

$$R_\kappa = K_1 - (K_1 - K_2)\frac{b}{\ell} - \frac{K_r}{2}, \qquad (7.24)$$

$$R_T = T_1 + (T_2 - T_1)\frac{b}{\ell}. \qquad (7.25)$$



7.12-rasm. **V simon dvigatel krivoshipining yuklanish sxemasi.**

K tekislikdagi moy keltirish kanali kesimida eguvchi moment:

$$M_k = R_{k1}(b+c) + (K_{rj} - K_{r.pos})(c+b-a) - (K_1 - K_{ro'.b})c + K_{rsh.b}\frac{c}{2} \qquad (7.26)$$

va T tekisligida:

$$M_T = R_{T1}(b+c) - T_1 c. \qquad (7.27)$$

Hisoblash keyinchalik yuqorida bayon qilingan tartibda bajariladi.

Jag'larning kuchlanishi va mustahkamlik zaxirasi bir qatorli dvigatel kabi aniqlanadi, biroq bunda yangi aks ta'sir $R_{\kappa 1}$ va $R_{\kappa 2}$ lar e'tiborga olinadi.

7.3. TIRSAKLI VALLARNI MUSTAHKAMLASH USULLARI

Tirsakli valning toliqish mustahkamligini oshirishga ham konstruktiv, ham texnologik tadbirlar bilan erishish mumkin.

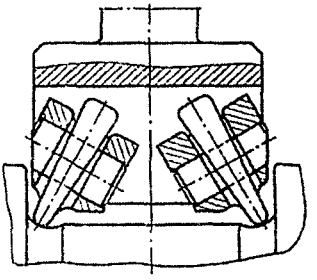
Konstruktiv tadbirlarga quyidagilar kiradi:

- jag'larning bir-birini qoplash bilan vallarni barpo qilish (Δ o'lcham 7.1-jadvaldagi eskizda);
- podshipnikning tayanch uzunligini o'zgartirmagan holda kuchlanishlar konsentratsiyasini kamaytirish maqsadida galtellar radiusini kattalashtirish yoki galtelni ko'p radiusli qilib bajarish;

● jag'lar qalinligi h va kengligi b ni ko'paytirish;

● bo'yinlardagi bo'shliqlarni bochkasimon shaklda qilish;

● shatun bo'yindagi moy keltirish kanalini $\varphi' = 90^\circ$ burchak ostida joylashtirish.



7.13-rasm. **Galtellarga rolik bilan ishlov berish.**

Texnologik tadbirlarga, hozirgi paytda keng qo'llaniladigani tez aylanuvchi valda yuqori chastotali tok bilan bo'yinlar va galtellarni suyuqlik qatlami ostida toblab keyinchalik past haroratda bo'shatishni kiritish mumkin. O'rtacha uglerodli po'latlardan foydalanib, yuqori chastotali tok bilan toblashda galtellarning samarali mustahkamlash usuli ularning roliklar bilan yumalatib plastik deformatsiyalash hisoblanadi (7.13-rasm).

Tirsakli vallarning ishonchliligini anchaga oshirish azotlash hisobiga erishiladi, bunda toliqish mustahkamligi 1,5...2 marta va jag'ning yeyilishga chidamliligi 20% dan ko'pga ortadi.

Azotlash jarayonining kamchiligi uning mehnat sig'imini ko'pligi, vallarning tob tashlashini yuqoriligi va ularni ta'mirlashda qayta silliqlash imkonining cheklanganligi hisoblanadi.

Vallarni azotlashning ikki usuli qo'llaniladi:

1) gaz bilan;

2) suyuqlik bilan.

Birinchi usul yuqori qattiqlikda qatlam qalinligini 0,4...0,5 mm gacha ta'minlaydi, biroq mehnat sig'imi ko'p bo'lgan jiddiy kamchilikka ega (60 soat atrofida). Ikkinchisi bir qator afzallikka ega bo'lishiga qaramasdan (jarayon 3 soat davom etadi, yuza qatlami yeyilishga yuqori chidamli uning mo'rtligi kam, legirlanmagan va kam legirlangan po'latlarni qo'llash imkoni) ta'mirlashdagi qayta silliqlash yeyilishga chidamliligini keskin pasaytiradi, shuningdek, jarayonda ishlatiladigan tuzlar va suyuqliklar yuqori zaharlilikka ega.

Yuqorida keltirilgan tirsakli vallarni mustahkamlash usullari va tayyorlashning texnologik jarayonlarini yuqori sifatliligi vallarning resurslarini avtomobilning 500...600 ming km yurishigacha oshirishga imkon beradi [1].

Tirsakli vallar yig'ma holida barcha elementlari bilan birgalikda statik va dinamik muvozanatlashlardan o'tadi. Ruxsat etilgan nomuvozanatlilik darajasining kattaligi ishlab chiqargan zavod tomonidan o'rnatiladi.

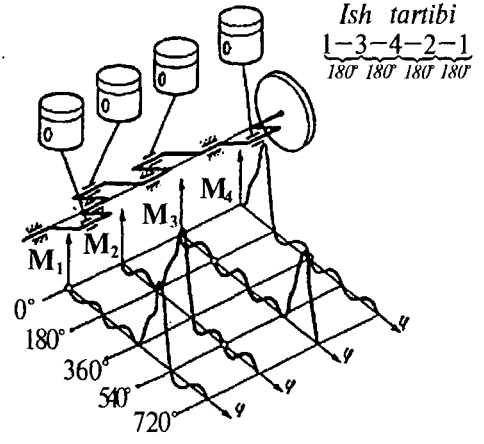
VIII BOB
TIRSAKLI VALLARNING TEBRANISHI

8.1. BURALMA TEBRANISHLAR TO'G'RISIDA ASOSIY MA'LUMOTLAR

Dvigatelning ishlash jarayonida tirsakli valning krivoshiplariga davriy ravishda o'zgaruvchi, silindrlarning ishlash tartibiga mos holda faza bo'yicha siljigan burovchi momentlar ta'sir qiladi (8.1-rasm).

Shu tufayli val konstruksiyasida har qanday elastik tizimdagi kabi elastik tiklovchi momentlarning paydo bo'lishini keltirib chiqaradigan buralishning o'zgaruvchan deformatsiyasi sodir bo'ladi. Chunki dvigatel ishlaganda valning alohida uchastkalariga ta'sir qiladigan uyg'otuvchi va tiklovchi momentlar orasidagi nisbat siklik ravishda o'zgaradi, u holda uning tirsagi hamda ular bilan bog'langan elementlar aylanish tekisligida buralma tebranish deb ataladigan davriy burchakli belgisi o'zgaruvchan siljishini sodir qiladi. Barcha majburiy tebranishlar kabi ularning xarakteri buralma tizimning tebranma tavsiflari va uning uyg'otuvchi burovchi momentlarni vaqt bo'yicha o'zgarish xarakteri bilan aniqlanadi.

Valning elastik buralma tizimining asosiy tavsifi bo'lib, uning xususiy tebranishlarining chastotalarini majmuasi va valning alohida uchastkalarini buralma amplitudalarini taqsimlanish xususiyati deb tushuniladigan ularga mos keluvchi shakllari hisoblanadi.



8.1-rasm. **Tirsakli valning o'zgaruvchan momentlar bilan yuklanish sxemasi.**

Har bir krivoshipga qo'yilgan burovchi momentlar murakkab davriy funksiya ko'rinishiga ega, uning garmoniklar deb ataladigan turli ampli-tudali, fazali, chastotalariga karrali bo'lgan vaqt bo'yicha sinusoidal o'zgaruvchi elementar momentlarning yig'indisi ko'rinishida tasavvur qilish mumkin.

Majburiy tebranishlarda tizimning alohida uchastkalari buralishini ko'proq amplitudasi, demak val konstruksiyasini ko'proq dinamik yuklanganligi rezonansda ega bo'ladi, u uyg'otuvchi momentlarning *

* Qat'iy qilib aytganda, rezonansli tebranishlar amplitudasi alohida krivoshiplarga ta'sir qilayotgan bir xil nomlangan garmoniklar orasidagi fazali nisbatlarga ham bog'liq. Eng katta amplitudalar krivoshiplarning barchasi yoki ko'proq qismida (odatda, yarmi) fazalar mos tushishida kuzatiladi.

garmoniklarining birini chasto-tasi tizimning xususiy tebranishini qandaydir chastotasi bilan mos kelishida paydo bo'ladi. Bunda tebranish shakli deyarli xususiy tebranishning shakliga mos tushadi.

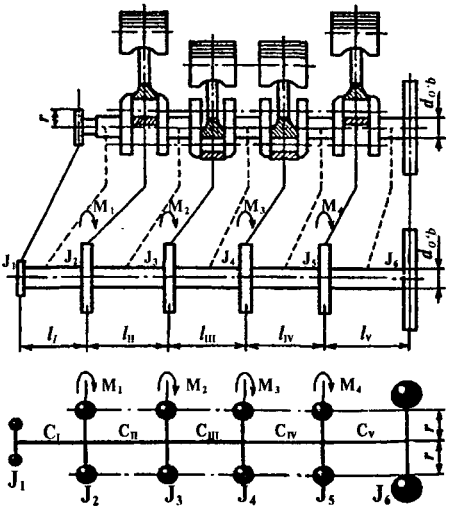
Tirsakli valning elastik tizimi mexanika nuqtayi nazaridan parametrlari taqsimlangan tebranma tizim ko'rinishiga ega bo'lganligi uchun dvigatel buralma tizimining tebranish tavsiflarini aniq baholanishini qiyinlashtiradi. Bunday tizim cheksiz ko'p miqdordagi shakllarga va tebranishlarning xususiy chastotalariga ega bo'ladi. Bu tufayli buralma tebranishga hisoblash amaliyotda to'rt silindrli to'rt taktli qatorli dvigatelning buralma tizimi uchun 8.2-rasmda ko'rsatilganga o'xshash soddalashtirilgan ekvivalent (keltirilgan) sxema bo'yicha olib boriladi.

Ekvivalent tizim haqiqiy tizimning xususiy tebranishini chastotasi va formasini yetarlicha aniqlik bilan yoritishi kerak. Tebranishlar nazariyasidan kelib chiqqan holda, bu dvigatelning buralma tizimi va uning o'rnini bosadigan keltirilgan tizimning kinetik hamda potensial energiyalarining tengligida bajariladi.

Buralma tebranishlarning tahlil qilish amaliyotida ekvivalent tizimni elastik vaznsiz val ko'rinishida tasavvur qilinadi, unda massalar mujassamlangan, ularning aniqlashda haqiqiy tizimning barcha harakatlanuvchi elementlari e'tiborga olinadi. Bunday tizimning buralma tebranish parametrlari val o'q chizig'iga nisbatan massalarning inersiya momentlarining kattaligi va val uchastkalari orasidagi buralma bikrlik bilan aniqlanadi.

Yuqorida ko'rib chiqilganga asosan *tirsakli valning buralma tebra-nishga hisoblashda* quyidagilarni bajarish kelib chiqadi:

- buralma tizimni ekvivalent hisoblash tizimiga keltirish;
- ekvivalent tizimning xususiy tebranish chastotalari va shakllarini aniqlash;
- burovchi momentning egri chizig'ini garmonik tahlili;
- ko'proq xavfli (asosiy) bo'lgan rezonans garmoniklarni va aylanish-ning kritik chastotalarini aniqlash;
- rezonans rejimlarida majburiy tebranishlar amplitudalarini hisoblash;
- rezonans paytida val konstruksiyasidagi kuchlanishni aniqlash;
- dvigatelning ishchi aylanishlar doirasidan rezonansli rejimlarining chiqarib tashlash bo'yicha tadbirlarni ishlab chi-



8.2-rasm. **To'rt silindrli qatorli dvigatelning ekvivalent buralma tizimi.**

qish yoki so'ndirgich konstruksiyasini ishlab chiqish va uni dvigatelga o'rnatish.

8.2. EKVIVALENT BURALMA TIZIMNING HARAKATLANISH TENGLAMASI

8.3-rasmda keltirilgan n massali ekvivalent buralma tizimning harakatlanish tenglamasining keltirib chiqarishni ko'rib chiqamiz.

Massalarning buralish burchaklarini $\theta_1, \theta_2, \theta_3, ..., \theta_i, ..., \theta_n$ bilan belgilaymiz. Bu holatda tizimga ta'sir qiluvchi umumiy kuchlar uning alohida massalariga ta'sir qiluvchi $M_1, M_2, M_3, ..., M_i, ..., M_n$ burovchi momentlar hisoblanadi.

To'liq kinetik energiya $T = 0{,}5\sum_{i=1}^{n} J_i \dot{\theta}_i^{\,2}$.

Ko'rib chiqilayotgan tizimning potensial energiyasi massalarning birbiriga nisbatan buralish burchaklarining kattaliklari, shuningdek, valning har bir uchastkasining buralishga bikrliligi bilan ham aniqlanadi:

$$C_1, C_2, ..., C_{i-1}, C_{n-1} : \Pi = 0{,}5\sum_{i=1}^{n-1} C_i \left(\theta_i - \theta_{i+1}\right)^2.$$

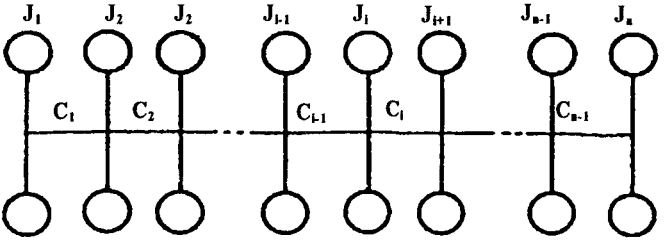
T va Π larning aniqlangan qiymatlarini, shuningdek, umumlashgan kuchlar kattaligini Lagranj tenglamasiga qo'yib, ixtiyoriy i – umumlashgan koordinataga nisbatan tizimning harakatlanish qonuni olinadi:

$$J_i \ddot{\theta}_i + C_i\left(\theta_i - \theta_{i+1}\right) - C_{i-1}\left(\theta_{i-1} - \theta_i\right) = M_i.$$

Tizim n ta umumlashgan koordinataga ega bo'lganligi uchun uning harakatlanishi yuqorida keltirilganga o'xshash n tenglamalar tizimi bilan yoritiladi $(i = 1,2,3,...,n)$.

Bu tenglamalar tizimining tahlilini ko'rsatishicha, ekvivalent modelning va dvigatelning haqiqiy buralma tizimini harakatlanish qonunlarini mos kelishi uchun quyidagilar bo'lishi kerak:

- uning har bir mujassamlangan massasini inersiya momenti o'rnini bosadigan uchastkaning inersiya momentiga teng bo'lishi va uning og'irlik markazida bo'lishi;



8.3-rasm. **Umumlashgan koordinatasi *n* bo'lgan ekvivalent buralma tizim.**

● ajratilgan ekvivalent massalarning o'zaro biriktiradigan val uchastkalarining buralishga bikrligi haqiqiy valning mos kelgan elementini buralishga bikrligidek bo'lishi kerak.

8.3. EKVIVALENT BURALMA TIZIMNING PARAMETRLARINI ANIQLASH

Porshenli IYOD ning ekvivalent tizimini tuzishda val diametrini tirsakli valning o'zak podshipnigi diametriga teng qilib qabul qilinadi, massalari esa krivoship radiusiga keltiriladi.

Bunda, odatda, maxovik, valning har bir tirsagi va yurituvchi elementlar massalariga ekvivalent bo'lgan mujassamlangan massalar ajratiladi.

Bularni e'tiborga olgan holda tirsakli val uchastkalarga bo'lib chiqiladi (8.2-rasmga qarang).

Haqiqiy va ekvivalent vallarning bir xil nomlangan uchastkalarida $C_i = C_{ei}$ sharti saqlanishi kerak, bunda: $C_i = \frac{GJ_i}{l_i}$ – tirsakli valning i-uchastkasining buralma bikrligi, MN · m; $C_{ei} = \frac{GJ_{ei}}{l_{ei}}$ – ekvivalent tizimning i-uchastkasining buralma bikrligi, MN · m.

Bunda: G – ashyoning siljish moduli, MPa; J_i va J_{ei} – mos holda val va ekvivalent tizimning qutbli inersiya momenti, m^4; l_i va l_{ei}–tirsakli val va keltirilgan tizimning i-uchastkasining uzunligi, m. Bundan ekvivalent keltirilgan tizimning uchastkasi uzunligini aniqlash mumkin:

$$l_{ei} = l_i\left(\frac{J_{ei}}{J_i}\right).$$

Ekvivalent valning uchastkasini uzunligini aniqlash *uzunlikni keltirish* deb ataladi va ekvivalent tizimni shakllantirishning asosiy vazifalaridan biri hisoblanadi.

Tirsakli valning ichki va tashqi diametrlari o'zgarmas bo'lganida silindrsimon uchastkalarining uzunligini keltirish oddiyroq amalga oshiriladi:

$$l_{ei} = l_i\left(\frac{d_{ei}^4 - \delta_{ei}^4}{d_i^4 - \delta_i^4}\right).$$

Valning murakkab uchastkalarini keltirishda elementar qismlarga ajratish maqsadga muvofiq hisoblanadi, ular uchun inersiyaning qutbiy momentini hisoblash nisbatan sodda.

Valning murakkab uchastkasini, uning uzunligi bo'yicha doimiy moment ta'siri ostida buralish burchagi bu holatda uning alohida elementlarining buralish burchaklarini yig'indisiga teng $\theta_i = \theta_1 + \theta_2 + ...\theta_n$

va ta'rif bo'yicha $\frac{M}{C_i}=\frac{M}{C_1}+\frac{M}{C_2}+\frac{M}{C_3}+...+\frac{M}{\theta_n}$, bundan $\frac{1}{C_i}=\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{1}{C_j}\right)$.

Bundan elementlari istalgan shaklni tashkil etgan val uchastkasining keltirilgan uzunligini aniqlash mumkin $\left(\frac{1}{C}=\frac{l_1}{GJ}\right.$ bo'lishini e'tiborga olib):

$$l_{ei}=\sum_{j=1}^{n} l_j\left(\frac{J_{ej}}{J_j}\right),$$

ya'ni, murakkab uchastkaning keltirilgan uzunligi uning alohida elementlarini keltirilgan uzunliklarining yig'indisiga teng.

Ma'lumotnoma adabiyot [8] da shponkalar, shlitsalar, konussimon elementlar, galtelli o'tishlar va boshqalar tashkil etgan avtotraktor dvigatellari tirsakli vallarining elementlari uzunligini empirik tuzatishlarni ishlatish bilan keltirishni amalga oshirishga imkon beradigan ifodalar keltirilgan.

Tirsakli valning ma'lum elementi bo'lgan uning tirsagi, odatda, ekvivalent tizimning alohida uchastkalarga ajratiladigani bo'lib hisoblanadi. Uning keltirilgan uzunligi umumiy prinsipga asoslangan krivoshipning alohida elementlari shatun va o'zak bo'yinlari hamda ikki jag'ning keltirilgan uzunliklarining yig'indisi sifatida olinadi: $l_{ek}=l_{eshb}+l_{eo'b}+2l_{ekj}$.

Krivoshipning buralishida jag'lar tirsakli valning o'q chizig'iga perpendikular bo'lgan $x-x$ tekislikda (8.3-rasm) egilish deformatsiyasiga uchrashini e'tiborga olib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$l_{ek}=l_{shb}\frac{J_e}{J_{shb}}+l_{o'b}\frac{J_e}{J_{o'b}}+2\frac{G}{E}r\left(\frac{J_e}{J_{j(x-x)}}\right),$$

bunda: E – jag' ashyosining elastiklik moduli, MPa; $J_{j(x-x)}=\frac{h_j b^3}{12}$ – x-x o'qqa nisbatan jag'ning inersiya momenti, m^4.

Amaliy foydalanishda bu ifoda katta xatolikka yo'l qo'yadi, chunki u val galtellar bikrligini, jag'larning bir-birini qoplashini va boshqa ayrim konstruktiv omillarni hisobga olmaydi. Shuning uchun tirsakning keltirilgan uzunligini hisoblash turli yarim empirik ifodalar bo'yicha olib boriladi.

Avtomobil dvigatellari uchun eng yaxshi natijani S.S.Zimanenko ifodasi beradi:

$$J_{ek}=\left(l_{o'b}+\frac{0,6h_j}{l_{o'b}}d_{o'b}\right)+\left(0,8l_{shb}+0,2\frac{b}{r}d_{o'b}\right)\frac{d_{o'b}^4-\delta_{o'b}^4}{d_{shb}^4-\delta_{shb}^4}+\frac{r}{\sqrt{\frac{d_{shb}}{r}}}\frac{d_{o'b}^4-\delta_{o'b}^4}{h_j b^3}.$$

Ma'lumotnoma adabiyotlarida boshqa turdagi dvigatellarning tirsaklarini keltirilgan uzunliklarini aniqlash uchun shunga o'xshash bog'liqliklar keltiriladi, masalan S.P. Timoshenko ifodasi va V.S.Karter ifodasi – aviatsiya dvigatellari uchun, Zultser ifodasi – statsionar dvigatellar uchun va boshqalar.

Ekvivalent tizimning val uchastkalari uzunliklarini keltirishdan so'ng uning mujassamlangan massalarini inersiya momentini aniqlash kerak. Buning uchun haqiqiy tizimdagi val o'q chizig'iga nisbatan uchastkalarning har birini detallarini inersiya momenti ekvivalent modelning mujassamlangan massalarini inersiya momentiga teng bo'lishi kerak.

Oddiy geometrik jism shakliga ega bo'lgan (val bo'yinlari, shkivlar, shesternalar va boshqalar) detallar uchun tirsakli val uchastkalarining inersiya momentlari, odatda, *analitik* usulda aniqlanadi, murakkab shaklga ega bo'lgan elementlar uchun (jag'lar, posangilar) *grafoanalitik* usul.

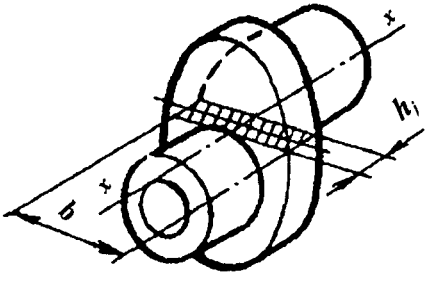
O'zak $(J_{o'b})$ va shatun (J_{shb}) bo'yinlarning inersiya momenti tirsakli val o'q chizig'iga nisbatan valning boshqa silindrsimon uchastkalari kabi ma'lum bo'lgan bog'liqliklar bo'yicha aniqlanadi:

$$J_{o'b} = J_{Po'b} l_{o'b} \rho\,; \quad J_{shb} = J_{Pshb} l_{shb} \rho + m_{shb} r^2 = \left(J_{Pshb} + F_{shb} r^2\right) l_{shb} \rho\,,$$

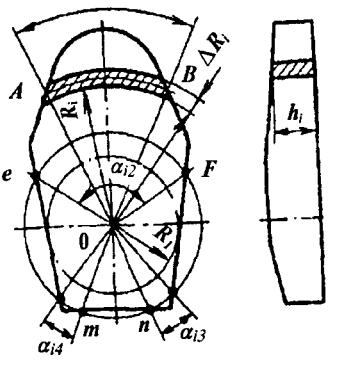
bunda: $J_{Po'b}$ va J_{Pshb} – mos holda o'zak va shatun bo'yinlarning qutbli momenti, m^4; $l_{o'b}$ va l_{shb} – o'zak va shatun bo'yinlar uzunligi, m; ρ – val ashyosining zichligi, kg/m^3; F_{shb} – shatun bo'yinning ko'ndalang kesimini yuzasi, m^2; r – krivoship radiusi, m.

Jag'lar va posangilarning inersiya momentlari qoidaga ko'ra, elementar hajmlarning inersiya momentlarini qo'shish bilan aniqlanadi, bunda bu element markazi valning aylanish o'qidan ΔR_i radiusga farqlanadigan aylana yoylari bilan bo'linadi (8.4-rasm).

Bunday qatlamning aylanishlar o'qiga nisbatan inersiya momenti $\Delta J_i = \rho \dfrac{\pi \alpha_i}{180} h_i R_i^3 \Delta R_i$ va mos holda butun elementning inersiya momenti



8.4-rasm. **Jag' uzunligini keltirish.**



8.5-rasm. **Jag'lar va posangilar inersiya momentlarini aniqlash.**

$J = \frac{\rho\pi}{180}\sum_{i=1}^{n}\left(\alpha_i h_i R_i^3\right)\Delta R_i$ ga teng.

$R_i < R_1$ bo'lganda $\alpha_i = 360°$; boshqa barcha hollarda $\alpha_i < 360°$. Agar silindrsimon sath elementni ikkitadan ko'p bo'lgan qismga kessa (8.5-rasmda *efmn*), u holda $\alpha_i = \alpha_{i_2} + \alpha_{i_3} + \alpha_{i_4}$.

Krivoshipning inersiya momenti:

$$J_k = J_{shb} + J_{o'b} + 2J_j + nJ_{pos}$$

bunda: J_j – jag'ning inersiya momenti, kg · m²; n – krivoshipdagi posangilar soni; J_{pos} – posangining inersiya momenti, kg · m².

Valning tirsagi o'rnini bosuvchi ekvivalent uchastkada mujassamlangan massalar inersiya momentlarini hisoblashda krivoship bilan birgalikda porshen va shatun guruhlari elementlarining harakatlanishini ham e'tiborga olish kerak.

Krivoshipga keltirilgan shatun massasining bir qismi m_{shk} krivoshipning inersiya momentini $J_{shk} = m_{shk}r^2$ kattalikka orttiradi.

Qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi massalar $m_j = m_n + m_{shk}$ dan qo'shimcha inersiya momentini kattaligi $J_j = m_{ej}r^2$ tenglama bo'yicha aniqlanadi, bunda: m_{ej} – m_j ga ekvivalent massa. Uning qiymati porshen tezligi V bilan harakatlanuvchi KSHM elementlarining massasi m_j ni kinetik energiyasini shatun bo'yin markazini chiziqlik tezligiga teng bo'lgan u tezlik bilan siljiyotgan massa m_{ej} ni kinetik energiyasiga tenglashtirib aniqlanadi: $0{,}5m_jV^2 = 0{,}5\left(m_{ej}\right)u^2$. Bundan $m_{ej} = m_j(V/u)^2$, bunda $V = r\omega\left(\sin\varphi + 0{,}5\lambda\sin 2\varphi\right)$; $u = r\omega$.

Porshenning tezligi krivoship burilish burchagi bo'yicha o'zgarishi tufayli massa m_{ej} ham qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi qismlarning to'liq o'rnini bosishi uchun vaqt bo'yicha o'zgarishi kerak. Amaliy hisoblashlarni bajarishda m_{ej} ning bu o'zgarishi hisobga olinmaydi va uni aniqlashda porshen bir tekis o'rtacha $V_{o'r} = Sn/30$ tezlik bilan harakatlanadi deb yo'l qo'yiladi.

Bu yo'l qo'yish krivoshipning bir marta aylanishida m_{ej} ning o'rtacha qiymatini olishga imkon beradi, u keyinchalik hisoblashlarda foydalaniladi:

$$m_{ej} = m_j\left(V_{o'r}/u\right) = m_j\left(\frac{Sn}{30r\omega}\right)^2$$

$S = 2r$ va $n = \frac{30\omega}{\pi}$ bo'lishini inobatga olib, $m_{ej} \approx m_j\left(\frac{2}{\pi}\right)^2 \approx 0{,}5m_j$ ga ega bo'lamiz.

Shunday qilib, val tirsagining inersiya momenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$J_{vt} = J_k + J_{shk} + J_j .$$

V simon dvigatelda har bir tirsak uchun valning tirsagi bilan bo'g'imlashgan ikkala porshen va shatunni inobatga olish kerak.

8.4. BUROVCHI MOMENTLARNING GARMONIK TAHLILI

Ekvivalent buralma tizimning har bir «motor» massasiga krivoshipning burilish burchagining davriy funksiyasi hisoblangan uyg'otuvchi moment $M = T_i r$ ta'sir qiladi. Dvigatelning ish siklini amalga oshishida uning o'zgarish davri – vaqti $T_M = \pi\tau/\omega$ ga teng bo'ladi, bunda: τ – taktlilik koeffitsiyenti.

Ekvivalent buralma tizimning harakatini yoritadigan tenglamalar tizimiga murojaat qilamiz. Uni 2-tartibli chiziqli bir jinsli bo'lmagan differensial tenglama tashkil etadi. Chiziqli xususiyatdan foydalanib, o'ng qismini oddiy funksiyalar yig'indisi ko'rinishida tasavvur qilinadi, so'ngra approksimirlanadigan ko'p hadlini alohida qo'shiluvchilariga teng bo'lgan o'ng qismidagi tenglamalar yechimini qo'shib umumiy yechimi topiladi (superpozitsiya prinsipi).

Alohida «motorli» massalarga ta'sir qiluvchi uyg'otuvchi momentlar *M* ni ko'p hadli ko'rinishida tasavvur qilish mumkinligini ko'rib chiqamiz. *M* ning davriylik xususiyatidan foydalanib, uni trigonometrik polinom bilan approksimirlash mumkin (uning Fure qatoriga «yoyish»):

$$M = \sum_{k=0}^{\infty} M_K \sin\left(k\frac{2\pi}{T_M}t + \varphi_K\right) \approx \sum_{k=0}^{n} M_K \sin\left(k\frac{2\pi}{T_M}t + \varphi_K\right).$$

To'rt taktli dvigatel uchun $T_M = 4\pi/\omega$ (8.6-rasmga qarang)

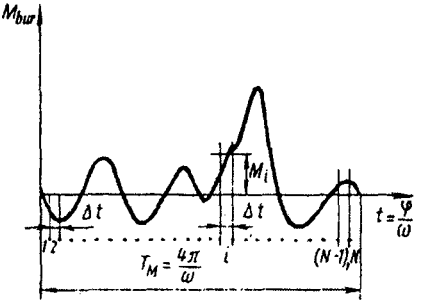
$$M = \sum_{k=0}^{n} M_K \sin(0{,}5k\omega t + \varphi_K).$$

Burovchi momentning ayrim garmonik tashkil etuvchilari $M_1 \sin(0{,}5\omega t + \varphi_1)$, $M_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$, $M_i \sin\left(\frac{i}{2}\omega t + \varphi_i\right)$ va boshqalar *turli tartibli motorli garmonik* deb nom olgan. Garmoniklarning tartibi son jihatidan ωt ko'paytma oldidagi koeffitsiyentga teng. Masalan, $k = 0$ bo'lganda nolinchi tartibli garmonikka ega bo'lamiz (doimiy tashkil etuvchi), $k = 1$ bo'lganda yarim tartibga, $k = 2$ bo'lganda birinchi tartibga va hokazo. Fure nazariyasiga mos holda M_k ning har bir garmonigining amplitudasi va uning boshlang'ich fazasi φ_k Koshi integrallari bilan aniqlanadi:

$$M_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2}\ ;\ \varphi_k = arctg(B_k / A_k);$$

$$A_k = \frac{2}{T_M}\int_0^{T_M} M\left(\cos k\frac{2\pi}{T_M}t\right)dt;\quad B_k = \frac{2}{T_M}\int_0^{T_M} M\left(\sin k\frac{2\pi}{T_M}t\right)dt.$$

Fure koeffitsiyentlari $(A_k$ va $B_k)$ ni analitik aniqlash uchun $M = f(t)$ ning funksional bog'liqligiga ega bo'lish kerak. IYOD ning mavjud bo'lgan hisoblash usuli hozirgi paytda M ning vaqt bo'yicha o'zgarishini yoritadigan tenglamani olishga imkon bermaydi. Shuning uchun bu koeffitsiyentlarni hisoblash uchun amaliyotda analitik bo'lmagan $M = f(t)$ berilgan bog'liqlikdan foydalaniladi (8.6-rasm). Bu holatda A_k va B_k lar taxminiy aniqlanadi. Ular hisobining umumiy algoritmi Koshi integrallarini so'nggi yig'indilarga almashtirishdan iborat bo'ladi, buning uchun burovchi momentning davri T_M Δt uzunlik bilan N ta alohida uchastkalarga ajratiladi. U holda



8.6-rasm. **«Motor» massaga ta'sir qiluvchi burovchi momentning garmonik tahlili.**

$$A_k = \lim_{N\to\infty}\frac{2}{T_M}\sum_{i=0}^{N}\left(M_i\cos k\frac{2}{T_M}\Delta t\cdot i\right)\Delta t;$$

$$A_k \approx \frac{2\Delta t}{T_M}\sum_{i=0}^{N} M_i\left[\cos\left(k\frac{2\pi}{T}i\frac{\Delta t}{T_M}\right)\right].$$

$T_M/\Delta t = N$ bo'lishini inobatga olib, quyidagi ifoda topiladi:

$$A_k \approx \frac{2}{N}\sum_{i=0}^{N} M_i\left[\cos\left(k\frac{2\pi}{N}i\right)\right].$$

Shunga o'xshash,

$$B_k \approx \frac{2}{N}\sum_{i=0}^{N} M_i\left[\sin\left(k\frac{2\pi}{N}i\right)\right].$$

Uchastkalar soni N qancha ko'p bo'lsa, A_k va B_k kattaliklarning hisoblash aniqligi shuncha yuqori bo'ladi.

Bu algoritm zamonaviy EHM da nisbatan oddiy amalga oshiriladi, A_k va B_k larni hisoblashda ilgari qo'llanilgan jadvalli usullari ularning mehnat sig'imini yuqoriligi tufayli hozirgi paytda o'zining amaliy ahamiyatini yo'qotdi.

8.5. ALOHIDA KRIVOSHIPLARDA BUROVCHI MOMENTLARNING FAZAVIY DIAGRAMMALARI

8.1-rasmda ko'rsatilganidek, ko'p silindrli dvigatelning alohida krivoshiplariga ta'sir qiluvchi burovchi momentlar shakli va kattaligi bo'yicha bir xil, faqat fazalari bo'yicha farqlanadi, ularning kattaligi dvigatelning ishlash tartibi bilan aniqlanadi. Bu sababga ko'ra, approksimirlovchi ularning trigonometrik ko'p hadlari ham bir xil bo'ladi, ulardagi bir xil tartibli garmoniklar faqat fazalarini siljishi bilan farqlanadi.

Tirsakli valning aylanish davri $T = 2\pi/\omega$ va k-garmoniklarni (k=0,1,2...) davri T_k o'zaro $T = \left(\frac{2}{\tau}k\right)T_k$ nisbat bilan bog'langan, 1- va i-krivoshiplarga ta'sir qiluvchi bir xil tartibli garmoniklarning fazalarini siljish burchagi $(\Delta\varphi)_{1...i}$ 1- va i-silindrlarning ish yo'lini boshlanishi oralig'ida tirsakli valning burilish burchagi $\theta_{1...i}$, shuningdek, garmoniklarning tartibi $\left(\frac{2}{\tau}k\right)$ bilan aniqlanadi:

$$(\Delta\varphi_k)_{1...i} = -\frac{2}{\tau}k\theta_{1...i}.$$

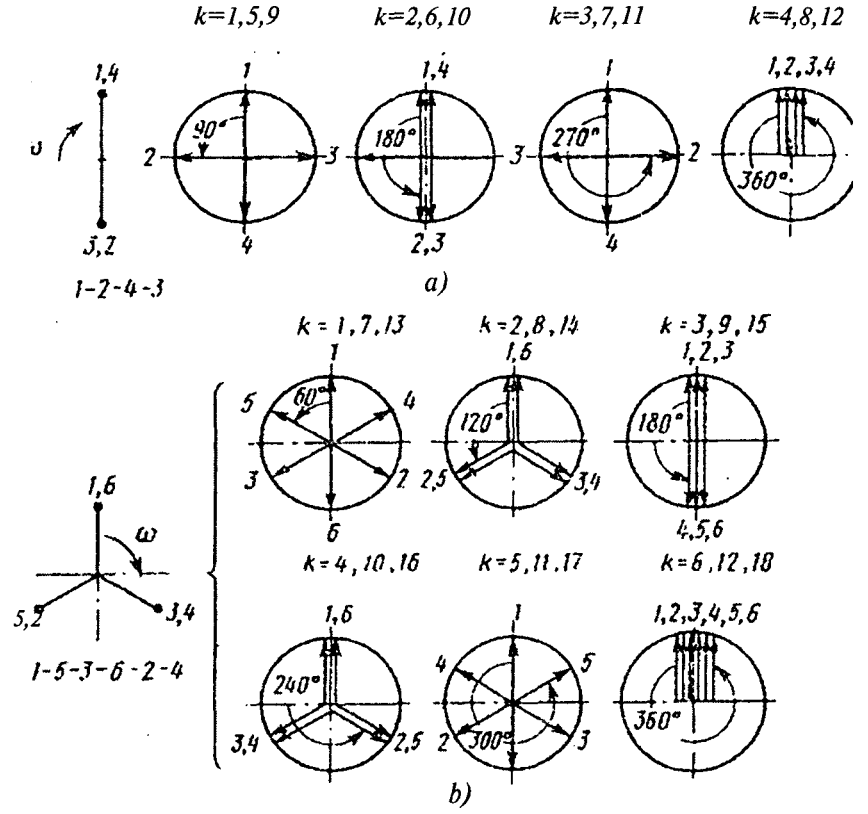
Turli krivoshiplarga ta'sir qiluvchi bir xil tartibli garmoniklar orasidagi fazalarning siljishini fazaviy diagrammalar ko'rinishida tasvirlash qabul qilingan, ularda alohida krivoshiplarga ta'sir qiluvchi momentlarning amplitudalarini vektorlari birinchisiga nisbatan $(\Delta\varphi_k)_{1...i}$ burchaklarga burilgan (8.7-rasm).

Bu diagrammalar barcha krivoshiplarda k-x garmoniklar fazalarini birinchi krivoshipga ta'sir qiluvchi o'shanday tartibli garmonikka nisbatan siljishini ko'rsatadi. Bunga mos holda i krivoshipdagi bu garmonik fazasining absolut kattaligi quyidagiga teng:

$$\varphi_k^{(i)} = \varphi_k^{(1)} - \frac{2}{\tau}k(\theta)_{1...i},$$

bunda: $\varphi_k^{(1)}$ – birinchi krivoshipdagi k-garmonikning fazasi. Alohida krivoshiplarga ta'sir qiluvchi garmoniklarning fazaviy nisbatlari ekvivalent buralma tizimning massalarini siljish amplitudasiga qanday ta'sir qilishini umumiy ko'rinishda ko'rib chiqamiz. Buning uchun o'ng qismiga amplitudasi bir xil, lekin turli «motor» massalar uchun fazalari turlicha bo'lgan faqat bir garmonikni qo'yib buralma tebranishning harakatlanish tenglamasini yozamiz:

$$\begin{cases} \text{Tizim } n\left(i=1,2...,n\right), \\ J_i\ddot{\theta}_i + C_i\left(\theta_i - \theta_{i+1}\right) - C_{i-1}\left(\theta_{i-1} - \theta_i\right) = M_k \sin\left(\frac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_k^{(i)}\right). \end{cases}$$



8.7-rasm. **Fazaviy diagrammalar:**
a–to'rt taktli to'rt silindrli dvigatel (sonlar bilan silindrlar raqami belgilangan); *b*–to'rt taktli olti silindrli dvigatel.

Bu tizimning mohiyati chiziqli, u holda tizimni yechish uchun momentlar ta'sirining bog'liqsizlik qonunini qo'llash mumkin, bunga mos holda ularning har birini alohida ta'sirida yechimlar yig'indisi kabi tenglamalar tizimi yechimini topish mumkin.

Masalan, barcha momentlarning ta'sirida 1-«motorli» massani siljishi

$$\theta_1 = \theta_1^{(1)} + \theta_1^{(2)} + \theta_1^{(i)} + \ldots + \theta_1^{(n)},$$

bunda: $\theta_1^{(1)}$ – tizimga faqat M_1 moment ta'sir qilishi sharoitida birinchi massaning siljishi; $\theta_1^{(2)}$ – tizimga faqat M_2 moment ta'sir qilishi sharoitida birinchi massaning siljishi; $\theta_1^{(n)}$ – tizimga faqat M_n moment ta'sir qilishi sharoitida birinchi massaning siljishi.

Masalan, $\theta_1^{(2)}$ ni topish uchun quyidagi tenglamalar tizimini yechish kerak:

$$\begin{cases} J_1\ddot{\theta}_1 + C_1(\theta_1 - \theta_2) = 0, \\ J_2\ddot{\theta}_2 + C_2(\theta_2 - \theta_3) - C_1(\theta_1 - \theta_2) = M_2 = M_к \sin\left(\frac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_к^{(2)}\right) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ J_i\ddot{\theta}_i + C_i(\theta_i - \theta_{i+1}) - C_{i-1}(\theta_{i-1} - \theta_i) = 0, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ J_n\ddot{\theta}_n - C_{n-1}(\theta_{n-1} - \theta_n) = 0. \end{cases}$$

Bu tizimning yechimi ma'lum:

$$\begin{cases} \text{Tizim } n(i = 1,2\ldots,n), \\ \theta_i^{(2)} = A_i^{(2)} \sin\left(\frac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_k^{(2)}\right). \end{cases}$$

bunda: $A_i^{(2)}$ – tizimga M_2 momentning ta'sirida i-massalarning amplitudasi.

Bu yechimlardan tizimga faqat M_2 moment ta'sir qilishida birinchi massaning siljishini yoritadiganini olamiz:

$$\theta_i^{(2)} = A_i^{(2)} \sin\left(\frac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_k^{(2)}\right).$$

Shunga o'xshash quyidagi kattaliklar ham topiladi:

$$\theta_1^{(1)} = A_1^{(1)} \sin\left(\frac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_k^{(1)}\right), \ldots \theta_1^{(i)} = A_1^{(i)} \sin\left(\frac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_k^{(i)}\right), .$$

$$.. \theta_1^{(n)} = A_1^{(n)} \sin\left(\frac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_k^{(n)}\right).$$

Bunda buralma tizimga barcha momentlar M_1, M_2, $\ldots M_{n-1}, M_n$ ning bir vaqtdagi ta'sir qilishida birinchi massaning siljishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\theta_1 = \sum_{i=1}^{n} \theta_1^{(i)} = \sum_{i=1}^{n} A_1^{(i)} \sin\left(\frac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_k^{(i)}\right).$$

Bunga ikki burchak sinusi ko'rinishidagi garmonik funksiyaning qo'yib, algebraik o'zgartirishlar kiritilganidan so'ng quyidagini olamiz:

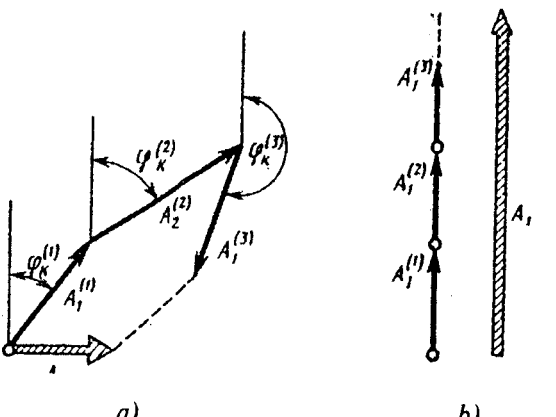
$$\theta_1 = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n} A_1^{(i)} \cos\varphi_k^{(i)}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{n} A_1^{(i)} \sin\varphi_k^{(i)}\right)^2} \sin\left(\frac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_k\right),$$

bunda: $\varphi_k = \dfrac{\sum\limits_{i=1}^{n} A_1^{(i)} \sin \varphi_k^{(i)}}{\sum\limits_{i=1}^{n} A_1^{(i)} \sin \varphi_k^{(i)}}$.

Olingan ifodadan tizimga amplitudasi bo'yicha bir xil, biroq faza bo'yicha siljigan garmonik kuch omillarining ta'sir qilishida birinchi massaning tebranishlar amplitudasi (o'xshashlik bo'yicha, bu xulosa ekvivalent buralma tizimning istalgan massasiga umumlashtirilgan bo'lishi mumkin) to'laligicha fazalar nisbatiga bog'liqligi kelib chiqadi. Bu ifodaning geometrik ma'nosi 8.8 a-rasmda tushuntirilgan, bundan amplituda ko'proq qiymatiga $\varphi_k^{(1)} = \varphi_k^{(2)} = ... = \varphi_k^{(n)}$ bo'lganda erishishi kelib chiqadi. Bunday holatda A_i vektor va uning qo'shiluvchi vektorlarini ko'rinishi 8.8-*b* rasmda ko'rsatilganidek bo'ladi. Bunday garmoniklar xavfliroq bo'ladi, chunki tizimning tebranishini ko'proq amplitudasini keltirib chiqaradi. $k = 4,\ 8,\ 12$ bo'lganda bu garmonikning fazaviy diagrammasi 8.7-*a* rasmda keltirilgan. Boshqa barcha garmoniklar ham shunga o'xshash ko'rinishga ega bo'ladi, ularning faza bo'yicha siljishi 360° ga teng yoki unga karrali bo'ladi. Bu garmoniklar *bosh* (asosiy) *garmoniklar* deb ataladi. Kuchli garmoniklar deb ataladiganlar ham yetarlicha xavfli hisoblanadi, ularning fazaviy diagrammalari $k = 2,\ 6,\ 10$ bo'lgan 8.7-*a* rasmdagi diagrammaga o'xshash bo'ladi.

k soni tirsakli valning bir marta aylanishidagi chaqnashlar soniga yoki uning karrali qiymatiga teng bo'lgan barcha garmoniklar kuchli bo'lishi o'rnatilgan (aniqlangan).

$k = 1;\ 5;\ 9$ va $k = 3;\ 7;\ 11$ bo'lganda 8.8-*a* rasmdagi diagrammaga o'xshash bo'lgan garmoniklarning fazaviy diagrammalari xavfsizroq hisoblanadi, chunki tashkil etuvchilarning fazalarini mos kelmasligi tufayli buralma tizimning tebranish amplitudasini kam bo'lishiga olib keladi. Bunday garmoniklar *kuchsiz garmoniklar* deb ataladi.



8.8-rasm. **Amplitudalarning vektorli diagrammalari *(a,b).***

8.6. BURALMA TIZIMNING XUSUSIY TEBRANISHI

Majbur qiladigan kuch chastotasidan tizimning alohida massalarining siljish amplitudalarini bog'liqligini ko'rib chiqamiz.

Buralma tizim harakatini yorituvchi tenglamalar tizimining chiziqliligi tufayli, g'alayonlanish chastotasidan uning elementlari siljish amplitudasini bog'liqligini sifatli tahlil qilish uchun «motorli» massaga garmonikli ta'sir qilishda tizimning harakatlanish xususiyatini ko'rib chiqish uchun faqat momentning bir garmonigi yetarli hisoblanadi:

$$M = M_k \sin\left(\frac{2}{r}k\omega t + \varphi_k^{(i)}\right).$$

Ularning har biriga ta'sir qiluvchi momentlarning yarimgarmonikligi, bu holatda kuch omilini buralma tizim elementlari bilan o'zaro ta'sirlanishining sifatli ko'rinishini o'zgartirmaydi, chunki garmonik tashkil etuvchilarining har biri alohida olinganda keltirib chiqaradigan harakatning superpozitsiyasi kabi uning harakati aniqlanishi mumkin. Yoritishni soddalashtirish uchun alohida tirsakka ta'sir qiluvchi momentlarning $k-x$ garmonigi bir xil (ya'ni, bu garmonik – asosiy) deb taxmin qilamiz:

$$M_1 = M_2 = \ldots = M_{n-1} = M_n = M = M_K \sin\left(\frac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_k\right).$$

Bu holat uchun buralma tizimning harakati quyidagi tenglamalar tizimi bilan yoritiladi:

$$\begin{cases} \text{Tizim } n\left(i = 1,2\ldots,n\right), \\ J_i\ddot{\theta}_i + C_i\left(\theta_i - \theta_{i+1}\right) - C_{i-1}\left(\theta_{i-1} - \theta_i\right) = M_K \sin\left(\frac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_K\right). \end{cases}$$

Bu tizimning yechimi:

$$\begin{cases} \text{Tizim } n, \\ \theta_i = A_i \sin\left(\frac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_K\right), \end{cases}$$

bundan ikkilangan differensiallashdan so'ng:

$$\begin{cases} \text{Tizim } n, \\ \ddot{\theta}_i = -\left(\frac{2}{\tau}k\omega t\right)^2 A_i \sin\left(\frac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_K\right). \end{cases}$$

Bu yechimlarni boshlang'ich tenglamalar tizimiga qo'yib, quyidagini olamiz (soddalashtirish uchun $\frac{2k}{\tau}\omega = \Omega$ deb belgilaymiz):

$$\begin{cases} \left(J_1\Omega^2 - C_1\right)A_1 + C_1A_2 = -M_K, \\ C_1A_1 + \left(J_2\Omega^2 - C_1 - C_2\right)A_2 + C_2A_3 = -M_K, \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{n-2}A_{n-2} + \left(J_{n-1}\Omega^2 - C_{n-2} - C_{n-1}\right) + C_{n-1}A_n = -M_K, \\ C_{n-1}A_{n-1} + \left(J_n\Omega^2 - C_{n-1}\right) = -M_K. \end{cases}$$

Shunday qilib, buralma tizim A_i ning alohida massalarini amplitudalarga nisbatan siljish yechimi nojinsli algebraik tenglamalar tizimi bilan yoritiladi. Kramer qoidasiga asosan istalgan amplituda quyidagiga teng bo'ladi:

$$A_i = \frac{\Delta_{n-1}\left(\Omega^2\right)}{\Delta_0\left(\Omega^2\right)},$$

bunda: $\Delta_0\left(\Omega^2\right)$ – o'ng qismi nolga teng bo'lganda algebraik tenglamalar tizimini aniqlovchisi, ya'ni tizimga kuchlar ta'siri to'liq mavjud bo'lmaganda, $\Delta_{n-1}\left(\Omega^2\right)$ esa i-ustunni tenglamaning o'ng qismi ustun qiymatlari $\Delta_0\left(\Omega^2\right)$ ga almashtirib olinadi.

Olingan natijani tahlil qilib chiqamiz. Kramer qoidasiga mos holda yozilgan tenglamadan $\Delta_0\left(\Omega^2\right) = 0$ bo'lganda «motor» massalari tebranishining amplitudalari cheksizlikka intilishi kelib chiqadi. Bu chastotalarning barcha qiymatlarida g'alayonlanuvchi momentlar Ω_1, Ω_2,... Ω_{n-1} ning o'zgarishi, $\Delta_0\left(\Omega^2\right) = 0$ bo'lganda, mexanikada ma'lum bo'lgan *rezonans* hodisasini bildiradi. Bu hodisaning hosil bo'ladigan Ω_1, Ω_2,... Ω_{n-1} chastotalari *buralma tizimning xususiy chastotasi* deb ataladi. Fizik mohiyat bo'yicha ular kuchlar ta'siri to'liq mavjud bo'lmaganda buralma tizim massasini tebranadigan chastotasini bildiradi.

Tizimning xususiy tebranish chastotasi qiymatini izlash IYOD ning buralma tebranishga hisoblashning asosiy masalalarini biri bo'lib hisoblanadi, chunki bu hodisaning salbiy oqibatlari, asosan, rezonansda aniq namoyon bo'ladi.

Ω_1, Ω_2,... Ω_{n-1} kattaliklarni hisoblash hozirgi paytda EHM da yetarlicha soddaroq amalga oshiriladi. Uning algoritmi aniqlovchi $\Delta_0\left(\Omega^2\right) = 0$ ni standart dastur bo'yicha yechishga olib keladi.

8.7. BURALMA TIZIMNING TEBRANISH SHAKLI

Buralma tizim xususiy tebranishni hosil qilishida g'alayonlanuvchi kuch mavjud bo'lmasa, alohida «motorli» massalarni siljish amplitudasi bir xil bo'lmaydi.

Val uzunligi bo'yicha buralma tizimning alohida massalari buralma amplitudalarining taqsimlanishi *tebranish shakli* deb ataladi. Buralma tebranishning har bir xususiy chastotasiga o'zining shakli mos keladi. Xususiy tebranish $M_t = 0$ bo'lganda majburiy tebranishning xususiy holi hisoblanadi, u holda majburiy tebranishning yorituvchi tenglamalar tizimini ularning amplitudalariga nisbatan yechilishiga o'xshashlik bo'yicha (8.6-rasmga qarang) quyidagini yozish mumkin:

$$\begin{cases} (J_1\Omega^2 - C_1)A_1 + C_1A_2 = 0, \\ C_1A_1 + (J_2\Omega^2 - C_1 - C_2)A_2 + C_2A_3 = 0, \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{n-2}A_{n-2} + (J_{n-1}\Omega^2 - C_{n-2} - C_{n-1}) + C_{n-1}A_n = 0, \\ C_{n-1}A_{n-1} + (J_n\Omega^2 - C_{n-1}) = 0. \end{cases}$$

Tizimning massalarini siljish amplitudalari qiymatining bu ko'rinishida izlashni imkoni yo'q, chunki noma'lumlar (A_1, A_2, ..., A_{n-1}, Ω) ning soni tizimning tenglamalari sonidan bittaga ko'p.

Nisbiy amplitudaga o'tib:

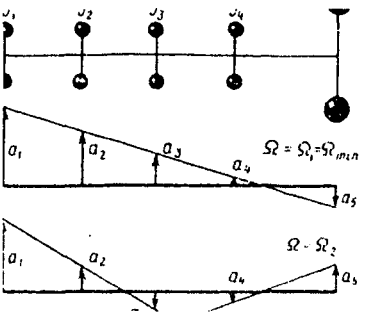
$$a_1 = \frac{A_1}{A_1} = 1;\ a_2 = \frac{A_2}{A_1};\ a_3 = \frac{A_3}{A_1};\ldots;\ a_{n-1} = \frac{A_{n-1}}{A_1};\ a_n = \frac{A_n}{A_1},$$

ma'lum bo'lganlar sonini bittaga kamaytiramiz va nisbiy amplitudalarda tenglamalar tizimi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{cases} (J_1\Omega^2 - C_1) + C_1a_2 = 0, \\ C_1 + (J_2\Omega^2 - C_1 - C_2)a_2 + C_3a_3 = 0, \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{n-2}a_{n-2} + (J_{n-1}\Omega^2 - C_{n-2} - C_{n-1})a_{n-1} + C_{n-1}a_n = 0, \\ C_{n-1}a_{n-1} + (J_n\Omega^2 - C_{n-1})an = 0. \end{cases}$$

Bu algebraik tenglamalar tizimiga tebranishlarning $\Omega = \Omega_1$ xususiy chastotalari qiymatlaridan birini qo'yib, ketma-ket o'chirish (olib tashlash) usuli bilan buralma tebranishning har bir massasi siljishi nisbiy amplitudasini, ya'ni uning tebranishiga mos kelgan shaklini aniqlash

mumkin. 8.9-rasmda xususiy tebranishlarning ikki chastotasiga mos keluvchi besh massali buralma tizimning tebranishlarini ikki pastki $-\Omega = \Omega_1 = \Omega_{min}$ bo'lgandagi shakli keltirilgan, ikkinchisi $-\Omega = \Omega_2$ bo'lgandagi. Buralma amplituda nolga teng bo'lgan valdagi joy *tebranishlar tuguni* deb ataladi. $\Omega = \Omega_{min}$ bo'lgandagi tebranishlar shakli *bir tugunli* deb ataladi (8.9-rasm), $\Omega = \Omega_2$ – *ikki tugunli* va hokazo.



8.9-rasm. **Besh massali tizim tebranishlarining birinchi va ikkinchi shakllari.**

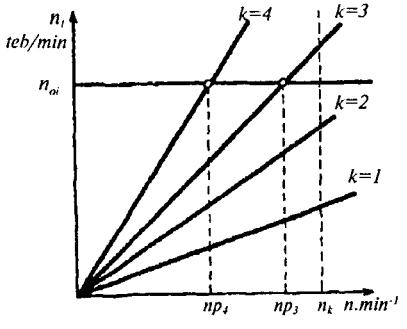
8.8. CHASTOTAVIY DIAGRAMMA

Buralma tizimning xususiy tebranishlar chastotalarini va burovchi momentlarining alohida garmonik tashkil etuvchilari chastotalarini dvigatelning aylanishlar chastotalarini barcha ish rejimlari oralig'ida taqqoslash buralma tebranishlarning sifatli tahlil qilishga, ya'ni dvigatel ishlashini rezonansli rejimini, rezonanslovchi garmoniklarning tartibi va fazoviy diagrammasini, shuningdek bunday rezonansni xavflilik darajasini aniqlashga imkon beradi. Valning tebranishlar shaklini va uning xavfli uchastkasini aniqlash ham mumkin bo'lib qoladi.

Chastotaviy diagrammalar burovchi momentning rezonanslovchi garmoniklarini aniqlashni jiddiy osonlashtiradi (8.10-rasm), uning ordinata o'qiga burovchi moment $n_к$ ning minutli tebranishlar (chastotasi) soni, abssissa o'qi bo'yicha esa dvigatelning tirsakli valini aylanishlar chastotasi n qo'yiladi, ular o'zaro $n_к = \frac{2}{\tau} kn$ [teb / min] nisbat bilan bog'langan.

Bunday diagramma to'g'ri chiziqlar dastasi ko'rinishiga ega, ularning har biri garmonik $\left(\frac{2}{\tau}k\right)$ larning bir tartibiga mos keladi. Agar uning bu shakldagi xususiy tebranishlari Ω_i ni doiraviy chastotasiga mos keluvchi buralma tizimning minutli tebranishlar soni n_{oi}, dvigatelning aylanishlar chastotalarini ishlash rejimida qandaydir garmonikning $n_к$ si bilan mos kelishida rezonansga o'rin bo'ladi. n_{oi} va Ω_i kattaliklar o'zaro quyidagi nisbat bilan bog'langan:

$$n_{oi} = 60\ \Omega_i / (2\pi) \approx 9{,}55\Omega_i$$



8.10-rasm. **Dvigatel ishlashining rezonansli rejimlarini chastotaviy diagramma bo'yicha aniqlash.**

8.10-rasmda dvigatel ishlashining rezonansli rejimini aniqlash tartibi va xususiy tebranishlar n_{oi} ning i-shaklini xususiy chastotasida rezonanslovchi garmoniklar ko'rsatilgan. Bu dvigatel tirsakli valining aylanishlar chastotasi n_{p3}, bunda 3-garmonik rezonanslanadi va n_{p4}, bu yerda 4-garmonik rezonanslanadi.

8.9. TEBRANISHLARDA ENERGIYANING YO'QOLISHI

Buralma tizimning elementlarining harakatlanish xususiyati tahlilida majburlovchi kuchning chastotasi tizimning xususiy chastotalarining biri bilan mos tushsa, uning «motorli» massalarining siljish amplitudasini cheksiz o'sishi ko'rsatib o'tilgan. Amaliyotda bunday hodisa kuzatilmaydi, chunki burchakli tebranishlarning amplitudalari tebranishlarda sodir bo'ladigan energiyaning yo'qolishi (isrof bo'lishi) bilan cheklanadi.

Ilgari yozilgan buralma tizim harakati tenglamalaridan birining tuzilishini ko'rib chiqamiz:

$$J_i\ddot{\theta}_i + C_i(\theta_i - \theta_{i+1}) - C_{i-1}(\theta_{i-1} - \theta_i) = M_i.$$

Tenglamaga kiradigan hadlar o'zining fizik mohiyati bo'yicha quyidagilarni tasavvur etadi. $J_i\ddot{\theta}_i = M_{in}$ – inersiya momenti; $C_i(\theta_i - \theta_{i+1}) - C_{i-1}(\theta_{i-1} - \theta_i) = M_{elas}$ – elastik moment; M_i – uyg'otuvchi moment $M_{uyg'}$.

Shunday qilib, $M_{in} + M_{elas} = M_{uyg'}$. Tizim bilan erkin tebranish sodir qilinganida $(M_{uyg'} = 0)$ $M_{in} = M_{elas}$ bo'lishiga ega bo'lamiz.

Energiyaning yo'qolishi bilan tebranishning mavjud bo'lishida momentlar tenglamasiga, tizimda energiyaning qaytmas yo'qolishini e'tiborga oladigan qarshilik momenti M_{qarsh} ni qo'shish kerak:

$$M_{in} + M_{qarsh} + M_{elas} = M_{uyg'}$$

$M_{in} = M_{elas}, M_{qarsh} = M_{uyg'}$ bo'lishi hisobga olinishida, agar majburiy tebranishlarning shakli xususiy tebranishlarning shakli bilan mos tushsa, tebranishlarda tashqi kuch ishi tizimdagi noelastik qarshilikni yengish uchun ketishini ko'rsatadi. IYOD buralma tizimidagi tebranishlarda energiyaning yo'qolishini keltirib chiqaradigan asosiy omillar bo'lib, tutash detallarning nisbiy siljish tezligiga proporsional bo'lgan podshipniklardagi va silindrlardagi suyuq ishqalanishning o'zgaruvchan kuchi, shuningdek, tirsakli val elementlarining burchakli tebranishlarini amplitudasiga bog'liq bo'lgan uning ashyosidagi (elastik gisterezis) ichki ishqalanish kuchlari ham hisoblanadi.

IYOD da valning hajmi ko'p bo'lmaganligi tufayli ichki ishqalanishga energiyaning yo'qolishi ko'p emas. Shuning uchun amaliy hisoblashlarda qarshilik momenti tebranish tezligiga proporsional deb taxmin qilinadi:

$$M_{qarsh} = \xi\dot{\theta},$$

bunda: ξ – barcha ko'rinishdagi noelastik yo'qotishlarni hisobga oladigan so'ndirish koeffitsiyenti.

ξ ning qiymati hisoblab topilmaydi va shunga o'xshash konstruksiyali dvigatellar uchun so'ndirish koeffitsiyenti bo'yicha statik tajriba ma'lumotlariga asosan aniqlanadi.

Porshenli dvigatellar uchun Vidler ifodasi qoniqarli natijani beradi

$$\xi = 0{,}79\mu D^2 r^2 i,$$

bunda: D – silindr diametri, sm; r – krivoship radiusi, sm; i – silindrlar soni; μ – so'ndirishning solishtirma koeffitsiyenti, kg · s/sm^3, $\mu = 0{,}015...0{,}02$ – avtomobil dvigatellari uchun.

Qarshilik momentini hisobga olgan holda buralma tizimning harakatlanishining o'ziga xos xususiyatini ko'rib chiqamiz. Soddaroq bo'lishi uchun burovchi momentning bir garmonigini «motorli» massalarga ta'siri bilan cheklanib qolamiz. M_{qarsh} qo'shilganda harakat tenglamasi chiziqligicha bo'lib qolishi tufayli, burovchi momentning tashkil etadigan alohida garmoniklar keltirib chiqaradigan harakatning superpozitsiyasi kabi tizim harakatining umumiy xarakteri (xususiyatini o'ziga xosligi) ham aniqlanishi mumkin. Umuman, buralma tizimga ko'p garmonikli ta'sir qilish holati bizga ko'proq yaqin, chunki oxirida rezonansli tebranishlarda massalarning nisbiy siljish amplitudalarini hisoblash kerak. Bu yerda bir vaqtning o'zida faqat bir garmonik rezonanslaydi, shuning o'zi bu yerda ko'rib chiqilayotgan holatning mohiyatidir.

Noelastik qarshilikli tizimning harakatlanish tenglamasi:

$$\begin{cases} \text{Tizim } n(i = 1,2...,n), \\ J_i\ddot{\theta}_i + \xi\dot{\theta}_i + C_i(\theta_i - \theta_{i+1}) - C_{i-1}(\theta_{i-1} - \theta_i) = M_к \sin\left(\dfrac{2}{\tau}k\omega t + \varphi_к^{(i)}\right). \end{cases}$$

IYOD ning buralma tizimlarida noelastik yo'qotishlar kattaligi nisbatan ko'p bo'lmaganligi uchun xususiy tebranishlarning shakliga M_{qarsh} ning ta'siri ham ko'p bo'lmasligi kerak. Bu ko'p sonli nazariy va tajriba tadqiqotlarining ma'lumotlari bilan ham isbotlangan; rezonansda tirsakli valning majburiy buralma tebranishlarining shakli deyarli to'liq uning erkin tebranishlaridagi shakli bilan mos keladi.

U vaqtda qabul qilingan yo'l qo'yishga binoan rezonansda buralma tizimning barcha massalari yo'qotishlar bilan sinfazno tebranadi va bu tizimning yechimi 8.4-§ dagi keltirib chiqarilgan o'xshashlik bo'yicha quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{cases} \text{Tizim } n(i = 1,2...,n), \\ \theta_i = A_i^* \sin\left(\dfrac{2}{\tau}k\omega t + \gamma_к\right). \end{cases}$$

Bu yechimning yo'qotish bo'lmagan tizim yechimidan asosiy farqi muvofiq kelgan massalar A_i^* ni siljish amplitudasi energiyaning sochilishi hisobiga kam bo'ladi, fazalar siljishi esa alohida krivoshiplarga ta'sir qiluvchi momentlar garmonigi fazalari bilan bir ma'noda aniqlanishi mumkin emas, [φ_K (8.4-§)] tizimning tebranishlar rejimi va dissipativ xususiyatlariga bog'liq $\gamma_к = \varphi_к^* + \varepsilon$, bunda: ε – tizimda noelastik yo'qotishlarning mavjudligi hisobiga fazaning qo'shimcha siljishi. Uning kattaligi tizimdagi yo'qotishlar koeffitsiyenti va tizimning uyg'otuvchi kuchi va xususiy tebranishlar chastotalari nisbatiga bog'liq holda o'zgaradi.

Qabul qilingan yo'l qo'yish rezonansli tebranishlarda valning ayrim uchastkalarining buralma amplitudalarini aniqlash jarayonini anchaga soddalashtirishga imkon beradi. Bu holatda faqat birinchi «motorli» massaning siljish amplitudasini hisoblash kerak, chunki rezonansli va erkin tebranishlarning shakllari ekvidistantlik bo'lganligi uchun qolgan amplitudalar ularning nisbiy qiymatlari orqali aniqlanishi mumkin.

Bundan tashqari, bu yo'l qo'yishdan quyidagi kelib chiqadi, rezonans paytida buralma tizim barqarorlashgan tebranish sodir qiladi, uning shakli erkin tebranishlar shakliga o'xshash bo'ladi, uyg'otuvchi momentning ishi qarshilik momentlari ishiga teng bo'ladi, chunki bu holatda inersiya va elastik momentlarining ishlari o'zaro teng. Bunday holat birinchi «motorli» massaning amplitudasini topish uchun amaliyotda qo'llaniladi.

8.10. UYG'OTUVCHI MOMENT VA QARSHILIK KUCHLARI MOMENTINING ISHI

Bitta tebranish davrida $T_к = \dfrac{\pi\tau}{k\omega}$ val tirsaklarining biridagi *uyg'otuvchi momentning ishi* (misol uchun i–):

$$W_{uyg'} = \int_0^{T_K} M^{(i)} d\theta_i = \int_0^{T_K} M_K \sin\left(\frac{2}{\tau} k\omega t + \varphi_K^{(i)}\right) \; d\left[A_i^* \sin\left(\frac{2}{\tau} k\omega t + \gamma_к\right)\right];$$

$$W_{uyg'} = \pi M_K A_i^* \sin\left(\varphi_K^{(i)} - \gamma_K\right).$$

Valning barcha n tirsaklaridagi uyg'otuvchi momentning ishi:

$$W_{uyg'}^{(\Sigma)} = \sum_{i=1}^{n} W_{uyg'}^{(i)} = \pi \sum_{i=1}^{n} M_K A_i^* \sin\left(\varphi_K^{(i)} - \gamma_K\right) =$$

$$= \pi M_K \left(\cos\gamma_K \sum_{i=1}^{n} A_i^* \sin\varphi_K^{(i)} - \sin\gamma_K \sum_{i=1}^{n} A_i^* \cos\varphi_K^{(i)}\right) =$$

$$= \pi M_K \sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n} A_i^* \cos\varphi_K^{(i)}\right]^2 + \left[\sum_{i=1}^{n} A_i^* \sin\varphi_K^{(i)}\right]^2}\, \sin\left(\gamma_K - \varphi_K^*\right),$$

bunda, $\varphi_K^* = arctg \dfrac{\sum_{i=1}^{n} A_i^* \sin\varphi_K^{(i)}}{\sum_{i=1}^{n} A_K^* \cos\varphi_K^{(i)}}$.

Rezonansda ishning kattaligi eng yuqoriga erishadi, bunga $\left(\gamma_к - \varphi_к^*\right) = \pi/2$ bo'lganda ega bo'ladi, bu holatda uyg'otuvchi momentning ishi quyidagiga teng:

$$W_{uyg'max}^{(\Sigma)} = \pi M_K \sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n} A_i^* \cos\varphi_K^{(i)}\right]^2 + \left[\sum_{i=1}^{n} A_i^* \sin\varphi_K^{(i)}\right]^2}.$$

Tebranishning T_K davrida i tirsakdagi *qarshilik momentining ishi*:

$$W_{qarsh}^{(i)} = \int_0^{T_K} W_{qarsh}^{(i)} d\theta_i = \int_0^{T_K} \xi\dot{\theta}_i d\left[A_i^* \sin\left(\frac{2}{\tau} k\omega t + \gamma_K\right)\right] =$$

$$= \xi \int_0^{T_K} A_i^* \cos\left(\frac{2}{\tau} k\omega t + \gamma_K\right) k\omega A_i^* \cos\left(\frac{2}{\tau} k\omega t + \gamma_K\right) d\left(\frac{2}{\tau} k\omega t + \gamma_K\right);$$

$$W_{qarsh}^{(i)} = \pi\xi \frac{2}{\tau} k\omega t \left(A_i^*\right)^2.$$

Barcha n tirsaklardagi qarshilik momentining yig'indi ishi:

$$W_{qarsh}^{(i)} = \sum_{i=1}^{n} \pi\xi \frac{2}{\tau} k\omega \left(A_i^*\right)^2 = \pi\xi \frac{2}{\tau} k\omega \sum_{i=1}^{n} \left(A_i^*\right)^2.$$

8.11. BURALMA TIZIM «MOTORLI» MASSALARINING BURCHAKLI SILJISH AMPLITUDALARINI ANIQLASH

Qabul qilingan yo'l qo'yishlarga muvofiq rezonans bo'lganda $\left(W_{uyg'}^{(\Sigma)} = W_{qarshi}^{(i)}\right)$:

$$\pi M_к \sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n} A_i^* \cos\varphi_к^{(i)}\right]^2 + \left[\sum_{i=1}^{n} A_i^* \sin\varphi_к^{(i)}\right]^2} = \pi\xi \frac{2}{\tau} k\omega \sum_{i=1}^{n} \left(A_i^*\right)^2.$$

Bu ifodaning o'zi nisbiy amplitudalarda yozilishi mumkin $\left(A_i^{(*)} = \alpha_i A_i^*\right)$.

Bundan birinchi «motorli» massaning siljish amplitudasi topiladi:

$$A_i^* = \frac{M_K \sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n} a_i \cos\varphi_K^{(i)}\right]^2 + \left[\sum_{i=1}^{n} a_i \sin\varphi_K^{(i)}\right]^2}}{\frac{2}{\tau}\xi k\omega \sum_{i=1}^{n} a_i^2}.$$

Qolgan massalarning majburiy burchakli tebranishlarining haqiqiy amplitudalarining kattaligi nisbiy amplitudalar kattaligini A_i^* ga ko'paytirish bilan aniqlanadi.

8.12. BURALMA TEBRANISHLARDAN VAL ELEMENTLARIDAGI KUCHLANISHLARNI ANIQLASH

Rezonansli buralma tebranishlardan tirsakli valda paydo bo'ladigan burashning qo'shimcha kuchlanishi, valning ko'proq kuchlangan uchastkasiga ta'sir qiluvchi elastik moment bo'yicha aniqlanadi:

$$\tau = \frac{M_{elas}}{W_0},$$

bunda: $M_{elas} = C_i\left(A_i^* - A_{i+1}^*\right)$– tebranishlar tugunidagi elastik momentning katta qiymati; C_i – tebranishlar tuguni joylashgan valning i-uchastkasini bikrligi; A_i^*, A_{i+1}^* – valning 1-uchastkasini cheklovchi i va $(i+1)$– «motorli» massalarning burchakli siljishining amplitudasi; W_0 –valning hisoblash uchastkasining burashga qarshilik momenti.

8.13. BURALMA TEBRANISHLARDAN VAL KONSTRUKSIYASIDAGI KUCHLANISHLARNI KAMAYTIRISH USULLARI

Agar tirsakli valning sinashlar bilan tasdiqlangani buralma tebranishga hisoblash natijalari, uning konstruksiyasidagi ruxsat etilgan kuchlanishidan ortib ketishini ko'rsatgan holatida, buralma tebranishlarning zararli ta'sirini quyidagi *usullarning* biri bilan bartaraf qilish kerak:

- tirsakli valning joylashishini tanlab olingan holatida to'rt taktli dvigatel uchun ishlash tartibini mumkin bo'lgan bir nechta variantlari bo'lsa, ulardan siljishning nisbiy amplitudalari vektorini teng ta'sir etuvchisini kamroq qiymatini ta'minlaydigan uyg'otuvchi garmonikni fazoviy burchagi tanlanishi kerak:

$$\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n} a_i \cos\varphi_K^{(i)}\right]^2 + \left[\sum_{i=1}^{n} a_i \sin\varphi_K^{(i)}\right]^2} \to \min$$

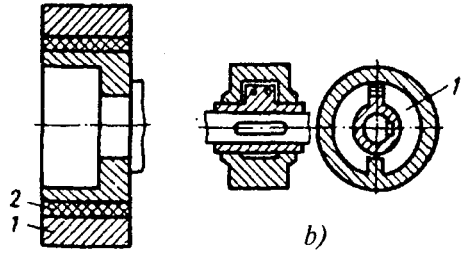
(8.11-§ dagi birinchi «motorli» massa A_i^* ning siljish amplitudasini hisoblash ifodasiga qarang);

- tizimning xususiy tebranishlar chastotasini orttirish va uning dvigatel aylanish chastotalarini ishchi oralig'idan tashqariga chiqarish maqsadida tirsakli val konstruksiyasini (krivoship sxemasini o'zgartirmasdan) o'zgartirish. Buning uchun «motorli» massalar inersiya momentini kamaytirishga intilish, shuningdek, tirsakli valning buralma bikrligini ham oshirish kerak;
- agar ko'rsatilgan tadbirlar kutilgan natijani bermasa yoki amaliy jihatdan bajarish mumkin bo'lmasa, tirsakli valga buralma tebranishlarni s o ' n d i r *so'ndirgichlar* o'rnatiladi.

Tirsakli valning buralma tizimiga ta'sir qilish usuli bo'yicha so'ndirgichlar ikki turga bo'linadi: 1) tizimning tebranma energiyasini yutmaydigan so'ndirgichlar – *mayatnikli* (dinamikli) so'ndirgichlar yoki *titrash so'ndirgichlar*; 2) buralma tebranishlar energiyasini qisman yutadigan va keyinchalik atrof-muhitga issiqlik ko'rinishida sochadigan so'ndirgichlar – *dempferlar.*

Birinchi tur so'ndirgichlar tirsakli valning rezonansli tizimini nosoz qilib qo'yish (buzish) prinsipi bo'yicha ishlaydi. Shuning uchun ular faqat dvigatelning bir rejimda ishlashidagi (rezonansli rejim) tor oraliq chastotalarida samarali bo'ladi. Boshqa rejimlarda, aksincha, tirsakli valning tebranish ko'lamini oshirishi mumkin. Shuning uchun ular, asosan, doimiy tezlik rejimida ishlaydigan statsionar (qo'zg'almas) dvigatellarda qo'llaniladi.

Ikkinchi tur so'ndirgichlar dvigatelning buralma tebranishida noelastik yo'qotishlarni ko'paytirish (so'ndirish) prinsipi bo'yicha ishlaydi. Tebranish energiyasining qo'shimcha yutilishi yoki tizimda quruq ishqalanishni orttirish hisobiga (quruq ishqalanish so'ndirgichlari) yoki suyuq ishqalanish hisobiga (suyuq ishqalanish so'ndirgichlari) yoki so'ndirgichni elastik elementidagi (rezinali so'ndirgichlar) ichki ishqalanish hisobiga (molekular ishqalanish) amalga oshiriladi. Avtotraktor dvigatellarida ko'proq tarqalgan molekular va suyuq ishqalanish so'ndirgichlarining sxemasi 8.11-rasmda keltirilgan. Tebranishlarning so'ndiradigan ikkinchi tur so'ndirgichlar dvigatelning istalgan aylanishlar chastotasidagi, shu jumladan, rezonansli chastotadagi tebranish amplitudalarini kamaytiradi. Shuning uchun dempferlarning ko'p rejimli, xususan, avtotraktor dvigatellarida qo'llanilishi keng o'rin olgan.



8.11-rasm. **Buralma tebranishlar so'ndirgichlari sxemasi: *a*–molekular ishqalanishli (*1*-inersion element, *2*-elastik element); *b*–suyuq ishqalanishli (*1*-suyuq to'ldirgich – silikon).**

8.14. TIRSAKLI VALLARNING EGILISH TEBRANISHLARI TO'G'RISIDA ASOSIY MA'LUMOT

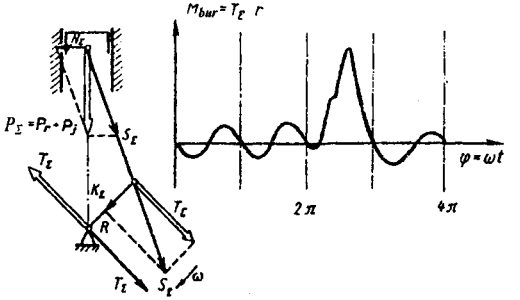
Porshenli ichki yonuv dvigatellarida tirsakli valning buralma tebranishlari bilan birgalikda egilish tebranishlariga ham o'rin bo'ladi, unda uning elementlari davriy ravishda bir-biriga nisbatan bo'ylama o'q chizig'iga perpendikulyar yo'nalishda siljiydi. Bunday hodisalar tirsakli valning yuklantiradigan qo'shimcha belgisi o'zgaruvchan eguvchi kuchlanishlarning paydo bo'lishiga olib keladi, bu ayrim hollarda uning sinishiga sababchi bo'lishi mumkin. Zamonaviy IYOD larning ko'pchiligi uchun egilish tebranishlari konstruksiyalar ish qobiliyatiga jiddiy ta'sir qilmaydi; ularning ta'siri faqat yuqori kuchaytirilgan tezyurar dvigatellarda sezilarli bo'lib qoladi. Shuning uchun hozirgi paytda egilish tebranishlarining muammosi dvigatelsozlik uchun nisbatan yangi hisoblanadi, bu bilan hodisaning kam o'rganilganligi tushuntiriladi.

IYOD tirsakli vallarida egilish tebranishlarining hosil bo'lishiga olib keladigan asosiy sababchisi bo'lib, gazlar va inersiya kuchlarining radial tashkil etuvchilarini tirsakli valning elastik elementlari bilan o'zaro ta'sirlanishi hisoblanadi.

Krivoshipning har biriga shatun tomonidan bo'ylama kuch $S = f(P_\Gamma, P_j)$ ta'sir qiladi (8.12-rasm). Uning krivoship radiusi bo'yicha yo'nalgan tashkil etuvchisi $K, T = \tau\pi/(2\omega)$ davr bilan murakkab davriy qonun bo'yicha o'zgaradi, bunda: ω – tirsakli val aylanishining burchak chastotasi. Har qanday davriy funksiya kabi uning cheksiz garmonik qator ko'rinishida tasavvur qilish mumkin:

$$K_\Sigma = \sum_{K=1}^{\infty} K_K \sin\left(\frac{2}{\tau} k\omega t + \varphi_K\right),$$

bunda: $k = 0,1,2,3,...$; K_K va φ_K – mos holda kuch K ning k garmonigini amplitudasi va fazasi.



8.12-rasm. K_r **kuch ta'siridan krivoshipning egilish tebranishlari paydo bo'lishi.**

Tirsakli val butunligicha va uning har bir krivoshipi alohida olinganda elastik egilish tizim ko'rinishiga ega, u ko'p xususiy shakllarga va ularga mos keluvchi xususiy chastotalari ω_0 ga ega. K kuchning garmoniklaridan birining chastotasi $\left(\frac{2}{\tau}k\omega\right)$ tizimning xususiy chastotalaridan biri ω_0 bilan mos kelish holatida egilish tebranishlarining amplitudasi tirsakli valning mustahkamligi uchun xavfli bo'lib qolishi mumkin.

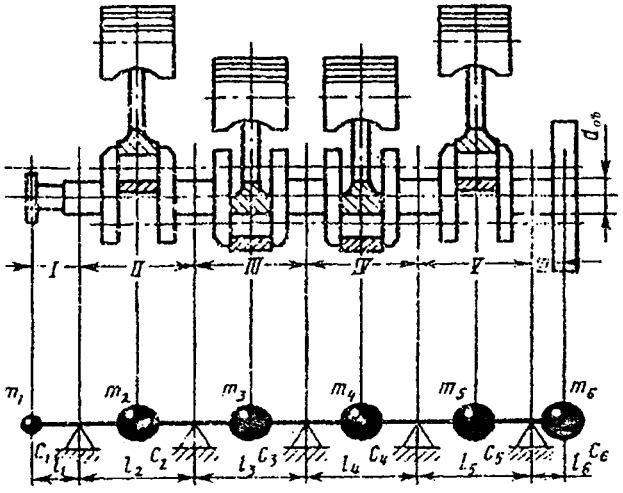
Shuning uchun jadal egilish tebranishi, ayniqsa, katta tezlikda aylanadigan IYOD uchun xususiyatli deb hisoblanadi. Zamonaviy IYOD larning ko'pchiligi uchun K kuchning «motorli» garmonikni birinchi 12...16 tasining jadalligi ko'p $\omega_0 \gg \frac{2}{\tau}k\omega$, lekin aylanishlar chastotasining ortishi bilan ω ning qiymati ortadi va mos holda garmoniklarning biri chastotasi bo'yicha ω_0 bilan mos kelishi mumkin, bu rezonansli egilish tebranishiga olib keladi.

Tirsakli vallarning egilish tebranishiga hisoblashning dastlabki shartlarini ko'rib chiqamiz. Hozirgi paytda IYOD tirsakli vallarining egilish tebranishiga hisoblashning oxirigacha yetkazishga imkon beradigan aniq usullar, ya'ni valning alohida uchastkalarini siljish amplitudalarini aniqlashga va uning elementlarida paydo bo'ladigan qo'shimcha egilish kuchlanishini hisoblash mavjud emas. Mavjud usullar faqat dvigatelning aylanishlar chastotasini ishchi oralig'i doirasida valning elastik tizimida rezonansli egilish tebranishlarini paydo bo'lishi mumkinligini baholashga imkon beradi.

Bunda hisoblash xususiy tebranishlar chastotalarining aniqlashga (ko'proq faqat birinchi shaklini) va keyinchalik ularning g'alayonlantiruvchi omillarining chastotalari bilan taqqoslashga olib keladi.

Tirsakli valning egilish tebranishiga hisobi buralma tebranishlar kabi soddalashtirilgan ekvivalent tebranma tizimning tuzish bilan boshlanadi. Vaznsizlik ko'rinishiga ega bo'lgan ikki o'zak bo'yin orasi o'rtasida massalar bilan mujassamlangan val ko'proq ishlatiladigan ekvivalent sxema hisoblanadi (8.13-rasm). Val o'zak bo'yinlar markaziga mos keladigan nuqtalarda prizmatik tayangan deb taxmin qilinadi. Haqiqiy tirsakli valni uning ekvivalent dinamik modeliga keltirish sharti buralma tebranishlarning hisoblashga, ya'ni valning tebranuvchi elementlarining kinetik va potensial energiyalari va ular bilan tutashgan KSHM elementlarini ekvivalent tizim massalari bilan tengligiga o'xshash. Bu shartlardan valning o'zak bo'yinlar tayanchlar orasiga mos keluvchi hisoblash modelining alohida uchastkalari massasi (m_i) va egilish bikrligi (C_i) aniqlanadi.

Hozirgi paytda tirsakli vallarning krivoshiplarini egilish bikrligiga hisoblashning aniq usullari mavjud emas, bu valning yonma-yon turgan uchastkalarining ta'sirini hisobga olishning murakkabligi bilan tushuntiriladi. Shuning uchun ularning aniqlashda o'xshash konstruksiyali tirsakli vallarning shatun bo'yinlari o'rtasida krivoshipni yuklantiradigan tajriba usullaridan foy-



8.13-rasm. **Tirsakli valning egilish tebranishlarining tahlili uchun ekvivalent sxema.**

dalaniladi. Bunda tirsakli val o'zak tayanchlar markazida prizmatik tayanadi. Yuklantiradigan kuch P qo'yilgan nuqta ustidagi egiklik y kattaligini o'lchab, bu krivoshipning bikrligi hisoblanadi: $C_i = P / y$. Shunday usul bilan tirsakli valning barcha uchastkalaridagi bikrlik aniqlanadi.

Ekvivalent massalarni hisoblashda bu hisoblash uchastkasiga taalluqli bo'lgan KSHM massalari hisobga olinadi.

Ekvivalent hisoblash modelning parametrlari (m_i) va (C_i) aniqlanganidan so'ng xususiy tebranishlarning chastotalarini aniqlashga o'tiladi, ularning hisobi quyidagi yo'l qo'yishlar bilan bajariladi:

- egilish tebranishlarida noelastik yo'qotishlar yo'q;
- ekvivalent hisobli modelning har bir uchastkasi boshqa uchastkalariga dinamik bog'liq emas.

Keltirilgan yo'l qo'yishlarni hisobga olib ekvivalent modelning harakati (xususiy tebranish) n ta bog'liq bo'lmagan bir jinsli chiziqli differensial tizim bilan yoritiladi (n – hisoblash modelining mustaqil uchastkalari soni):

$$\begin{cases} \text{Tizim } n(i=1,2...,n), \\ m_i\ddot{y}_i + C_i y_i = 0, \end{cases}$$

bunda: i – hisoblash uchastkasining raqami; y_i – i – mujassamlangan massalarning siljishi.

Bu tizimni yechish ma'lum:

$$\begin{cases} \text{Tizim } n(i=1,2...,n), \\ y_i = A_i \sin(\omega_{oi} t + \varphi), \end{cases}$$

bunda: ω_{0i} – i-uchastkaning xususiy egilish tebranishini chastotasi.

Bu yechimning boshlang'ich tenglamalar tizimiga qo'yib quyidagini olamiz:

$$\begin{cases} \text{Tizim } n(i=1,2...,n), \\ \omega_{0i} = \sqrt{\dfrac{C_i}{m_i}}\left[c^{-1}\right]. \end{cases}$$

Hisoblashda ularning n ta ko'pchiligidan ω_0 ning eng kam qiymatligi qabul qilinadi.

Tirsakli valning egilish tebranishlarini olingan $\omega_{0\min}$ qiymati keyichalik tirsakli valning mos keluvchi uchastkasiga ta'sir qiluvchi normal kuch K ning birinchi 12–16 «motorli» garmoniklari bilan rezonans bo'lishi mumkinligiga tekshiriladi. Bu shart bajariladi, agar quyidagicha bo'lsa:

$$\omega_{0\min} > (6...8)\frac{\pi n_{\max}}{30},$$

bunda: $n_{\max}$ – dvigatelning tirsakli vali aylanishini mumkin bo'lgan eng katta ishchi chastotasi. Bu shartni bajarishga yonma-yon turgan o'zak tayanchlar orasidagi valning egilish bikrligini orttirish va KSHM ning harakatlanuvchi massalarini kamaytirish bilan erishish mumkin.

Krivoshipning egilish bikrligini oshirishga quyidagilar yordam beradi:

- dvigatel konstruksiyasida to'liq tayanchli tirsakli vallardan foydalanish;
- o'zak va shatun bo'yinlari diametrlarini orttirish bilan bir vaqtda ularning uzunligini qisqartirish.

IX BOB
GAZ TAQSIMLASH MEXANIZMI

Gaz taqsimlash mexanizmining vazifasi (GTM) – gaz almashinuvi jarayonini boshqarish va silindrlarning imkoni boricha yaxshi to'lishini ta'minlash.

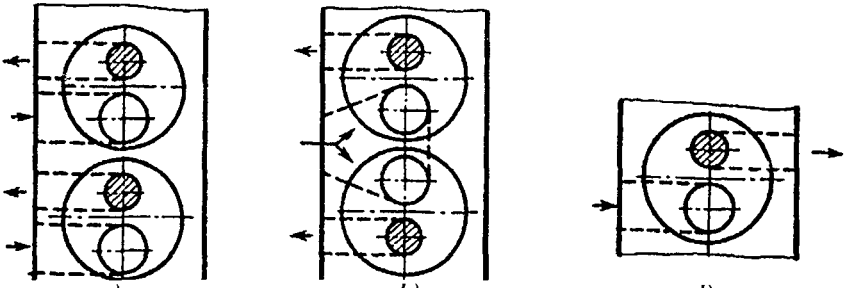
Zamonaviy to'rt taktli dvigatellarda asosan konstruksiyasining soddaligini, tayyorlash va ta'mirlash narxining kamligini, yonish kamerasini yaxshi zichlanishini va ishlashda ishonchliligini o'ziga xos xususiyatlaydigan klapanli gaz taqsimlash mexanizmlari ishlatiladi.

9.1. KONSTRUKSIYALAR BO'YICHA SHARH

Bitta chiqarish va bitta kiritish klapanlarini o'z ichiga olgan ikki klapanli GTM li dvigatellarning konstruksiyasi keng tarqalgan (9.1, 9.2-rasmlar). Yonish kameralari silindrsimon va ponasimon shaklli dvigatellarda klapanlar blok o'q chizig'i bo'ylab bir qator joylashadi (9.1-rasmga qarang). Kiritish va chiqarish klapanlari almashinib (oralatib) (9.1-a rasm) yoki juft qilib (9.1-b rasm) o'rnatiladi. Klapanlar juft qilib joylashtirilishida qo'shni silindrlarning kiritish klapanlari bitta umumiy yoki har bir klapan alohida patrubkalarga ega bo'lishi mumkin (9.1-a, d rasm).

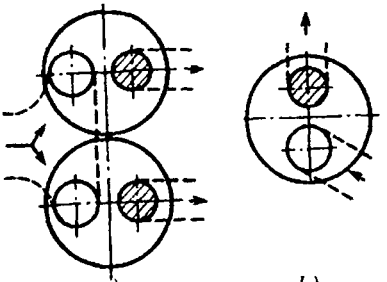
Chodirsimon (шатровый) va yarimsferasimon yonish kamerali uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda ikki qator joylashgan klapanlar ishlatiladi (9.2-rasm). Klapanlarning o'qlari silindr o'qiga nisbatan og'gan bo'lishi mumkin (9.6-b, e rasmga qarang), bu klapan bo'g'zi diametrini oshirishga va kallakda kanallar shaklini soddalashtirishga imkon beradi.

Forsunkalarni xizmat qilish uchun qulay joyga o'rnatilishini qiyinlashishi bilan bog'liq bo'lganligi uchun dizellarda klapanlarning ikki qator joylashishi, odatda, qo'llanilmaydi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda klapanlar bir qator joylashtirilganda kiritish va chiqarish uzatuvchi quvurlari silindrlar kallagining bir tomonida (9.1-a,b rasm) va ikki tomonida ham joylashtirilishi mumkin (9.1-d rasm).

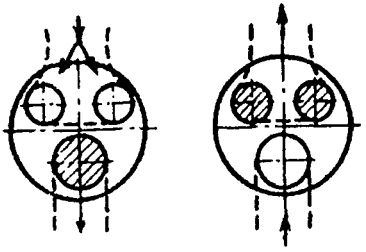


9.1-rasm. **Bir silindrda ikki klapanli bir jinslilik qilib joylashtirish:** *a,d*–kiritish va chiqarish klapanlari almashinadi; *b*–juft joylashishi.

Klapanlari ikki qator joylashgan va *V* simon dvigatellarda uzatuvchi quvurlar silindrlar kallagining ikki tomoni bo'yicha joylashtiriladi (9.2-rasm.)



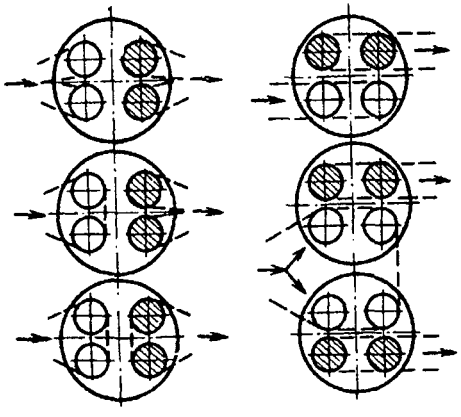
9.2-rasm. **Bir silindrga ikki klapanni ikki qator joylashtirish (*a*, *b*).**



9.3-rasm. **Bir silindrga uchta klapanni joylashtirish varianti (*a*, *b*).**

Bir silindrda uchta (9.3-rasm) va to'rtta (9.4-rasm) klapanli gaz taqsimlash mexanizmining konstruksiyasi kengroq tarqalmoqda. Bu klapanlarning o'lchamlarini kamaytirish bilan ularning o'tish kesimi yuzasini oshirishga imkon beradi. Klapan kallagi diametrini kamayishi bilan uning bikrligi ortadi va sovitilishi yaxshilanadi. Bir vaqtning o'zida gaz taqsimlash mexanizmi detallariga tushadigan inersion yuklama kamayadi.

Uch klapanli mexanizmlarning diametri katta bo'lgan bitta chiqarish va ikkita kiritish (9.3-a rasm) yoki diametri katta bo'lgan bitta kiritish va ikkita chiqarish klapanli qilib tayyorlaniladi (9.3-b rasm). Bir silindrga to'rtta klapan o'rnatilishida (9.4-rasm) bir xil nomlangan klapanlar blokning bo'ylama o'qi bo'ylab (9.4-a rasm) yoki ikki qator (9.4-b rasm) joylashtiriladi. Ikki qator joylashtirish chiqarish patrubkasi tomonida joylashgan chiqarish klapanining sterjenini jadal isishiga olib keladi. Bir xil nomlangan klapanlarning turli qatorlarda joylashgan konstruksiyalarining keng tarqalishi bu holat bilan bog'langan.



9.4-rasm. **Bir silindrda to'rt klapanning joylashish variantlari (*a*, *b*).**

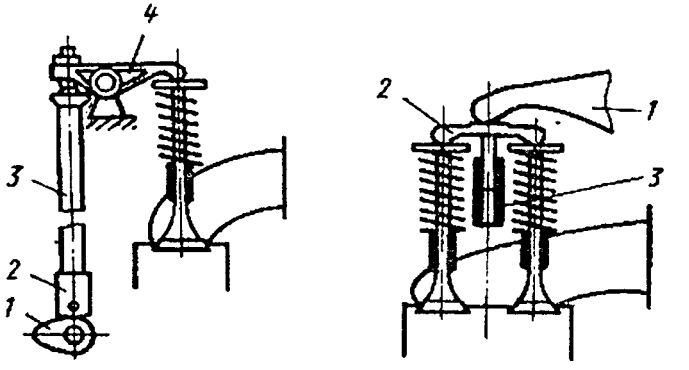
Klapanlarning yuritish sxemalarini tanlashda gaz taqsimlash mexanizmining harakatlanuvchi elementlarining massalarini iloji boricha kamaytirishga va uning umumiy bikrligini oshirishga intiliniladi.

Gaz taqsimlash mexanizmlari taqsimlash valining joylashishi bo'yicha pastda yoki o'rtada (9.5-rasm) va yuqorida (9.6-rasm) joylashganlarga ajratiladi. Quyi taqsimlash vallari karterda o'rnatiladi. *V* simon konstruksiyalarda ular,

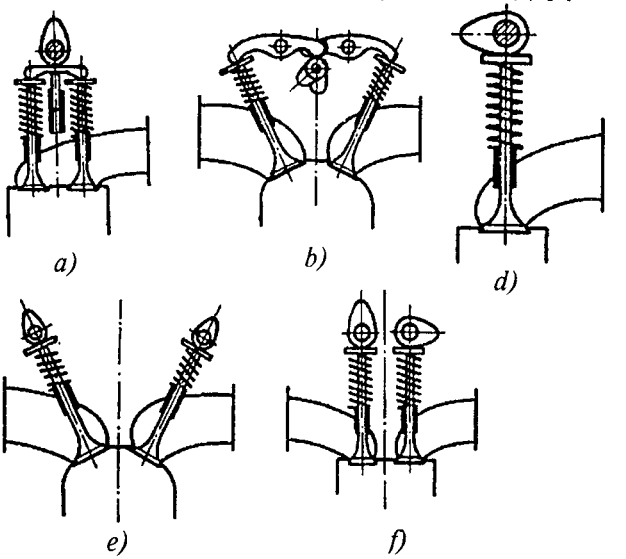
odatda, silindrlar blokining og'ish oralig'iga joylashtiriladi. Taqsimlash valining quyi joylashishi konstruksiyasining soddaligi va yuritmasining ixchamligi sababli keng miqyosda qo'llanilgan va qo'llanilmoqda. Uning jiddiy kamchiligi bo'lib, harakatlanuvchi elementlari massalarining nisbatan ko'pligi va mexanizmning umumiy bikrligini kamaytiradigan bo'ysunuvchi uzun shtanganing mavjudligi hisoblanadi. Bunga bog'liq holda taqsimlash vallarini iloji boricha blokning yuqori qismiga joylashtirishga intiliniladi.

Yuqori taqsimlash vallari silindrlar blokining kallagida joylashtiriladi; bunda klapanlarning yuritish uchun bitta (9.6-*a, d* rasm) yoki ikkita (9.6-*e,f* rasm) taqsimlash vallari ishlatilishi mumkin.

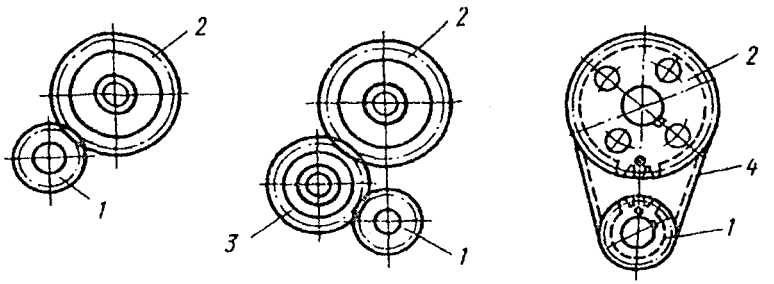
Quyi taqsimlash vali ko'pincha tishli juft yordamida bevosita tirsakli valdan aylanma harakatga keltiriladi (9.7-*a* rasm). Taqsimlash va tirsakli



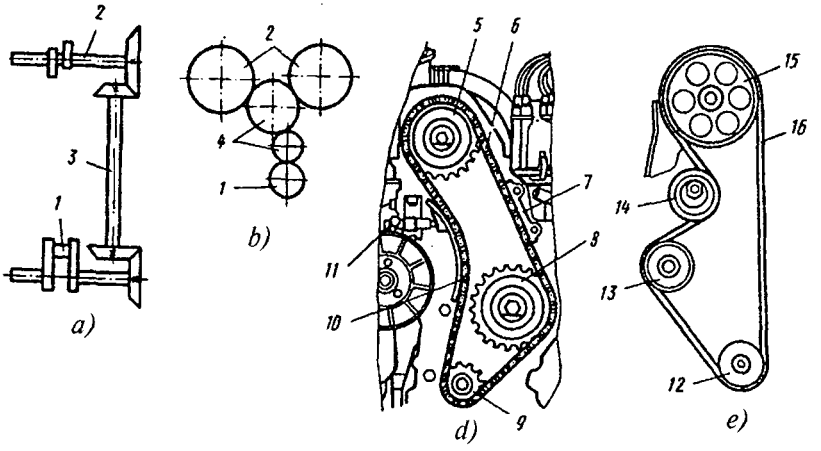
9.5-rasm. **Taqsimlash valining quyi (*a*) va yoki o'rtada (*b*) joylashishi.**



9.6-rasm. **Taqsimlash valining yuqorida joylashishi: bitta (*a, d*), ikkita (*e, f*).**



9.7-rasm. **Quyidagilar yordamida quyi taqsimlash valiga yuritma:** *a* – tishli juft; *b* – oraliq shesternalar; *d* – zanjirli uzatma; *1* – tirsakli val; *2* – kulachokli val; *3* – oraliq shesterna; *4* – zanjir.



9.8-rasm. **Yuqori taqsimlash vallariga yuritma (a...g):** *1* – tirsakli val; *2* – kulachokli val; *3* – oraliq val; *4* – oraliq shesternalar; *5* – taqsimlash val yulduzchasi; *6* – zanjir; *7* – zanjir tebranishini tinchlantirgich; *8* – moy nasosi yuritmasining yulduzchasi; *9* – tirsakli val yulduzchasi; *10* – zanjir taranglagichi boshmog'i; *11* – zanjir taranglagichi; *12* – tirsakli val shkivi; *13* – suyuqlik nasosi shkivi; *14* – taranglagich rolik; *15* – taqsimlash val shkivi; *16* – tishli tasma.

vallarning markazlari orasidagi masofa ko'p bo'lganida yuritmaga oraliq shesterna (tishli g'ildirak) kiritilishi (9.7-*b* rasm) yoki zanjirli uzatma ishlatilishi mumkin (9.7-*d* rasm). Ishlashida ilashish ravonligini oshirish va shovqinni pasaytirish uchun shesternalarning tishlari qiya qilib yasaladi. Bu maqsad uchun taqsimlash valining shesternasi ko'pincha tekstolitdan tayyorlanadi (shesterna butunligicha yoki faqat uning gardishi) va shesternaning moduli iloji boricha kichik qilib tanlanadi.

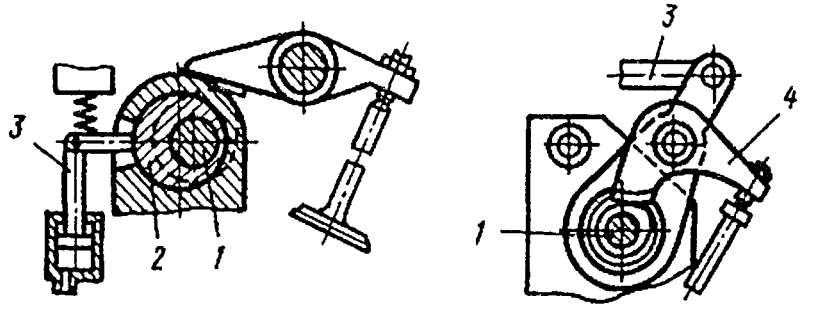
Yuqori taqsimlash vallari konussimon va vintsimon shesternali oraliq vallar tizimi (9.8-*a* rasm), silindrik shesternalar (9.8-*b* rasm), zanjir (9.8-*d* rasm) yoki tishli tasma (9.8-*e* rasm) yordamida harakatga keltiriladi. Oraliq

valli yuritmalar ishlashda ishonchli hisoblanadi, lekin konstruksiyasi murakkab, shesternalarning ilashishini sinchiklab (puxta) rostlash talabi qo'yiladi. Silindrik shesternalardan tashkil topgan uzatmalar ko'p sonli shesternalarga ega bo'ladi, ular dvigatelning metall sig'imiga salbiy ta'sir qiladi.

Zanjirli uzatmalar afzalliklariga quyidagilar kiritiladi:

- tirsakli va taqsimlash vallarining markazlari orasidagi masofa ko'p bo'lganda aylanishlarning uzatish imkoni;
- ishlashida shovqinning nisbatan kamligi;
- konstruksiyaning soddaligi;
- yuritma massasining kamayishi.

Tishli va vtulka-rolikli ikki qatorli zanjirlar o'rnatiladi. Vtulka-rolikli ikki qatorli zanjir arzon bo'lishi tufayli keng tarqalgan. *Zanjirli yuritmaning* asosiy *kamchiligiga* yuklamaning keskin o'zgarishida zanjirning titrashi (tebranishi), shuningdek, foydalanish jarayonida esa zanjirning yeyilishi va cho'zilishi kiradi. Shuning uchun zanjirli yuritmada taranglash tuzilmasini (lenikslar) va zanjir tebranishining tinchlantirgichini bo'lishi, albatta, zarur hisoblanadi. Zamonaviy tezyurar dvigatellarda zanjir o'rniga shisha yoki sim kordli sintetik ashyolardan tayyorlangan tishli tasmali uzatmalar keng tarqalgan. Tishli tasmali yuritma moylashni talab qilmaydi va yetarlicha ko'pga chidamliligi, rostlashlarning barqarorligi, narxining kamligi, shovqin darajasi-



a) *b)*

9.9-rasm. **Rostlanadigan fazali gaz taqsimlash mexanizmlari.**

ning pastligi bilan ajralib turadi. Silindrik tishli shkivlardan, shu jumladan taranglagich rolikdan chiqib ketishidan u chiqiq bilan himoyalanadi.

Dvigatelning ishlash paytida gaz taqsimlash fazalarini operativ o'zgartirishga imkon beradigan GTM ning bir qator konstruksiyalari mavjud. Buning uchun klapan ko'tarilish fazasini rostlaydigan gaz taqsimlash mexanizmlari ishlatiladi, unda klapanning ochilish va yopilish payti kulachokning aylanish o'qi (taqsimlash vali) va richagning tebranish o'qi holatini o'zaro o'zgartirish bilan rostlanadi. Ular ikki variantda bajariladi. Birinchi variantda rostlanadigan element bo'lib tayanchlarning ekssentrik teshiklarida aylanadigan taqsimlash vali *1* (9.9-*a* rasm) hisoblanadi, ularning burchak holati tirsakli valning aylanishlar chastotasiga bog'liq holda ijro etuvchi tuzilma *3* bilan o'rnatiladi. Ikkinchi variantda fazalarni

rostlash (9.9-*b* rasm) qo'zg'almas tayanchlarda aylanadigan taqsimlash valining kulachoklariga nisbatan richag *4* holatini o'zgartirish bilan amalga oshiriladi.

Taqsimlash vali quyi joylashganda klapanlarning yuritish kulachok *1*, turtkich *2*, shtanga *3* va koromislo *4* bilan amalga oshiriladi (9.5, *a*-rasmga qarang). Ko'pchilik holatlarda kiritish va chiqarish klapanlari bitta taqsimlash validan harakatga keltiriladi. To'rt klapanli mexanizmning ikki qatorda joylashgan bir xil nomlangan klapanlarining yuritish yuqoridagiga o'xshash bajariladi, lekin bunda koromislo *1* (9.5-*b* rasm) yo'naltiruvchi ustun *3* da siljiydigan ko'ndalang bog'lovchi traversa *2* ga ta'sir qiladi. Bir xil nomlangan klapanlarning alohida qatorda joylashishida ular ayrisimon koromislo bilan yuritiladi (9.18-*e* rasmga qarang); kulachoklarning klapanlarga bevosita ta'sirida (9.6-*d* rasmga qarang); yoki bo'ylama traversa orqali.

Taqsimlash vallari yuqorida joylashgan holatida *klapanlarning yuritmasi* quyidagi usullarda amalga oshiriladi:

- klapanlar bir qator joylashganda–bevosita taqsimlash vali kulachoklaridan (9.6-*d* rasmga qarang);
- bir silindrda ikki klapan ikki qatorda joylashganda: 1) ikkita taqsimlash vallari bo'lgan holatda – bevosita taqsimlash valining kulachoklaridan (9.6-*e* rasmga qarang); 2) bitta taqsimlash vali bo'lgan holatda – koromislo (9.6-*b* rasmga qarang), bo'ylama traversa yoki ayrisimon koromislolar orqali (9.18-*e* rasmga qarang).

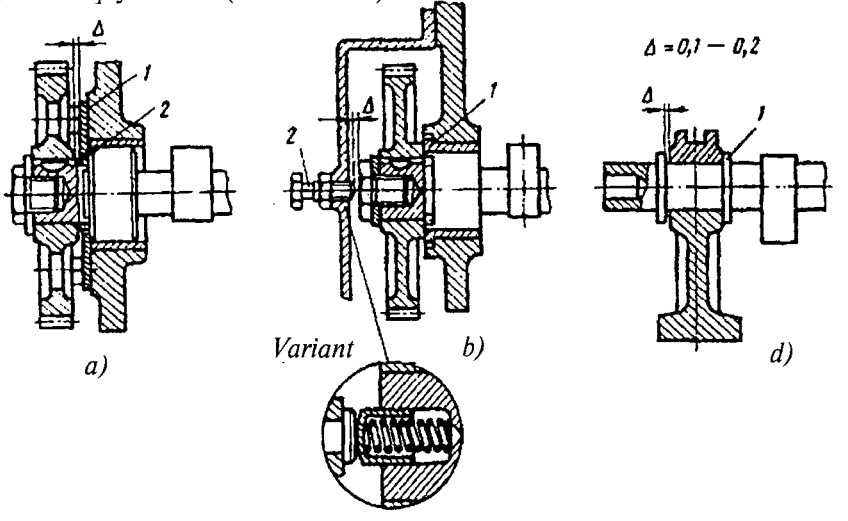
Uch klapanli mexanizmlarning klapanlarini yuritish ikki taqsimlash vallaridan kulachoklarning klapanlarga bevosita ta'sir qilishi bilan amalga oshiriladi.

9.2. GAZ TAQSIMLASH MEXANIZMINING ELEMENTLARI

Taqsimlash valining chala mahsuloti keyinchalik nusxa bo'yicha tayanch bo'yinlari va kulachoklariga mexanik ishlov berish bilan shtamplarda bolg'alash bilan olinadi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarning taqsimlash valiga qo'shimcha o't oldirishning taqsimlagichi va moy nasosining yuritish uchun vintsimon shesterna, shuningdek, benzin nasosini yuritish uchun ekssentrik joylashtiriladi.

Taqsimlash vallari yoki kam uglerodli (15X, 20X, 15XH2M, 12XH3A), yoki o'rtacha uglerodli (40, 45, 45X) *po'latlardan* tayyorlanadi. Kam uglerodli po'latlar ishlatilganda kulachoklar, tayanch bo'yinlar, ekssentriklar, shesternalar HRC 50...60 qattiqlikkacha sementlanadi. O'rtacha uglerodli po'latlar ishlatilgan holatda, bu elementlar 2...6 mm qalinlikda yuqori chastotali tok bilan toblanadi. So'ngra kulachoklar va tayanch bo'yinlar silliqlanadi hamda yaltiratiladi. Tayanch bo'yinlar soni valning bikrligini yetarlicha ta'minlaydigan sharoitdan kelib chiqqan holda tanlanadi, odatda, ular tirsakli valning o'zak tayanchlari soniga teng bo'ladi. Taqsimlash valining quyi joylashishida tayanch bo'yinlarning **podshipniklari** *bimetallik* qilib (COC 6-6 qotishmani quyish bilan) yoki karter yoki blokka bosib o'rnatiladigan ajralmasiz aluminiy *qotishmasidan* tayyorlanadi.

Taqsimlash vallarining yig'ish oson bo'lishi uchun tayanch bo'yinlarining diametrlari valning oldi uchidan orqa uchigacha kamaytiriladi. Taqsimlash valining kallakda joylashishida ajralmali podshipniklar ishlatiladi, ular aluminiy qotishmasidan quyilgan bo'lsa, tayanch ustunlarda bevosita bajariladi (tayyorlanadi). Cho'yanli ustunlarda antifriksion qotishma quyilgan ichquymalar o'rnatiladi. Quyi taqsimlash vallarining podshipniklariga moy karter to'siqlaridagi kanallar bo'yicha keltiriladi. Yuqori joylashgan vallarning podshipniklariga valning ichki bo'shlig'i va uning tayanch bo'yinlaridagi va kulachoklardagi teshiklar orqali keltiriladi. Quyi taqsimlash vali o'q yo'nalishi bo'yicha po'lat yoki bronza tirak flanes *1* bilan qaydlanadi (9.10-*a* rasm). Zarur bo'lgan o'q chizig'i yo'nalishidagi tirqish distansiya shaybasi *2* bilan ta'minlanadi. Bir qator traktor dvigatellarida valning bir tomoni podshipnik *1* ning aylana chiqig'i bilan (9.10-*b* rasm), ikkinchi tomoni esa rostlash bolti *2* bilan qaydlanadi. Boltning o'rniga o'q chizig'i yo'nalishida taqsimlash valining o'zgarmas holatini ta'minlaydigan prujinali tirgak o'rnatilishi mumkin. Podshipniklarning qopqoqlari ajralmali bo'lganda yuqori vallar podshipnikning yon yuzasiga tayanadigan aylana chiqiq *1* bilan qaydlanadi (9.10-*d* rasm).

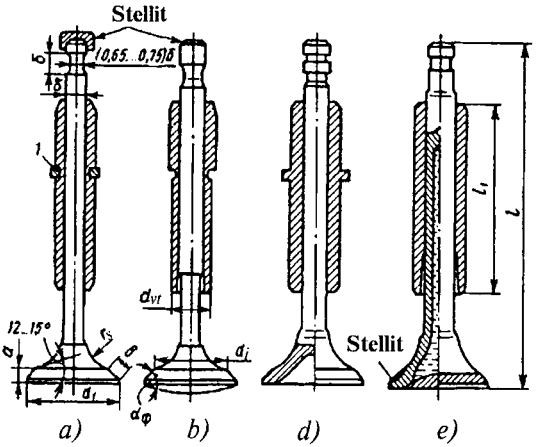


9.10-rasm. **Taqsimlash valining o'q chizig'i bo'ylab siljishini qaydlash:** *a* – bronza tirak flanes bilan; *b* – podshipnikning aylana chiqig'i va rostlash bolti bilan; *d* – aylana chiqiqlar bilan.

Klapanlar (9.11-rasm) yuqori dinamik yuklama va harorat ta'sirida bo'ladi. Kiritish klapani kallagining harorati yuqori kuchlanishli ish rejimlarida 300...420°C ga erishadi. Ularni tayyorlash uchun 38XC, 40XH, 50XH, 40XH2MA, 40X9C2, 40X10C2M *po'latlar* ishlatiladi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda chiqarish klapanlari kallagining o'rtacha harorati 800...850°C (dizellarda 500...600°C) ga yetadi.

Bunga bog'liq holda chiqarish klapanlari issiq bardosh, zanglashga chidamli *qotishmalardan* tayyorlaniladi: 30X13H7C2, 45X14H14B2M, 45X22H4M3,

ЭП 322, 55Х20Г9АН4. Uzoqqa va yeyilishga chidamliligini oshirish uchun klapan kallagining ishchi sathiga (9.11-*d* rasm) va sterjenining yon yuzasiga (9.11-*b* rasm) ЭП 869 (stellit), В3К, Х20Н80 (nixrom) qotishmalar qoplanadi. Ayrim hollarda sterjen orqa tomoniga bu qotishmalardan tayyorlangan qalpoqcha kiygiziladi (9.11-*a* rasm). Ko'p hollarda klapan konstruksiyasining narxini pasaytirish uchun faqat klapan kallagi issiq bardosh ashyodan, sterjeni esa keyinchalik payvandlash bilan 40ХН po'latdan tayyorlanadi.



9.11-rasm. **Dvigatellarning klapanlari:** *a,e*–yassi; *b*–qavariq; *d*–lolasimon.

Chiqarish klapanlarini loyihalashda ularning *uzoqqa chidamliligini oshiradigan* quyidagi *konstruktiv usullardan* foydalaniladi: ● turli ashyolarning aralashmasi (kombinirlangan) dan, ● maxsus qoplamalardan foydalanish, ● klapan kallagining sovishini jadallashtirish, ● klapanni majburiy burash va boshqalar.

Klapanlar kallagining shakliga bog'liq holda *yassi* (9.11-*a, e* rasm), *qavariq* (9.11-*b* rasm) va *lolasimon* (9.11-*d* rasm) turlariga bo'linadi.

Yassi (tarelkasimon) klapan taqqoslanganda kallagining qalinligi, sterjenidan kallagiga o'tish radiusining kichikligi va kallak yon yuzasining yassiligi bilan farqlanadi. Bunday shakldagi kallak tayyorlashda sodda bo'lganligi uchun qo'llanilishda afzallikka ega.

Kallakning *qavariq* shakli chiqarish klapanlari uchun xususiyatli hisoblanadi. Bunda ishlatilgan gazlarning chiqarish paytida silindr tomonidan klapanning atrofidan oqib o'tishi yaxshilanadi, kallakning bikrligi ortadi, biroq uning massasi va issiqlik qabul qiluvchanligi ko'payadi.

Yangi zaryadning silindrga kirishida gidravlik yo'qotishlarning kamaytiradigan egikli yoki *lolasimon* shaklli kallaklar bilan kiritish klapanlari bajariladi. Bunda klapan massasi kamayadi, lekin kallakning issiqlik qabul qiluvchanligi va uning tayyorlash mehnat sig'imi ortadi.

Klapanning sterjenidan kallagiga o'tish qismi kallak bikrligini orttiradigan va klapanning qizishida raxining tob tashlashini bartaraf qiladigan katta radius bilan bajariladi. Bir vaqtning o'zida silindrning to'ldirish paytida yangi zaryadning klapan atrofidan oqib o'tishida gidravlik yo'qotishlar kamayadi. Kallak qoidaga ko'ra, balandligi 2 mm bo'lgan silindrik belbog'chaga ega, u zichlovchi raxini qayta silliqlashda klapanning

asosiy o'lchami d_N ni saqlab qolishga imkon beradi, kallak bikrligini orttiradi va rax qirrasini kuyishdan saqlaydi. Rax burchagi α_f chiqarish klapani uchun 45°C ni, kiritish klapani uchun esa 30 va 45°C ni tashkil etadi. Rax burchagi 30°C ga teng bo'lganda α_f= 45°ga nisbatan klapanning bir xil ko'tarilishida o'tish kesimining katta bo'lishini ta'minlaydi. Klapan kallagi raxini burchagi o'rindig'i raxinining burchagidan 0,5...1° ga kam qilib bajariladi. Bu raxning tashqi qirrasi bo'yicha klapan va o'rindiq orasida kontaktni ta'minlaydi va tez ishqalab moslashishini va klapanning o'rindiqqa zich o'tirishini kafolatlaydi.

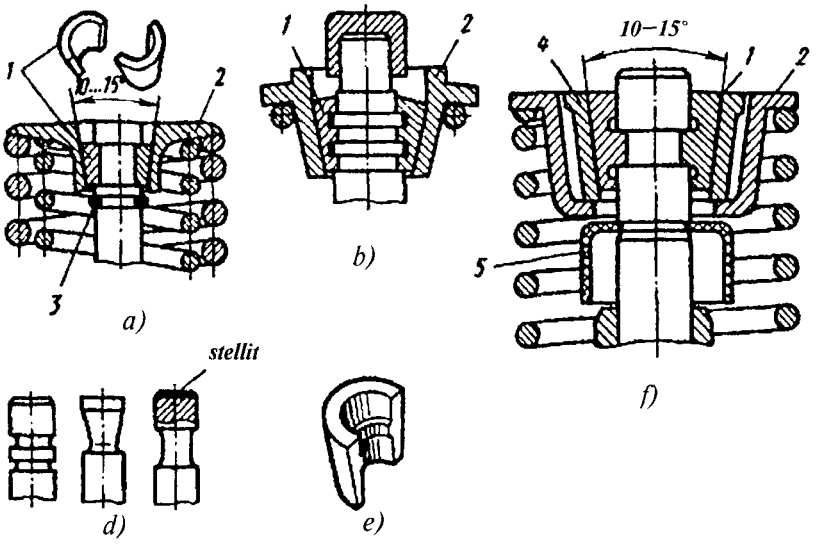
Sterjen tomonidan kallakka konussimon shakl beriladi (9.11-*a* rasm). Konus asosida raxida burchak 12...15° ni tashkil etadi, bu silindrning to'ldirishda atrofidan oqib o'tishning yaxshi sharoitini ta'minlaydi.

Chiqarish klapanlari uchun bu burchak 20...25° ga yaqin. Sterjen diametri δ klapanning ochilishida paydo bo'ladigan yonlama kuch kattaligiga va, shuningdek, klapan kallagidan sterjen orqali olib ketilishi kerak bo'lgan issiqlik oqimining kattaligiga ham bog'liq. Yonlama kuch mavjud bo'lmaganida (turtki orqali yuritma bo'lgan holatda) yoki ularning ko'p bo'lmagan kattaligida (koromislo orqali yuritma) kiritish klapanining sterjeni kichik diametrli qilib tayyorlanadi.

Bevosita yuritmada sterjen katta yonlama kuchni qabul qiladi va δ qiymat kattalashtiriladi. Chiqarish klapanining sterjeni ham katta δ bilan bajariladi. Klapanning uzunligi keng miqyosda o'zgaradi va uning kallakda joylashishiga, yetarlicha uzunroq l_1 ga yo'naltiruvchi vtulkaning hamda klapan prujinasining o'rnatilishiga bog'liq. Sterjenning yuqori qismida joylashadigan suxarik ostidagi yo'nilgan ariqchaning shakli va balandligi klapan prujinasi tarelkasini mahkamlash tuzilmasi konstruksiyasiga bog'liq. Odatda, uning balandligi klapan sterjenining diametriga teng.

GTM da aniqlovchi o'lchov bo'lib kiritish klapani bo'g'zining diametri d_b hisoblanadi (9.13-*b* rasm). d_b kattalikka bog'liq holda klapan mexanizmi asosiy elementlarining konstruktiv o'lchamlari quyidagi statik nisbatlar bilan aniqlanadi (9.11-rasmga qarang): $d_i \approx d_b$ kiritish klapani uchun; $d_i = (0{,}76...0{,}9)d_b$ chiqarish klapani uchun; $d_i = (1{,}12...1{,}16)d_b$ kiritish klapani uchun; $d_p = (0{,}79...0{,}92)d_b$ chiqarish klapani uchun; $\delta = (0{,}16-0{,}25)d_b$ yonlama kuch mavjud bo'lmaganda; $\delta = (0{,}3...0{,}4)d_b$ yonlama kuch ta'sir qilganida; $l = (2{,}5...3{,}5)d_b$; $a = (0{,}08...0{,}12)d_b$; $b = (0{,}05...0{,}12)d_b$; $r_s = (0{,}25...0{,}35)d_b$ yassi va qavariq klapan kallagida; $r_s = 0{,}5\ d_b$ gacha lolasimon kallakda.

Klapanlar konstruksiyasining ishlab chiqishda (ayniqsa, chiqarish) issiqlikning olib ketish va ularning issiqlik holatini me'yorida ushlab turish eng muhim masala bo'lib hisoblanadi. Klapandan issiqlikning asosiy qismi o'rindiq orqali olib ketiladi, shuning uchun birinchi galda uning eng maqbul sovitilishi ta'minlanishi kerak. Issiqlik olib ketilishini klapan sterjenining diametrini (9.11-*b* rasm) va uning yo'naltiruvchi vtulkasining uzunligini ko'paytirish hisobiga ham jadallashtirish mumkin. Klapan sterjenining qizishida uning vtulkada qadalishini bartaraf qilish uchun kallagi oldidagi diametri kichiklashtiriladi (9.11-*b* rasm), yoki vtulka ichki konus



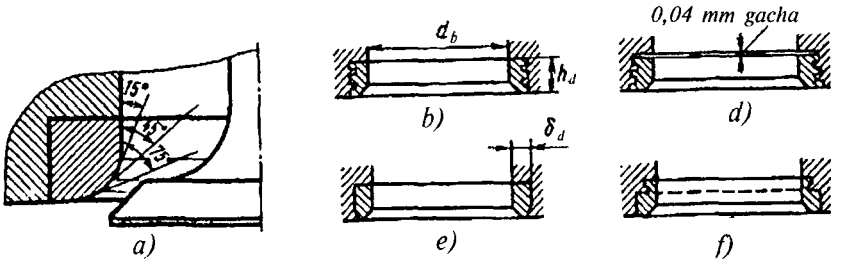
9.12-rasm. **Klapan prujinasining mahkamlash elementlari (*a, b, d, e, f*).**

bilan bajariladi (9.11-*e* rasm). Chiqarish klapanlarining issiqlikdan yuklanganligini kamaytirish uchun bir qator konstruksiyalarida issiqlikning majburiy olib ketilishi amalga oshiriladi. Bunda klapanning ichi bo'sh qilib yasaladi va 50...60% erish harorati 97°C bo'lgan natriy tuzi bilan to'ldiriladi (9.11-*e* rasm). Klapanni harakatlanishida suyuq natriyning aralashishi hisobiga kallagidan sterjenga issiqlik uzatilishi jadallashadi.

Klapan – o'rindiq tutashmasidagi raxning ko'pga chidamliligi va ishlash ishonchliligini oshirish uchun klapan kallagi o'rindiqqa nisbatan buralishi kerak. Bu maqsad uchun ko'pchilik dvigatellarda suxariklar qo'shimcha konussimon vtulka *4* da qisiladi (9.12-*d* rasm), u pastki yon yuzasi bilan tarelkaning yassi tubiga tayanadi. Bu sathda paydo bo'ladigan ishqalanish momenti katta emas va titrashida vaqtning ayrim davrida u nolgacha kamayishi mumkin, bu klapanning burilishiga imkon beradi. Ba'zan klapanning burilishi uchun maxsus mexanizm ishlatiladi.

Avtotraktor dvigatellarining ko'pchiligida klapanda prujina qirqimli suxarik *1* va tayanch tarelka *2* bilan mahkamlanadi (9.12-rasm). Klapandagi aylana o'yiqning soddaroq shakli galtelili silindrik hisoblanadi (9.12-*a, f* rasm). Silindrik aylana o'yiqning murakkabroq shakli – bir yoki ikki belbog'ligi ham ishlatiladi (9.12-*b, d* rasm).

Ayrim konstruksiyalarda klapan sterjenidagi o'yiq konus shaklida bajariladi (9.12-*d* rasm), suxariklar esa klapanlarning ichki konus hisobiga ushlab turadi. Bu katta radiusli galtelining mavjudligi tufayli sterjenda kuchlanishlar kontsenratsiyasini kamaytirishga imkon beradi. Suxariklarning konus burchagi 10...15° ni tashkil etadi, ularning balandligi esa taxminan sterjen diametri δ ga teng. Tarelkadan pastda klapan sterjenida prujina halqa *3* o'rnatilishi mumkin (9.12-*a* rasm), u sterjen uchining yoki



9.13-rasm. **Klapanlar o'rindig'i** ***(a...f).***

prujinaning sinishida klapanni silindr ichiga tushishiga qarshilik qiladi (to'siq bo'ladi). Klapan prujinasining mahkamlash detallarini tayyorlash uchun kam uglerodli po'latlar ishlatiladi. Barcha dvigatellarda prujinalar blok kallagiga maxsus shtamplangan po'lat tarelka orqali tayanadi.

Klapanlar o'rindig'i (9.13-rasm) ko'p jihatdan klapanlar kallaklarining ishlash sharoitiga o'xshash sharoitda ishlaydi. Ularni tayyorlash uchun maxsus legirlangan *cho'yanlar* yoki *issiqbardosh qotishmalar* ishlatiladi. Chiqarish klapanlarining ishchi sathi ba'zan qiyin eriydigan ashyo qatlami bilan qoplanadi. Klapan tarelkasining solishtirma yuklamasi uni o'rindiqqa urilishida 113 MPa ga yetadi, statik yuklama esa – 49 MPa. Bu o'rindiqni faqat aluminiy qotishmali silindrlar kallagiga emas cho'yan kallakka ham o'rnatish maqsadga muvofiqligi bilan shartlangan.

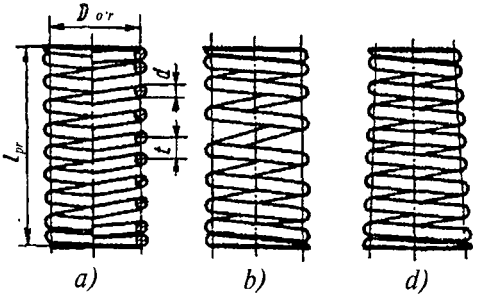
O'rindiqning chala mahsuloti qum-tuproq shaklga quyiladigan mahsulot ko'rinishida olinadi, keyinchalik alohida halqalarga ajratib kesiladi. O'rindiqqa charxlash burchagi 15, 45 va 75° bo'lgan asbob bilan ishlov berilganda o'rindiqning zichlovchi belbog'i 45° burchakka va kengligi 2 mm ga ega bo'lsa yaxshi natija olinadi (9.13-*a* rasm). Halqaning tashqi sathi silindrik (9.13-*b* rasm) yoki konussimon qilib bajariladi (9.13-*d* rasm). O'rindiq kallakka bosib o'rnatishdagi taranglik hisobiga kallak ashyosining qo'shimcha chekanka qilish bilan mahkamlanadi (9.13-*e* rasm). Po'latdan yasalgan o'rindiqlarda o'rindiqning yuqori qismi qo'shimcha ravishda yumaloqlashtiriladi (9.13-*f* rasm).

Silindrik va konussimon o'rindiqlar bosib o'rnatilishida ularning tashqi sathlarida aylana chuqurcha yo'niladi (9.13-*b,d*-rasm), bosib kiritish natijasida ularga kallak metalli oqib kiradi. Silindrik o'rindiq uyaga tirakkacha bosib o'rnatiladi, konussimon o'rindiq esa 0,04 mm gacha bo'lgan yon yuza tirqishi bilan (9.13-*d* rasm). O'rindiq devorining qalinligi $\delta_d=(0{,}08-0{,}15)d_b$, balandligi $h_d=(0{,}16-0{,}25)d_b$. Bosib o'rnatishda taranglik o'rindiq tashqi diametridan 0,0015–0,0035 ni tashkil etadi.

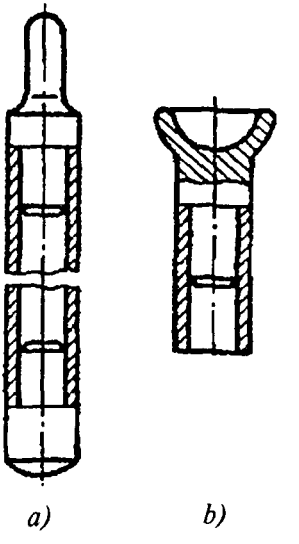
Yo'naltiruvchi vtulkalar (9.11-rasmga qarang) ishqalanishni kamaytiruvchi plastinkasimon grafitli *kulrang cho'yanlardan*; *bronzadan* va xromli yoki xromnikelli qizdirib biriktirilgan *keramikadan* tayyorlanadi. Yeyilishga chidamlilik va ishqalanishni kamaytiruvchi xususiyatini oshirish uchun qizdirib biriktiriladigan vtulka kolloid grafit tashkil etgan eritmali moyda sulfidlanadi va grafitlanadi. Vtulkaning g'ovakli strukturasi moyni yaxshi ushlab turishga

imkon beradi. Kiritish klapanlarining sterjenlari bo'yicha moyning silindrga tushishini bartaraf qilish uchun ularning sterjenlari moy – benzinga bardoshli rezina manjet *5* lar bilan zichlanadi (9.12-*f* rasmga qarang). Yo'naltiruvchi vtulkalar konstruktiv jihatdan tashqi konusli (9.11-*a* rasmga qarang), ichki konusli (9.11-*d* rasmga qarang), yelkali (заплечиками 9.11-*b,d* rasmga qarang), prujinasimon ushlab turish halqasi osti o'yiqli *1* (9.11-*a* rasmga qarang) qilib bajariladi. Vtulka devorining qalinligi 2,5...4 mm ga teng qilib bajariladi. Vtulkaning uzunligi klapan sterjenining diametri va uzunligiga bog'liq va $l_1 = (1{,}75...2{,}5)d_b$ oralig'ida bo'ladi. Yo'naltiruvchi vtulka va klapan sterjeni orasidagi tirqishning kattaligi: kiritish klapani uchun $\Delta = (0{,}004...0{,}01)\delta$; chiqarish klapani uchun $\Delta = (0{,}006...0{,}012)\delta$.

Klapanlar prujinasi (9.14-rasm) keskin o'zgaruvchan dinamik yuklamalar sharoitida ishlaydi. Prujinani tayyorlash uchun diametri 3...6 mm bo'lgan C65, C65Г yoki 50ХФА po'lat simlar ishlatiladi. Prujina toblanadi va HRC 40...48 qattiqlikkacha bo'shatiladi. Prujinaning oxirgi o'ramlari biri-biriga tekkunicha yaqinlashtiriladi va halqasimon tayanch sath olish uchun silliqlanadi. Toliqish mustahkamligini oshirish uchun prujina po'lat pitra bilan purkaladi. Zanglashdan himoyalash uchun prujina oksidlanadi, ruxlanadi yoki kadmiylanadi. O'ramining qadami *t* prujina-ning butun uzunligi bo'yicha ko'pincha bir xil qilib tayyorlanadi (9.14-*a* rasm). Biroq rezonans paydo bo'lishi mumkin bo'lsa, u holda prujina o'zgaruvchan qadam bilan ishlatiladi (9.14-*b*rasm). Qadam yoki prujinaning qo'zg'almas uchi tomoni yo'nalishi bo'yicha yoki o'rtasidan uning ikki uchi tomon o'zgaradi. Klapanning ochilishida bir-biriga yaqin turgan o'ramlar davriy ravishda tegib turadi. Bunda ishchi o'ramlar soni kamayadi, prujinaning bikirligi va tebranishining xususiy chastotasi mos holda



9.14-rasm. **O'ramlar qadami doimiy (*a*) va o'zgaruvchan (*b*) bo'lgan klapan prujinalari; *(d)* konussimon prujina.**



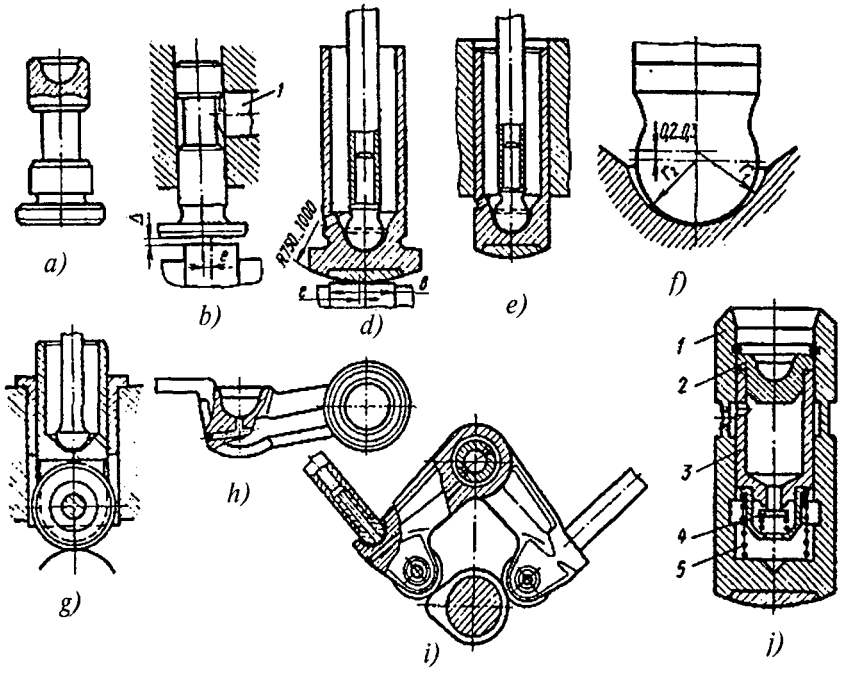
9.15-rasm. **Shtangalar (*a, b*).**

kattalashadi. Bu maqsad uchun ba'zan konussimon prujinalar ishlatiladi (9.14-*d* rasm). Zamonaviy dvigatellarning prujinali tugunida ko'pchilik hollarda har bir klapan uchun ikkitadan prujina ishlatiladi, bu gabaritini kamaytiradi va tugunning ishonchliligini orttiradi. Ichki va tashqi prujina o'ramining yo'nalishi yoki qarama-qarshi bo'lishi kerak yoki bir prujinaning o'rami boshqasining o'ramlari orasiga tushib qolishini bartaraf qilish uchun ularning o'ralish burchaklari farqlanishi kerak.

Shtangalar kam uglerodli *po'latdan* yoki *aluminiy qotishmasidan* tayyorlanadigan quvur kesimi ko'rinishiga ega bo'lgan sterjen (9.15-rasm). Sterjenning yuqori va pastki uchlariga, pastki qismida sferik sath, yuqori qismida koromisloning yuritma tugunining konstruksiyasiga bog'liq holda sferik kallak (9.15-*a* rasm) yoki sferik uyaga ega bo'lgan (9.15-*b* rasm) po'lat uchliklar bosib o'rnatiladi.

Uchliklarning tayanch sathlariga HRC 50...60 bo'lguncha issiqlik ishlovi beriladi, silliqlanadi va yaltiratiladi. Bir qator dvigatellarning uchliklari turtkichdan koromisloga moy uzatish uchun teshikli qilib bajariladi (9.16-*i* rasm).

Turtkichlar taqsimlash valining kulachoklaridan klapanlarga harakatni uzatish uchun xizmat qiladi. Turtkichlar kulachokdan uzatiladigan kuchning yonlama tashkil etuvchisi bilan yuklanadi. 9.16-rasmda turli

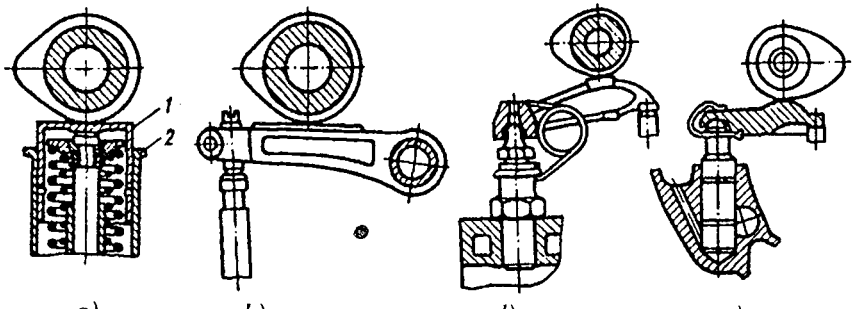


9.16-rasm. **Turtkichlar:**
a, b – yassi tayanch sathli qo'ziqorinsimon; *d* – sferik tayanch sathli qo'ziqorinsimon; *e, f* – sferik tayanch sathli silindrik; *g* – silindrik rolikli; *h* – qavariq richagli; *i* – richag rolikli; *j* – gidravlik.

ko'rinishdagi turtkichlar tasvirlangan: tayanch sathlari *yassi* (9.16-*a, b* rasm) va *sferik* (9.16-*d* rasm) *qo'ziqorinsimon*; tayanch sathlari sferikli *silindrik* (9.16-*e* rasm); *rolikli silindrik* (9.16-*g* rasm); *richakli qavariq* (9.16-*h* rasm) va rolikli (9.16-*i* rasm). Turtkichning kallagi va kulachok orasida mumkin bo'lgan qiyshayishini kamaytirish va turtkichning bir tekis yeyilishini ta'minlash zarur bo'lgan aylanishini ta'minlash uchun tayanch sathi sferik qilib bajariladi (R=750...1000mm), kulachok esa tashkil etuvchisini val o'q chizig'iga 7'...15' burchak qiyaligi bilan konussimon qilib bajariladi (9.16-*d* rasm). Bu maqsad uchun turtkichning bo'ylama o'q chizig'i kulachokning simmetriya o'q chizig'iga nisbatan *e* miqdorga siljitiladi (9.16-*b* rasm). Turtkich sterjeni va yo'naltiruvchi orasidagi tirqish 0,01...0,08 mm oralig'ida yotadi. Turtkichlarning moylash shtanga bo'ylab oqib tushadigan moyning sachrashi orqali amalga oshiriladi. Turtkich (9.16-*b* rasm) dizelning bosimini kamaytirish uchun ishlatiladi. Barmoq *1* ni burab turtkich yuqoriga Δ kattalikka siljitiladi va dvigatelning ishga tushirish paytida klapanni (tirsakli valning buralishini osonlashtirish uchun) majburan ochadi. Turtkichlar shtanganing sferik kallagi tayanishi uchun sferik uyali qilib tayyorlanadi. Kallak va uya orasida ponasimon tirqish hosil bo'lishi uchun uya sferasining radiusi r_1 kallak radiusi r_2 dan 0,2...0,3 mm ga katta qilib bajariladi (9.16-*f* rasm).

Bir qator dvigatellarda GTM da issiqlik tirqishidan holi bo'lishga imkon beradigan gidravlik turtkichlar o'rnatiladi, ulardan birining konstruksiyasi 9.16-*j* rasmda keltirilgan. Turtkich korpusi *1* ning ichida kallagi *2* bilan plunjer *3* joylashgan, unga klapan yuritmasining shtangasi tayanadi. Plunjer prujina *5* bilan shtangaga doimiy qisilgan. Plunjerning ichki bo'shlig'i moy magistrali bilan tutashgan. Plastinkasimon klapan *4* ochiq bo'lganda plunjer ostidagi bosim moy magistralidagi bosimga teng bo'ladi. Turtkichning ko'tarilishining boshlanishida plunjer ostidagi bosim keskin ko'tariladi, klapan *4* berkiladi va kuch shtangaga, koromisloga va klapanga uzatiladi. *Gidravlik turtkich* faqat qovushqoqligining haroratini egri chizig'i yassi bo'lgan toza moylarda ishonchli ishlaydi.

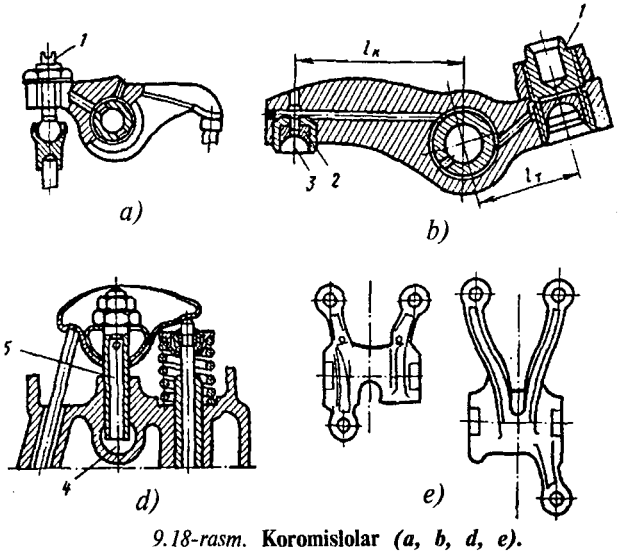
Taqsimlash vallari yuqorida joylashganda klapanlar bevosita kulachokdan yuritiladi (9.6-*d, f* rasm), yoki ustun *2* da siljiydigan yo'naltiruvchi stakan *1* orqali (9.17-*a* rasm), yoki bir yelkali richag orqali (9.17-*d,e* rasm). Bir



9.17-rasm. **Taqsimlash vali yuqorida joylashganda klapanlarning yuritmasi (*a, b, d, e*).**

yelkali richaglar yassi (9.17-*b* rasm) yoki sferik (9.17-*d, e* rasm) turtkichlar bilan ta'minlangan. Ular umumiy o'qda (9.17-*b* rasm) yoki xususiy tayanchlarda (9.17-*d, e* rasm) joylashgan. Bir yelkali richaglar sferik tayanchda maxsus prujina bilan ushlab turiladi. Turtkichlar kam uglerodli 15 va 30 *po'latlardan*, kam legirlangan 15X va 20X po'latlardan, xromnikelli 12XH3A po'latlardan va *cho'yandan* tayyorlanadi. Cho'yan turtkichlarning tayanch sathlari oqartiriladi. Kam uglerodli po'latlardan tayyorlangan turtkichlarning yoni va ichki sathlari sementlanadi va HRC 50...60 gacha toblanadi. O'rtacha uglerodli po'latlardan tayyorlanganda yuqorida ko'rsatilgan qattiqlikkacha yuqori chastotali tok bilan toblanadi. Toblangan po'lat turtkichlarning tayanch sathlari legirlangan oqartirilgan cho'yan bilan qoplanadi (9.17-*d, e* rasm).

Koromislolar ikki yelkali (9.18-*a, b* rasm) yoki ayrisimon richag (9.18-*e* rasm) ko'rinishiga ega. Barcha silindrlarga yoki silindrlar guruhiga umumiy kallak bo'lgan dvigatellarda koromislolar umumiy bo'lgan quvursimon kesimli qo'zg'almas po'lat o'qda joylashadi, undagi bo'shliq moy keltirish uchun foydalaniladi. Koromislolar qalayli bronzadan tayyorlangan vtulkalar o'qida aylanadi. Koromislolarning o'q chizig'i bo'yicha siljishini cheklash uchun ular orasiga tirgak silindrik prujina o'rnatiladi. Koromislolar 20X, 40X, 45 *po'latlardan* shtamplanadi, tayanch sathlariga HRC 50...60 gacha termik ishlov beriladi. Varaq po'latlardan shtamplangan yengil turdagi koromislolar ham ishlatiladi. Bunday koromislolar silindrlar bloki kallagiga bosib o'rnatilgan xususiy ustunga mahkamlangan sferik yoki yarim sferik tayanch yaqinida tebranadi (9.18-*d* rasm). Shtanga tomonidan koromisloga otvertka uchun kesikka yoki maxsus kalit uchun o'yiqqa ega bo'lgan rostlovchi bolt *1* burab kiritiladi (9.18-*a, b* rasm). Rostlovchi bolt kontrgayka bilan qotirib qo'yiladi. Koromislolarning yelkalari nisbati l_K/l_T= (1,4...1,75) (9.18-*b* rasm).



9.18-rasm. **Koromislolar *(a, b, d, e).***

Koromisloning ma'lum burchakka burilishida koromislo tumshug'idagi silindrik sath klapan sterjeni bo'yicha sirpanadi. Bunda paydo bo'ladigan ishqalanish kuchi sterjenning egilishini keltirib chiqaradi, uning kattaligini kamaytirish uchun ba'zan koromislo yelkasiga vint *2* burab kiritiladi (9.18-*b* rasm). Vintning sferik uyasiga segmentli kesilgan zoldir *3* juvalanadi. Bunday holatda segmentning sirpanishi uning klapan sterjeni bo'yicha siljishiga teng bo'ladi. Sirpanishning kamaytirish uchun uchlikning sferik kallagini markazi koromisloning tebranish o'qi orqali o'tkazilgan, klapan o'qiga perpendikular bo'lgan tekislikka nisbatan simmetrik joylashgan yoy bo'yicha siljiydigan qilib koromislo o'qi joylashishi kerak.

Umumiy o'qda joylashgan bir yelkali richaglarga va koromislolarga moy o'qning ichki bo'shlig'idan mos kelgan kanal bo'yicha keltiriladi. Xususiy tayanchi bo'lgan bir yelkali richaglar kulachoklardagi teshik orqali moylanadi. Bir qator konstruksiyalarda moy turtkichdan koromisloga shtangadagi teshik orqali keltirilishi ko'zda tutilgan. 9.18-*d* rasmda tasvirlangan koromisloning ishchi sathlariga moy blokdagi moy magistrali *4* va ustun *5* dagi o'q chiziq va radial teshiklar bo'yicha keltiriladi. Podshipnik vtulkasi va o'qi orasidagi tirqishdan oqib chiqadigan moy orqali koromisloning ikki uchini sachratish usuli bilan moylash varianti ham bo'lishi mumkin.

9.3. GAZ TAQSIMLASH MEXANIZMINING ASOSIY PARAMETRLARINI ANIQLASH

9.19-rasmda tasvirlangan klapan mexanizmining konstruktiv nisbatlari asosida statik ma'lumotlarga, asosan, GTM ning joylashishini hisobga olgan holda uning asosiy elementlari ishlab chiqiladi.

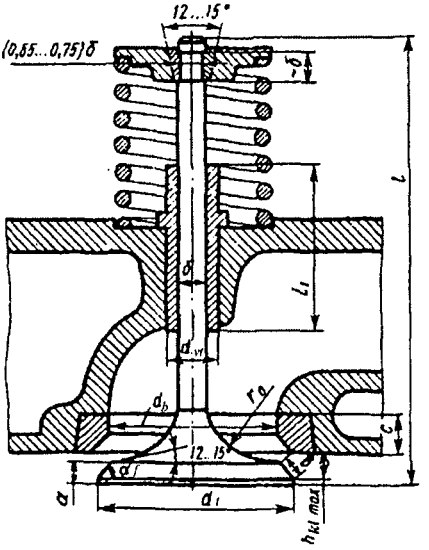
9.3.1. GAZ TAQSIMLASH MEXANIZMI KLAPANINING O'TISH KESIMINI ANIQLASH

Klapanlar bo'g'zining diametri ularning kallakda joylashtirish sharoiti imkoniyatidan kelib chiqqan holda tanlanadi. Kiritish va chiqarish klapanlari bo'g'zining umumiy yuzasi F_p ning 25...40% ini tashkil etadi. Katta qiymatlari chodirsimon va yarim sferik yonish kameralariga, kichik qiymatlari esa dizellarning yonish kameraliga va ponasimon kameralarga taalluqli. Kiritish va chiqarish klapanlari bo'g'zining diametrlarini nisbatlari $d_{b.kir}=(1,15...1,2)d_{b.chiq}$ bo'lganda dvigatelning yaxshi bo'lgan ko'rsatkichlari ta'minlanadi.

Shunday usul bilan aniqlangan klapan bo'g'zi diametrining o'tish kesimi yetarliligi bo'g'iz va silindr kesimlarida oqimning uzilmaslik shartidan kelib chiqqan holda hisoblangan *gaz oqimining birinchi shartli o'rtacha tezligi* bo'yicha tekshiriladi (9.20-*a* rasm). Bunda gaz siqilmaydi, klapan mavjud emas va yuzasi F_p bo'lgan porshen o'rtacha doimiy tezlik c_p bilan harakatlanadi deb hisoblanadi. Bunda *i* ta bir xil nomlangan klapanlar uchun bir silindr bo'g'zining o'tish kesimini yuzasi f_b bo'lganda oqimning uzilmaslik sharti $V'if_b=c_pF_p$ ko'rinishiga ega, bundan $V'=c_pF_p(if_b)$.

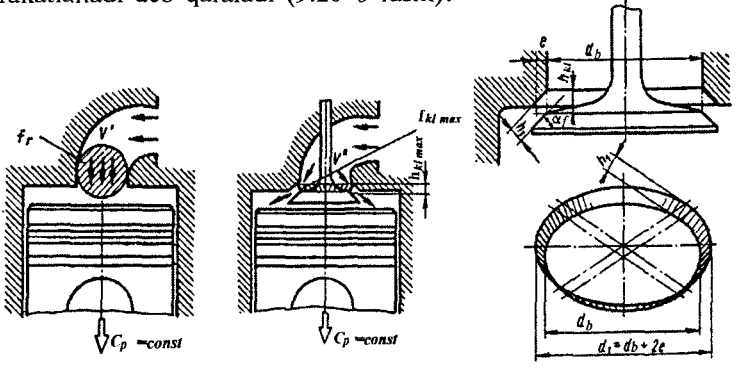
Zamonaviy avtotraktor dvigatellari uchun kiritish bo'g'zidagi birinchi tezlik V_{kir}=50...80 m/s, chiqarish bo'g'zida esa V_{chiq}=70...100 m/s ni tashkil etadi. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun eng katta quvvat rejimida V_{kir} ni 40 m/s dan kam bo'lgan kattaliklargacha kamaytirish maqsadga muvofiq emas, chunki bunda yonilg'ining purkalishi va bug'lanishi yomonlashadi. V_{kir} ning yuqori tezlikla-rida kiritish traktida gidravlik isrof had-dan tashqari kattalashadi.

Klapanning eng yuqori ko'tarilishi $h_{kl\,max}$, uning to'liq ochilishida $f_{kl\,max}$ bo'g'zining o'tish kesimi yuzasi f_b ga teng bo'lish sharti bilan aniqlanadi. Agar klapanning ko'tarilish kattaligi h_{klmax}=(0,23...0,30)d_b ni tashkil etsa, bu shart ta'minlanadi, bunda: kichik qiymatlari α_f = 30° ga, katta qiymatlari esa α_f = 45° ga tegishli bo'ladi.



9.19-rasm. **Klapan mexanizmining konstruktiv nisbatlari:** δ=(0,16−0,25) d_b yonlama kuch mavjud bo'lmaganda; δ=(0,3−0,4) d_b yonlama kuch ta'sir qilganda.

Kiritish klapanining raxi bo'yicha o'tkazish qobiliyati *gaz oqimining ikkinchi shartli o'rtacha tezligi* bilan tekshiriladi. U ham oqimning uzilmaslik shartidan kelib chiqqan holda aniqlanadi. Bunda gaz siqilmas, klapan kiritish takti davomida to'liq ochiq, porshen esa doimiy o'rtacha tezlik c_p bilan harakatlanadi deb qaralib (9.20-*b* rasm).



9.20-rasm. **Gaz oqimining o'rtacha shartli tezliklarini aniqlashga:** *a* − birinchi shartli tezlik V'; *b* − ikkinchi shartli tezlik V''; *d* − klapan raxi bo'yicha o'tish kesimining hisoblash uchun sxemasi.

Bunda i ta bir xil nomlangan klapanlar uchun uning eng katta o'tish kesimining yuzasi $f_{kl\max}$ bo'lganda oqimning uzilmaslik sharti $V'if_{kl\max} = c_p F_p$ kabi yoziladi, bundan $V' = c_p F_p / (if_{kl\max})$. Zamonaviy dvigatellarda $h_{kl\max}$ bo'lganda kiritish klapani kesimida ikkinchi tezlik $V'_{kir} = 80...90$ m/s oralig'ida yotadi.

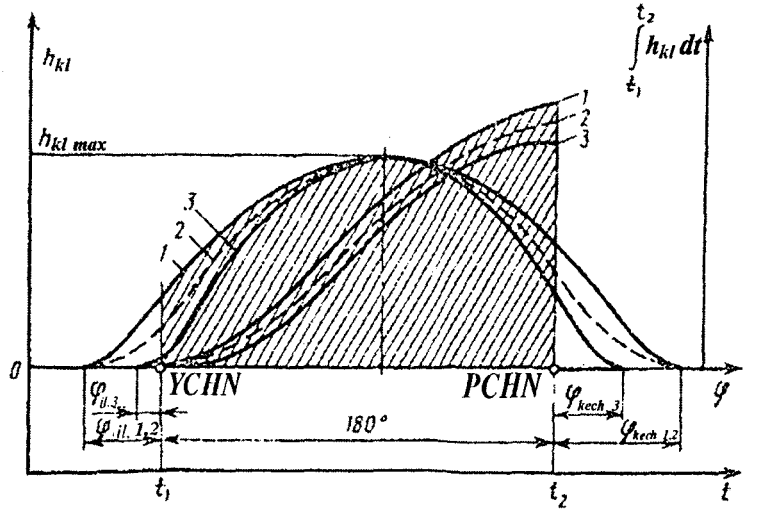
Klapanning konussimon raxining burchagi α_f bo'lganda uning o'tish kesimi f_{kl} ni yuzasi joriy ko'tarilish uchun h_{kl} kesilgan konusning yonlama sathi kabi aniqlanadi: $f_{kl} = \pi h_1 (d_b + d_1)/2$ (9.20-*d* rasm), bunda: konusning hosil qiluvchisini uzunligi $h_1 = h_{kl}\cos\alpha_f$, $d_1 = d_b + 2h_1\sin\alpha_f$.

U holda $f_{kl} = \pi h_{kl}(d_b\cos\alpha_f + h_{kl}\cos^2\alpha_f\sin\alpha_f$. Odatda, a_f ni chiqarish va kiritish klapanlari uchun 45° va kiritish klapani uchun kamdan kam 30°ga teng qilib olinadi. Biroq α_f ning kamayishi bilan gazlar oqimining keskin burilishi tufayli gidravlik yo'qolishning o'sishini e'tiborga olish kerak.

Kulachok shakli (profili)ning eng maqbuli va qabul qilingan gaz taqsimlash fazasi klapan tirqishining o'tish kesimini o'rtacha kattaligi va unga mos keluvchi *uchinchi shartli o'rtacha tezlik* bilan baholanadi. Bunda gaz siqilmas, klapan qo'zg'almas va o'tish kesimining o'rtacha kattaligini ta'minlaydigan balandlikka klapan ko'tarilgan, porshen esa kiritish taktining t_1 dan t_2 davomida porshenning o'rtacha tezligiga teng tezlik bilan harakatlanadi deb qaraladi (9.21-rasm). Bunda

$$V''_{kir} = V_h / \left(i \int_{t_1}^{t_2} f_{kl} dt \right) = V_h / \left(\omega_к i \int_0^{180^\circ} f_{kl} d\varphi_к \right),$$

bunda: f_{kl} – klapanning raxi bo'yicha o'tish kesimini joriy yuzasi;



9.21-rasm. **Uchinchi o'rtacha shartli tezlikni aniqlashga.**

$\omega_к$ – kulachok aylanishining burchak chastotasi, rad/s; $\int_{t_1}^{t_2} f_{kl} dt$ – klapanning vaqt kesimi.

V''_{kir} kiritish klapani kesimida uchinchi shartli tezlikning uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun tavsiya etiladigan qiymatlari 90...150 m/s, dizellar uchun esa – 80...110 m/s.

9.3.2. KULACHOKLARNI PROFILLASH

Klapanning vaqt – kesimini ko'p bo'lishini ta'minlash uchun kiritish taktini boshlanishida klapan lahzada ochilishi va oxirida bekilishi lozim. Biroq bunda ochilish va bekilish paytida uning yuritish elementlarida cheksiz katta kuch paydo bo'ladi. Shuning uchun kulachokning profillash masalasi vaqt – kesimining eng katta qiymatini va GTM da inersiya kuchini mumkin bo'lganini olishga qarama-qarshi bo'lgan talabni ko'p darajada tenglashtirishga olib keladigan profillarni izlash kerak. Shuning bilan birgalikda kulachoklar ishlab chiqarishda sodda bo'lishi va dvigatelning foydalanish davrida GTM ning me'yorida ishlashini ta'minlashi kerak.

Hozirgi paytda avtotraktor dvigatellari kulachoklarini profillashda ikki usuldan foydalaniladi: kulachok profilini hosil qilishni berilgan qonun bo'yicha profillash, uning harakatlanishini berilgan qonuniga mos holda profillash.

Birinchi usul nisbatan texnologik kulachoklarni olishga imkon beradi, biroq bunda turtkich kinematikasining zarur bo'lgan parametrlariga erishish murakkab bo'ladi, shu tufayli GTM ning vaqt-kesimi va inersiya kuchlari birgalikda kerakli bo'lgan ularning eng maqbulini ta'minlay olmaydi. Bunda kulachok profili radiusi turlicha bo'lgan aylana yoylari va egri chiziqlari bilan o'zaro tutashgan tizim bilan hosil bo'ladi. Bu usuldan foydalanib, ilgari tarqalgan qavariq, botiq va tangensial kulachoklar profillanadi.

Profili qavariq bo'lgan kulachoklar istalgan turdagi turtkichlar, botiq va tangensial profilli kulachoklar faqat rolikli turtkichlar bilan ishlatilishi mumkin.

Ikkinchi usul profilning hosil qilish qonuniniga cheklov (ограничение) qo'ymaydi, shu tufayli ishlab chiquvchiga GTM ko'rsatkichlarini eng maqbullashtirish bo'yicha katta imkoniyatlarni beradi. Bu usul bilan profillangan kulachok vaqt – kesimi parametri bo'yicha yon bosmaydi, ayrim hollarda birinchi usul bilan profillangan kulachokdan ustun turadi, lekin bunda klapanning tezlanishini ravon va uzluksiz o'zgarishini ta'minlaydi, bu GTM da elementlarning zarbli o'zaro ta'sirlanish jadalligini kamaytirishga yordam beradi va mexanizm yuritmasining tebranishini klapan kinematikasiga ta'sirini kamaytiradi. Bu usul bilan, zamonaviy dvigatellarning *zarbsiz* deb ataladigan kulachoklari profillanadi, masalan, Kurts va «polidayn» kulachoklari. Biroq bunday kulachoklarning ishlab chiqarish murakkabligini va demak narxi qimmatligini ko'rsatib o'tish kerak.

Kulachokni profillash quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

- kulachokning ta'sir qilish burchagi $\varphi_0 = (\varphi_{il} + 180^\circ + \varphi_{kech})/2$ aniqlanadi,

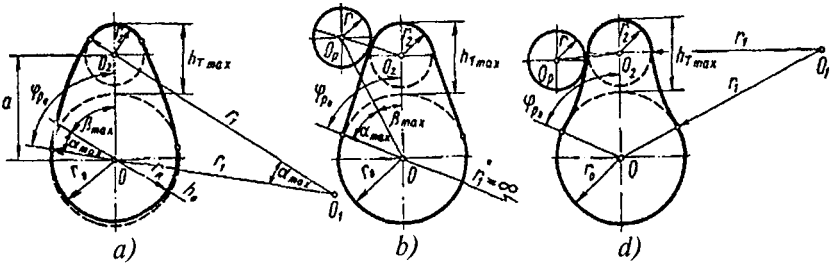
bunda: $\varphi_{il}, \varphi_{kecl}$ – kulachokning ochilishini ilgarilatish burchagi va berkilishini kechikish burchagi, uning gaz taqsimlash fazalarini ko'rsatuvchi, TVB grad. So'ngra kulachokning ko'tarilishini boshlanish paytidan cho'qqisiga yetish payti burchagi kabi aniqlanadigan φ_{p0} aniqlanadi. Simmetrik profil uchun $\varphi_{p0} = \varphi_0 / 2$;

- taqsimlash valining aylanishlar chastotasi $\omega_k = \omega_{tv} = \pi n_{tvn} / 30$ rad/s ga teng bo'lgan kulachokning aylanishlar chastotasi aniqlanadi, bunda: n_{tvn} – taqsimlash valining nominal aylanishlar chastotasi;
- klapan bo'g'zi diametri va uning raxi burchagini qiyaligidan kelib chiqqan holda h_{kmax} aniqlanadi. GTM ning joylashish sxemasidan koromislo yoki richaglarning yelkalarini nisbati $i_к = l_к / l_т$ beriladi va turtkichning eng baland ko'tarilish $h_{t\,max} = h_{kl\,max} / i_k$ aniqlanadi. Klapan mexanizmining kulachokdan bevosita yuritilishida $i_к = 1$ deb qabul qilinadi;
- taqsimlash valining bikirligi yetarlicha bo'lishi shartidan kelib chiqqan holda kulachokning boshlang'ich aylanasini radiusi $r_0=(1,5...2,0)h_{klmax}$ aniqlanadi. GTM detallarining harorat tufayli mumkin bo'lgan deformatsiyasini hisobga olib profilga tuzatish kiritish uchun kulachok ensasi aylanasini radiusi $r_к$ issiqlik tirqishi kattaligi h_0 cha kichik qilib bajariladi va o'tish uchastkasi bilan ishchi sathi parabola kabi yoki $r_к = r_0 - h_0$ yoylar tizimi bilan tutashtiriladi. Kiritish klapanlari uchun h_0=0,25...0,35 mm, chiqarish klapanlari uchun esa h_0=0,35...0,50 mm;
- kulachokni profillash va turtkich kinematikasining parametrlarini aniqlash bajariladi.

Qavariq va tangensial kulachoklarni profillash. Kulachokning profili ilgari aniqlangan $h_{T\max}, r_0$ va φ_{p0} lardan kelib chiqqan holda yoki r_2 kattalikni (9.22-*a* rasm) (r_2=2...8 mm) berib va uni o'tish aylanasi yoyi bilan tutashish shartidan r_1 ni aniqlab, profillash amalga oshiriladi:

$$r_1 = \frac{r_0^2 + a^2 - r_2^2 - 2r_0 a\cos\varphi_{p0}}{2(r_0 - r_2 - a\cos\varphi_{p0})},$$

yoki aksi: $r_1 = (10...18)h_{T\max}$ ni qabul qilib, cho'qqisidagi radius hisoblanadi:



9.22-rasm. **Kulachoklarning profillari:**
a – qavariq; *b* – tangensial; *d* – botiq.

$$r_2 = \frac{r_0 b - 0{,}5h_{T\max}^2 - (r_1 - r_0)(r_0 + h_{T\max})\cos\varphi_{p0}}{b - (r_1 - r_0)\cos\varphi_{p0}}$$

bunda: $a = h_{T\max} + r_0 - r_2$, $b = r_1 - r_0 - h_{T\max}$.

Tangensial profilli kulachok uchun (9.22-*d* rasm) $r_1 = \infty$ va

$$r_2 = r_0 - h_{T\max}\frac{\cos\varphi_{P0}}{1 - \cos\varphi_{P0}}.$$

Texnologiyaning imkoniyatidan kelib chiqqan holda $r_2 \geq 2{,}0$ mm. Bunday holda r_1 $(8...20)h_{T\max}$ oralig'ida olinadi. r_2 ning qiymatlari kichik yoki manfiy belgi bilan olinganda r_1 kattalikni o'zgartirish lozim.

Turtkich harakatining parametrlarini hisobi ishchi burchak φ_{p0} ning ikki uchastkasi uchun amalga oshiriladi: $\varphi_{\alpha\max}$ va $\varphi_{\beta\max}$, bunda: $\varphi_{p0} = \varphi_{\alpha\max} + \varphi_{\beta\max}$.

Qavariq va tangensial profilli kulachok uchun mos holda

$$\varphi_{\alpha\max} = \arcsin\left(\frac{a\sin\varphi_{p0}}{r_1 - r_2}\right) \text{ va } \varphi_{\beta\max} = arctg\left(\frac{a\sin\varphi_{p0}}{r_0 + r}\right),$$

bunda: r – rolik radiusi.

φ_α burchak ishchi burchakning boshlanishidan, φ_β burchak esa kulachok cho'qqisidan uning aylanishini shartli ravishda qarama-qarshi tomonga almashtirib hisoblanadi.

Qavariq profilli kulachok bilan turtkich harakatining $0 \leq \varphi_\alpha \leq \varphi_{\alpha\max}$ va $\varphi_{\beta\max} \geq \varphi_\beta \geq 0$ oraliqlarida birinchi va ikkinchi uchastkalar uchun parametrlari:

$$h_{T1} = (r_1 + r_0)(1 - cos\,\varphi_\alpha); \qquad h_{T2} = a\cos\varphi_\beta + r_2 - r_0;$$

$$V_{T1} = (r_1 + r_0)\,\omega_к\, sin\,\varphi_\alpha; \qquad V_{T2} = a\omega_к \sin\varphi_\beta;$$

$$j_{T1} = (r_1 + r_0)\,\omega_к^2\, sin\,\varphi_\alpha; \qquad j_{T2} = -a\omega_к^2\cos\varphi_\beta.$$

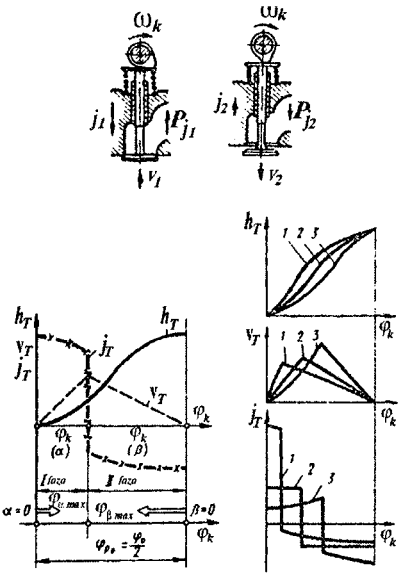
Tangensial profilli kulachok bilan turtkich harakatining, $0 \leq \varphi_\alpha \leq \varphi_{\alpha\max}$ va $\varphi_{\beta\max} \geq \varphi_\beta \geq 0$ oraliqlarida birinchi va ikkinchi uchastkalar uchun parametrlari:

$$h_{T1} = \frac{(r_0 + r)(1 - \cos\varphi_\alpha)}{\cos\varphi_к}; \qquad h_{T2} = a\left(\cos\varphi_\beta + \frac{\sqrt{1 - a_1^2\sin^2\varphi_\beta}}{a_1}\right) - (r_0 + r);$$

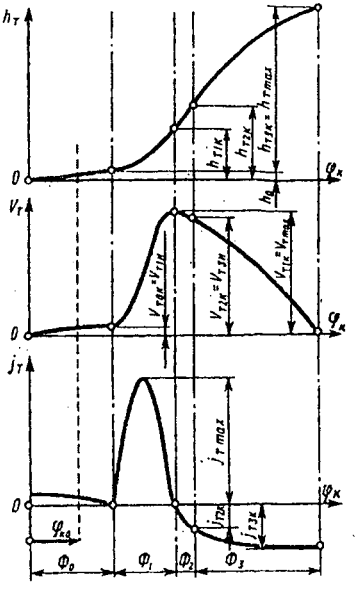
$$V_{T1} = \frac{(r_0 + r)\omega_к \sin\varphi_\alpha}{\cos^2\varphi_\alpha}; \qquad V_{T2} = a\omega_K\left[\sin\varphi_\beta + \frac{a_1\sin 2\varphi_\beta}{2\sqrt{1 - a_1^2\sin^2\varphi_\beta}}\right];$$

$$j_{T1} = \frac{(r_0 + r)\omega_к^2(1 + \sin^2\varphi_\beta)}{\cos^2\varphi_\alpha}; \qquad j_{T2} = -a\omega_K^2\left[\cos\varphi_\beta + \frac{a_1\cos 2\varphi_\beta + a_1^3\sin^4\varphi_\beta}{(1 - a_1^2\sin^2\varphi_\beta)^{3/2}}\right]$$

bunda: $a_1 = a/(r + r_2)$.



9.23-rasm. **Qavariq (1), botiq (2) va tangensial (3) profilli turtkichlarning bir xil ko'tarilishida va burchak ta'sirida kinematik parametrlarini taqqoslash.**



9.24-rasm. **Kurs usuli bo'yicha profillangan kulachok ko'tarilishi h_T, tezligi v_T va tezlanishi j_T ning grafigi.**

9.23-rasmda yuqorida ko'rib chiqilgan profilli kulachoklar bilan turtkichlarning harakatlanish qonunlarini grafikda talqin qilinishi ko'rsatilgan.

Zarbsiz Kurs kulachogini profillash. Kurs kulachoklarida kulachok tezlanishining qonunini o'zgarishi egri chiziqlarning ketma-ket olish bilan (9.24-rasm): yugurish uchastkasi Φ_0 da – kosinusoid bilan, ishchi profilining musbat tezlanish uchastkasi Φ_1 da – sinusoidaning yarim to'lqini bilan, manfiy tezlanish uchastkasi Φ_2 da – sinusoidaning chorak to'lqini bilan, Φ_3 uchastkasida – parabola qismi bilan shakllanadi (9.24-rasm).

Amaliyotda bu turdagi **kulachokni profillashda** quyidagi **ketma-ketlik** qabul qilingan:

- ustiga chiqib ketish va yugurish uchastkalarida tanlangan tirqishga mos kelgan burchak kattaligi aniqlanadi (rad):

$$\Phi_0 = \pi^2 h_0 / \left(2 \cdot 180 \overline{V}_{T0K}\right),$$

bunda: $\overline{V}_{T0K}$ – yugurish uchastkasining oxirida turtkichning tezligi, $\overline{V}_{T0K} = V_{T0K} / \left(\omega_K \cdot 10^3\right)$, $\overline{V}_{T0K} = 0{,}008...0{,}022$ mm/grad TVB;

- Φ_1, Φ_2, Φ_3 uchastkalarning burchakli davomiyligi beriladi:

$$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = (\pi/180)\varphi_{p0}.$$

Uchastkalar uzunligi orasidagi tavsiya etiladigan nisbatlar (rad):

$$\Phi_2 = (0{,}10...0{,}15)\Phi_3 \ ; \ \Phi_2 + \Phi_3 = (1{,}5...3{,}0)\Phi_1.$$

Bunda musbat tezlanish uchastkasi Φ_1 qancha qisqa bo'lsa, klapanning vaqt-kesimi shuncha ko'p bo'ladi. Biroq bunda musbat tezlanishning eng katta qiymati kattalashadi, bu kulachok sathida kontaktli kuchlanishning ko'payishiga olib keladi.

Kurs kulachogi profilining parametrlarini hisoblashda quyidagi belgilashlar qabul qilinadi: $\varphi_{\kappa i} - i$-uchastkada kulachokning joriy burilish burchagining qiymati, $i = 0, 1, 2, 3$. «b» indeksi uchastkaning boshlanishiga, «o». esa uchastkaning oxiriga mos keladi. Masalan, h_{T1O} deb belgilanishi kulachokning uchastkaning oxiri 1 ga siljishiga mos keladi. Burchaklarning barcha qiymatlari radian o'lchov birligida beriladi. Taqsimlash valining burilish burchagini hisobi $i-$uchastka uchun 0 dan Φ_i gacha oraliqda amalga oshiriladi. $h_{\text{T}i}$, $V_{\text{T}i}$, $j_{\text{T}i}$ belgilashlar turtkichning i-uchastkada mm dagi siljishiga, m/s dagi tezligiga, m/s^2 dagi tezlanishiga mos keladi.

Kulachokning profilini barcha ko'rsatilgan uchastkalarida **turtkichning yo'li, tezligi va tezlanishini hisoblash ifodasi** quyidagilar:

- *kulachokning yugurish uchastkasida* $(0 \le \varphi_{\kappa 0} \le \Phi_0)$:

$$\begin{cases} h_{\text{T}0} = h_0\left(1 - \cos\dfrac{\pi}{2\Phi_0}\varphi_{\kappa 0}\right); \\ V_{\text{T}0} = h_0\omega_\kappa \dfrac{\pi}{2\Phi_0}\sin\dfrac{\pi}{2\Phi_0}\varphi_{\kappa 0}\cdot 10^{-3}; \\ j_{\text{T}0} = h_0\omega_\kappa^2\left(\dfrac{\pi}{2\Phi_0}\right)^2\cos\dfrac{\pi}{2\Phi_0}\varphi_{\kappa 0}\cdot 10^{-3}; \end{cases}$$

- *musbat tezlanish uchastkasida* $(0 \le \varphi_{\kappa 1} \le \Phi_1)$:

$$\begin{cases} h_{\text{T}1} = h_0 + C_{11}\varphi_{\kappa 1} - C_{12}\sin\dfrac{\pi}{\Phi_1}\varphi_{\kappa 1}; \\ V_{\text{T}1} = \omega_\kappa\left(C_{11} - C_{12}\dfrac{\pi}{\Phi_1}\cos\dfrac{\pi}{\Phi_1}\varphi_{\kappa 1}\right)\cdot 10^{-3}; \\ j_{\text{T}1} = \omega_\kappa^2\left[C_{12}\left(\dfrac{\pi}{\Phi_0}\right)^2\sin\dfrac{\pi}{\Phi_1}\varphi_{\kappa 1}\right]\cdot 10^{-3}; \end{cases}$$

- *manfiy tezlanishning birinchi uchastkasida* $(0 \le \varphi_{к2} \le \Phi_2)$:

$$\begin{cases} h_{T2} = h_{T1к} + C_{21}\varphi_{к2} + C_{22}\sin\dfrac{\pi}{2\Phi_2}\varphi_{к2}; \\ h_{T1к} = h_0 + C_{11}\Phi_1; \\ V_{T2} = \omega_к\left(C_{21} + C_{22}\dfrac{\pi}{2\Phi_2}\cos\dfrac{\pi}{2\Phi_2}\varphi_{к2}\right)\cdot 10^{-3}; \\ j_{T2} = \omega_к^2\left[-C_{22}\left(\dfrac{\pi}{2\Phi_2}\right)^2\sin\dfrac{\pi}{2\Phi_2}\varphi_{к2}\right]\cdot 10^{-3}; \end{cases}$$

- *manfiy tezlanishning ikkinchi uchastkasida* $(0 \le \varphi_{к3} \le \Phi_3)$:

$$\begin{cases} h_{T3} = h_{T2к} + C_{31}(\Phi_3 - \varphi_{к3})^4 - C_{32}(\Phi_3 - \varphi_{к3})^2 + C_{33}; \\ h_{T2к} = h_0 + C_{11}\Phi_1 + C_{21}\Phi_2 + C_{22}; \\ V_{T3} = \omega_к\left[-4C_{31}(\Phi_3 - \varphi_{к3})^3 + 2C_{32}(\Phi_3 - \varphi_{к3})\right]\cdot 10^{-3}; \\ j_{T3} = \omega_к^2\left[12C_{31}(\Phi_3 - \varphi_{к3})^2 - 2C_{32}\right]\cdot 10^{-3}. \end{cases}$$

C_{11}, C_{12}, C_{21} va boshqa koeffitsiyentlar uchastkalar chegaralarida siljish, tezlik va tezlanish tengligidan tenglamalar tizimini yechishda hisoblanadi:

$$\begin{cases} h_{T3к} = h_{Tmax} + h_0; \;\; C_{11}\Phi_1 + C_{21}\Phi_2 + C_{22} + C_{33} - h_{Tmax} = 0; \\ h_{T3н} = h_{T2к}; \;\; C_{31}\Phi_3^4 - C_{32}\Phi_3^2 + C_{33} = 0; \\ V_{T1н} = V_{T0к}; \;\; C_{11} - C_{12}\dfrac{\pi}{\Phi_1} - V'_{T0к} = 0; \\ V_{T2н} = V_{T1к}; \;\; C_{11} + C_{12}\dfrac{\pi}{\Phi_1} - C_{21} - C_{22}\dfrac{\pi}{2\Phi_2} = 0; \\ V_{T3н} = V_{T2к}; \;\; C_{21} + 4C_{31}\Phi_3^3 - 2C_{32}\Phi_3 = 0; \\ j_{T3н} = j_{T2к}; \;\; C_{22}\left(\dfrac{\pi}{2\Phi_2}\right)^2 + 12C_{31}\Phi_3^2 - 2C_{32} = 0, \end{cases} \qquad (9.1)$$

bunda: $V'_{T0к} = \overline{V}_{T0к}180/\pi$ mm/rad.

Olti tenglamali tizimda yettita noma'lum koeffitsiyentlar bo'lganligi tufayli uni yechish uchun tezlanish egri chizig'ining manfiy qismining shaklini xususiyatlaydigan yana bir bog'liqlik kerak:

$$Z = j_{T2к} / j_{T3к}. \qquad (9.2)$$

Z ning qiymatini odatda 5/8 ga yaqin qilib olinadi.

Qo'shimcha koeffitsiyentlar kiritilganidan so'ng

$$\begin{cases} k_1 = 8Z\left(\dfrac{\Phi_2}{\pi}\right)^2; k_2 = \dfrac{5+Z}{6}\Phi_3^2; k_3 = \dfrac{4+2Z}{3}\Phi_3; \\ K_1 = k_1 + k_2 + k_3\Phi_2; K_2 = k_3 + 4Z\dfrac{\Phi_2}{\pi} \end{cases} \qquad (9.3)$$

va kerakli o'zgartirishlarni bajarib, quyidagilarni olamiz:

$$\begin{cases} C_{11} = (K_1 V'_{T0K} + K_2 h_{T\,max})/(2K_1 + K_2\Phi_1) \\ C_{12} = (C_{11} - V'_{T0K})\dfrac{\Phi_1}{\pi}; \quad C_{22} = C_{32}k_1; \\ C_{32} = (2C_{11} - V'_{T0K})/K_2; \quad C_{21} = C_{32}k_3; \\ C_{31} = C_{32}(1-Z)/(6\Phi_3^2); \quad C_{33} = C_{32}k_2. \end{cases} \qquad (9.4)$$

(9.1)–(9.4) bog'liqliklardan foydalanib boshlang'ich ma'lumotlarning to'g'ri tanlanganligi tekshiriladi. Bunda siljish va tezliklarning uchastkalar tutashmasidagi kattaliklarini mos kelmasligi 0,0001 dan, tezlanishlar esa 0,001 dan ortmasligi kerak.

So'ngra siljishi, tezligi va tezlanishini uchastkalar chegarasida hisobi amalga oshiriladi, shuningdek, turtkichning eng katta tezligi $V_{T\max} = \omega_K K_2 C_{32}$ va tezlanishning ekstremal qiymat $j_{T\max} = \omega_K^2 C_{12}(\pi\Phi_1)^2$; $j_{T\min} = -\omega_K^2 2C_{32}$ lari baholanadi.

Yassi tarelkali turtkich uchun kulachok profilining *egri chizig'ini ekstremal radiuslari* **tekshiriladi:**

- kulachok cho'qqisidagi eng kichik radiusi:

$$\rho_{\min} = r_0 + h_0 + h_{k\max} - 2C_{32};$$

- eng katta tezlanishda kulachokning turtkich bilan kontaktlangan nuqtasidagi eng katta radiusi:

$$\rho_{\max} = r_0 + h_0 + C_{11}\Phi_1/2 + C_{12}\left[\left(\frac{\pi}{\Phi_1}\right)^2 - 1\right].$$

Silindrik tayanch sathli turtkich uchun kulachok profilining *egri chizig'ini ekstremal radiusi*:

- kulachok cho'qqisidagi eng kichik radiusi:

$$\rho_{\min} = \left[(r_0 + h_0 + h_{k\max} + r_T)^2/(r_0 + h_0 + h_{k\max} + r_T + 2C_{32})\right] - r_T,$$

bunda: r_T – turtkichning kontaktli sathining radiusi;

- eng katta tezlanishda kulachokning turtkich bilan kontaktlangan nuqtasidagi eng katta radiusi:

$$\rho_{\max} = \frac{\left(H^2 + 2C_{11}^2\right)^{3/2}}{\left[H^2 + 2C_{11}^2 - HC_{12}\left(\frac{\pi}{\Phi_1}\right)^2\right]} - r_T,$$

bunda: $H = (r_0 + h_0 + C_{11}\Phi_1/2 - C_{12} + r_T)$.

$\rho_{\max}$ va $\rho_{\min}$ qiymatlar kulachokning tayyorlash imkonini hamda

kulachok va turtkich orasidagi kontaktli kuchlanishni aniqlash uchun ishlatiladi. ρ_{max} bo'yicha esa kulachok profilining shakli to'g'risida taxminiy tushuncha olinadi.

Kurs usuli bo'yicha profillangan kulachoklar klapan mexanizmi yuritmasining elastik deformatsiyasini hisobga olmaydi va odatda, kulachokdan klapanga bevosita yuritmali mexanizmlarda ishlatiladi.

«Polidayn» usuli bo'yicha zarbsiz kulachokni profillash. IYOD larda turtkich, shtanga va koromislo orqali klapan mexanizmini yuritadigan kulachoklar turtkichning harakatlanish qonuni yuritma tebranishining tuzatilishini va buning uchun klapan kinematikasining zarur bo'lgan parametrlarini ta'minlaydigan qilib profillanishi kerak. Dvigatelsozlik amaliyotida bu masalani yechish uchun «polidayn» deb nomlangan usul kulachokning profillashda keng tarqalgan.

Bu holatda turtkichning siljishi polinom bilan beriladi:

$$h_T = h_{T\max}\left[1 + C_2\left(\frac{\varphi_K}{\varphi_{p0}}\right)^2 + C_p\left(\frac{\varphi_K}{\varphi_{p0}}\right)^p + C_q\left(\frac{\varphi_K}{\varphi_{p0}}\right)^q + C_r\left(\frac{\varphi_K}{\varphi_{p0}}\right)^r + C_s\left(\frac{\varphi_K}{\varphi_{p0}}\right)^s\right].$$

Bunga mos holda uning tezligi V_T va tezlanishi j_T aniqlanadi:

$$V_T = h_{T\max}\left(\frac{\omega_K}{\varphi_{p0}}\right)\left[2C_2\left(\frac{\varphi_K}{\varphi_{p0}}\right) + pC_p\left(\frac{\varphi_K}{\varphi_{p0}}\right)^{p-1} + qC_q\left(\frac{\varphi_K}{\varphi_{p0}}\right)^{q-1} + \right.$$

$$\left. + rC_r\left(\frac{\varphi_K}{\varphi_{p0}}\right)^{r-1} + sC_s\left(\frac{\varphi_K}{\varphi_{p0}}\right)^{s-1}\right]\cdot 10^{-3};$$

$$j_T = h_{T\max}\left(\frac{\omega_K}{\varphi_{p0}}\right)^2\left[2C_2 + p(p-1)C_p\left(\frac{\omega_K}{\varphi_{p0}}\right)^{p-2} + q(q-1)C_q\left(\frac{\omega_K}{\varphi_{p0}}\right)^{q-2} + \right.$$

$$\left. + r(r-1)C_r\left(\frac{\omega_K}{\varphi_{p0}}\right)^{r-2} + s(s-1)C_s\left(\frac{\omega_K}{\varphi_{p0}}\right)^{s-2}\right]\cdot 10^{-3}.$$

φ_K burchak $\varphi_{p0} \le \varphi_K \le 0$ oralig'ida kulachokning cho'qqisidan hisoblanadi.

Doimiy koeffitsiyent C_2, C_p, C_q, C_r, C_s lar quyidagicha aniqlanadi:

$$C_2 = -\frac{pqrs}{(p-2)(q-2)(r-2)(s-2)};$$

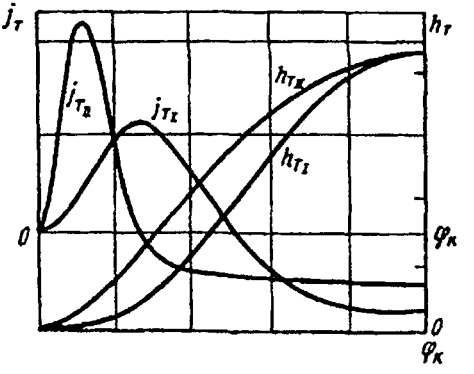
$$C_p = \frac{2qrs}{(p-2)(q-p)(r-p)(s-p)};$$

$$C_q = -\frac{2prs}{(q-2)(q-p)(r-q)(s-q)};$$

$$C_r = \frac{2pqs}{(r-2)(r-p)(r-q)(s-r)};$$

$$C_s = -\frac{2pqr}{(s-2)(s-p)(s-q)(s-r)}.$$

p,q,r,s parametrlar odatda $p-2$ farq bilan o'suvchi arifmetik progress qonuni bo'yicha tanlanadi. Masalan, $p=12$ bo'lganda progressiya farqi 10 ga q, r, s lar esa mos holda 22, 32, 42 larga teng bo'ladi. P katta bo'lganda vaqt-kesim ko'payadi, lekin musbat tezlanishning eng katta qiymati kattalashadi. Shuning uchun yengil avtomobillarning IYOD larida odatda, $p=6$, 8, 10 ga, yuk avtomobillari dvigatellari uchun $p=12$, 14 ga teng deb qabul qilinadi. 9.25-rasmda «polidayn» profilli kulachokning burilish burchagi bo'yicha p,q,r,s larning chegara qiymatlarini birgalikdagisi uchun turtkich kinematikasi parametrlarining o'zgarish grafigi berilgan.



9.25-rasm. **Polinom darajasi ko'rsatkichlari to'plami turlicha bo'lgan «polidayn» usuli bo'yicha profillangan kulachok turtkichining ko'tarilish h_T va tezlanish j_T grafigi: I (6-10-14-18); II (14-26-38-50).**

9.3.3. KLAPAN MEXANIZMIGA TA'SIR QILUVCHI KUCHLAR

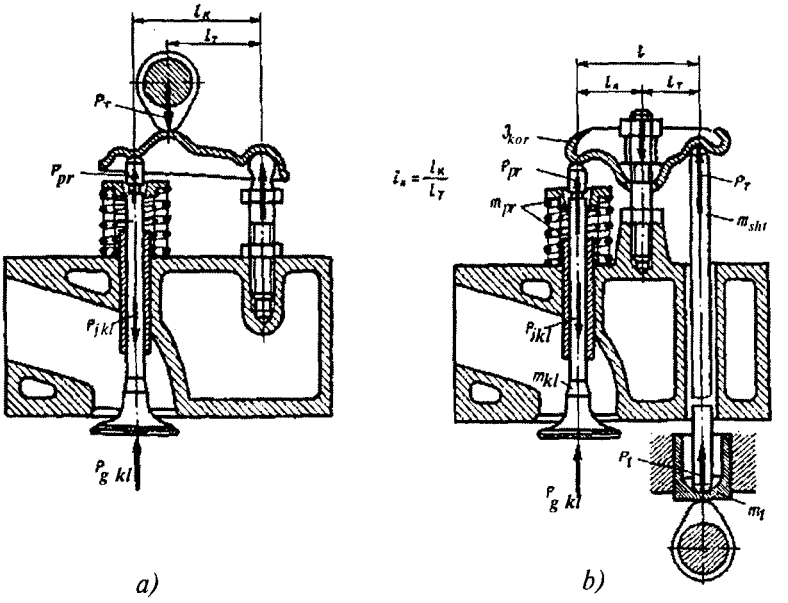
Dvigatelning ishlash jarayonida klapan mexanizmining detallariga gazlarning bosim P_g inersiya P_j, prujina elastikligi P_{pr} va ishqalanish kuchlari ta'sir qiladi (9.26-rasm). Ishqalanish kuchi GTM ning dastlabki hisoblarida inobatga olinmaydi. GTM ga ta'sir qiluvchi kuchlarni aniqlashda belgilarning quyidagi qoidalari qabul qilingan: yo'nalishi prujinaning elastiklik kuchini ta'sir qilish yo'nalishiga mos keladigan kuchlar musbat deb hisoblanadi.

GTM ga gazlarning ko'proq bosim kuchi P_g chiqarish klapani tomonidan uning ochilish paytini boshlanishi p_b nuqtada ta'sir qiladi:

$$P_{g.chiq} = \frac{\pi}{4}\left(p_b d^2_{kal.chiq} - p_r d^2_{kal.chiq}\right).$$

Keyinchalik (ochila boshlanishida) u faqat inersiya P_j va prujinaning elastiklik P_{pr} kuchlari bilan yuklanadi.

Kiritish klapanlari berk bo'lganda quvurdagi va silindrdagi bosimlar farqi natijasida paydo bo'ladigan gazlar kuchi ularni ochishga intiladi. Prujinaning eng kam elastik kuchi P_0 ularning bekik holatida ushlab turishi uchun yetarli darajada bo'lishi kerak.



9.26-rasm. **Klapan mexanizmi yuritmasining quyidagi sxemalari uchun gaz taqsimlash mexanizmlaridagi kuchlar:** *a* – bir yelkali richag, *b* – ikki yelkali richag (koromislo).

Nadduvli dvigatellarda kiritish quvuridagi bosim $p_к$ va silindrdagi p_r bosimning yig'indi kuchi $P_{g.kir}$.

$$P_{g.kir} = \frac{\pi}{4}\left(p_k d^2_{g.kir} - p_r d^2_{kal.kir}\right),$$

chiqarish takti paytida kiritish klapanining ochishi mumkin. Bunga qarshi ta'sir qilishi uchun prujinaning eng kam elastiklik kuchi $P_0, P_{g.kir}$ dan ko'p bo'lishi kerak.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarning drossel to'sma qopqog'i berk bo'lib p_a va chiqarish quvuridagi p_{tr} bosimlar farqiga proporsional bo'lgan kuch $P_{g.chiq}$.

$$P_{g.chiq} = \frac{\pi}{4}\left(p_{tr} d^2_{g.chiq} - p_a d^2_{kal.chiq}\right).$$

Kiritish takti paytida chiqarish klapanini ochishga intiladi. Shuning uchun P_0 kattalik $P_0 > P_{g.chiq}$ tengsizlik bajarilishini ta'minlashi kerak.

GTM elementlariga ta'sir qiluvchi inersiya kuchlarning hisoblash uchun, ilgari ko'rib chiqilgan turtkich va klapanning harakatlanish qonunini bilishdan tashqari harakatlanuvchi detallarning massasi to'g'risida ma'lumotga ega bo'lish kerak. Odatda, hisoblash uchun klapanga keltirilgan GTM massasidan foydalaniladi (9.27-rasm). Umumiy holda klapanga keltirilgan klapan mexanizmin-

ing massasi:

$$m_{kmk} = m_{kl} + m_{tar} + m_{qulf} + m_{st} + m_{pr.k} + m_{kor.k} + m_{sht.k} + m_{tk}, \quad (9.5)$$

bunda: m_{kl}, m_{tar}, m_{qulf}, m_{st} – klapan, tarelka, qulf tuzilmasi stakan massalari; $m_{pr.k}$, $m_{kor.k}$, $m_{sht.k}$, m_{tk} – klapanga keltirilgan prujina, koromislo (richag); shtanga va turtkich massalari.

Keltirilgan massa haqiqiy GTM va ekvivalent modelining kinetik energiyalarining tenglidan kelib chiqqan holda aniqlanadi.

Koromislo uchun bu shart $m_{kor.k}V_{kl}^2/2 = J_{kor}/\omega_{kor}^2/2$ ko'rinishida yoziladi. $V_{kl} = \omega_{kor}l_k$, $m_{kor.k} = J_{kor}/l_k^2$, bunda: ω_{kor} – koromisloning burchak tezligi; J_{kor} – koromisloning aylanish o'qiga nisbatan uning inersiya momenti. Birinchi yaqinlik bilan koromisloning keltirilgan massasini hisoblash uchun quyidagi ifodadan foydalanish mumkin: $J_{kor} \approx m_{kor}(l_k + l_T)^2/12$, richag uchun esa $J_{kor} \approx m_{kor}l_k^2/3$.

Shtanganing keltirilgan massasi quyidagi nisbatdan aniqlanadi:

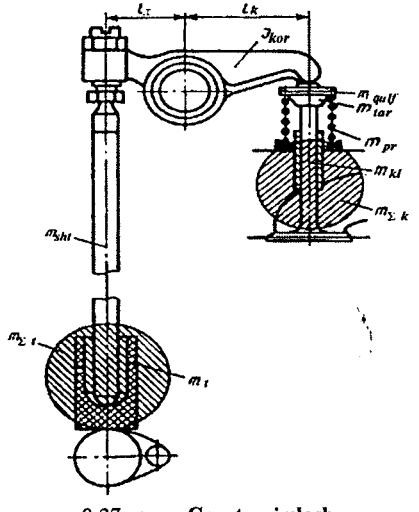
$$m_{sht.k}V_{kl}^2/2 = m_{sht}V_T^2/2,$$

$V_T = V_{kl}/i_k$ bo'lganligi uchun $m_{sht.k} = m_{sht}/i_k^2$ bo'ladi.

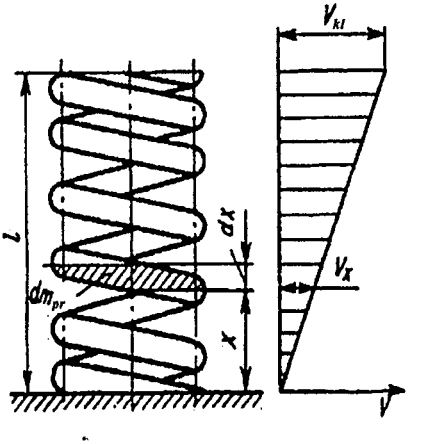
Shunga o'xshash tarzda turtkich massasining klapanga keltirilgan massasini olamiz: $m_{Tk} = m_T/i_k^2$.

Prujinaning keltirilgan massasi quyidagi yo'l qo'yishlardan kelib chiqqan holda aniqlanadi:

- prujinaning massasi uning uzunligi l bo'yicha bir tekis taqsimlangan;
- prujina elementining harakat tezligi uning qo'zg'almas pastki yon yuzasidan x masofasiga proporsional (9.28-rasm). U holda prujina elementining massasi $dm_{pr} = m_{pr}dx/l$ kabi, x masofada joylashgan prujina elemen-



9.27-rasm. **Gaz taqsimlash mexanizm massalarini keltirish.**



9.28-rasm. **Klapan prujinasining keltirilgan massasini aniqlash.**

tining tezligi esa $V_x = V_{kl}(x/l)$ kabi aniqlanadi.

Kinetik energiyalar tengligi sharti $m_{pr.k}V_{kl}^2 = (1/2)\int_0^l V_x dm_{pr}$ ga dm_{pr}, V_x ifodalarini qo'yib va kerakli o'zgartirishni amalga oshirib, nihoyat $m_{pr.k} = m_{pr}/3$ bo'lishini olamiz.

Yuqorida bayon qilinganga, asosan, nihoyat quyidagini olamiz:

$$m_{kmk} = m_{kl} + m_{tar} + m_{qulf} + m_{st} + m_{pr}/3 + J_{kor}/l_k^2 + (m_{sht} + m_t)/i_k^2.$$

Loyihalashning boshlang'ich bosqichida GTM detallari massalarini berish uchun konstruktiv massalar bo'yicha statik ma'lumotlardan foydalaniladi. Klapan mexanizmining konstruktiv massasi kiritish klapanining bo'g'zini birlik yuzasiga to'g'ri keladigan mos elementning massasi kabi aniqlanadi: $m'_{kmk} = m_{kmk}/f_b$. Bevosita yuritiladigan GTM uchun u 200...300 kg/m^2 ga teng bo'ladi, turtkich shtanga va koromislo orqali yuritiladiganlarda esa 400...500 kg/m^2.

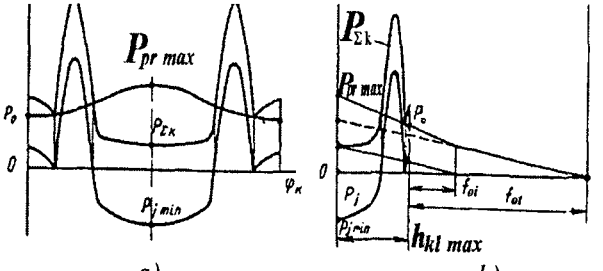
Klapanga keltirilgan inersiya kuchi $P_j = -m_{KMK}j_K$ va GTM ga ta'sir qiluvchi va klapanga keltirilgan yig'indi kuch $P_{\Sigma k} = P_g + P_j + P_{pr}$.

Kulachokning profili simmetrik bo'lganda to'liq tahlil qilish uchun GTM ning faqat yarim ishchi burchagiga ta'sir qiluvchi kuchlarni ko'rib chiqish yetarli hisoblanadi.

9.3.4. KLAPAN PRUJINASINING HISOBI

Klapan prujinasi P_0 kuch bilan klapanni yopiq holatida ushlab turishi kerak, shuningdek, manfiy inersiya kuchi P_j klapanni kulachokdan ajratgan holatida ham kuch P_{pr} klapan va turtkich orasida kinematik bog'liqlikni ta'minlashi kerak (9.29-rasm).

Kulachokning yuritma elementlari bilan kinematik bog'liqligining uzilmaslik sharti $P_{pr} = K_z P_j$, bunda: K_z – dvigatelning nominal aylanishlar



9.29-rasm. **GTM da kuchlar o'zgarishining bog'liqligi:**
a – taqsimlash vali kulachogining burilish burchagiga nisbatan;
b – klapan yo'liga nisbatan.

chastotasini n_n dan n_{max} gacha mumkin bo'lgan oshishini va prujina o'ramlarining tebranishini hisobga oluvchi prujinaning zaxira koeffitsiyenti. K_z kattalik K_z =1,5...2,25 oralig'ida yotadi. Kichik qiymatlari nominal aylanishlar chastotasini cheklagichiga ega bo'lgan IYOD larga tegishli.

Chiziqli tavsifli prujinalar uchun klapanning ko'tarilishiga bog'liq holda prujina kuchining o'zgarishini $P_{pr} = P_0 + C_{pr} h_{kl}$ ko'rinishida yozish mumkin, bunda: C_{pr} – prujinaning bikirligi, N/m.

$h_{kl\,max}$, P_0 va $P_{pr\,max}$ larning ma'lum bo'lgan kattaliklari bo'yicha prujinaning zarur bo'lgan bikirligini aniqlash mumkin:

$$C_{pr} = \left(P_{pr\,max} - P_0\right) / h_{kl\,max}.$$

Bunda prujinaning dastlabki deformatsiyasi $f_0 = P_0 / C_{pr}$ ga, eng katta deformatsiyasi esa $f_{max} = P_{pr\,max} / C_{pr} = f_0 + h_{kl\,max}$ ga teng bo'ladi. $f_{max} / f_0 = 2$ bo'lganda prujina eng kichik o'lchamga ega bo'ladi. Avtotraktor dvigatellari uchun bu nisbat, odatda, 1,6...3,2 oralig'ida yotadi.

Klapanning tezlanishi kulachokning burilish burchagi bilan nochiziqli bog'liqlikka ega bo'lganligi tufayli prujinaning zaxira koeffitsiyenti K_z ham burilish burchak bo'yicha o'zgaradi va klapanning manfiy tezlanish bilan harakatlanish uchastkasida uning joriy qiymatini K_z=P_{pr} / P_j kabi aniqlash mumkin. Shuning uchun K_z ning maqbul o'zgarishi bilan C_{pr} ni tanlash uchun P_Σ, P_{pr} va h_{kl} larning kulachokli valning burilish burchagiga bog'liqligi grafiklaridan P'_Σ ning eng kichik qiymatini va unga mos kelgan P'_{pr} va h'_{kl} larni aniqlash kerak, so'ngra esa $K_z' = P'_{pr} / P'_j$ hisoblanadi (9.29-rasm). P_0 ning o'zgartirib K_z'=K_z bo'ladigan holatga erishish mumkin. Bundan $C_{pr} = \left(P_{pr\,max} - P'_{pr}\right) / h'_{pr}$ bo'ladi.

Mexanizmning har bir klapanida ikkitadan prujina ishlatilganda tashqi prujinaning yuklantiradigan eng katta kuch umumiy talab qilinadigan elastik kuchning qismi $P_{pr.t} = K_{pr} P_{pr}$ kabi, ichki prujinaning yuklantiradigan eng katta kuch esa $P_{pr.i} = \left(1 - K_{pr}\right) P_{pr}$ kabi aniqlanadi. Avtotraktor dvigatellari uchun, odatda, K_{pr} = 0,55...0,65 oralig'ida yotadi. Tashqi va ichki prujina kuch $P_{pr.t\,max}$, P_{ot}, $P_{pr.i\,max}$, P_{0i} larini o'zgartirib K_z, K_z' larning eng maqbulini olish, shuningdek, prujinaning geometrik parametrlarini kichiklashtirish mumkin.

9.3.5. KLAPAN PRUJINASINING O'LCHAMLARINI ANIQLASH

Prujinani loyihalash quyidagi ketma-ketlikda **amalga oshiriladi:**

- *Prujinaning geometrik parametrlari aniqlanadi.*

1. Prujinalarning kesimlarida kuchlanishlarning taqsimlanishiga (eng katta kuchlanish o'ram kesimini ichki tolasida paydo bo'ladi) bog'liq bo'lgan,

o'ramning tashqi va ichki sathlarini egri chiziqlarining radiuslar farqini hisobga oladigan indeks (c_{pr}) va prujina shaklini koeffitsiyenti (χ) beriladi, $\chi = (4c_{pr}+2)/(4c_{pr}-3)$. Avtomobil IYOD lari uchun c_{pr}=8...12 va (χ) = 1,1...1,2.

2. Joylashtirish shartlarining statik ma'lumotlari bo'yicha prujinaning o'rtacha diametri D_{pr} beriladi (9.30-rasm). Avtotraktor dvigatellari uchun $D_{pr}=(0,8...0,9)d_b$.

3. Ruxsat etilgan ma'lum kuchlanish bo'yicha (prujina po'latlari uchun $[\tau_T]$=350–600 MPa) simning diametri hisoblanadi:

$$d_{pr} = \sqrt[3]{\frac{8\chi P_{pr\max} D_{pr}}{\pi[\tau_T]}}.$$

d_{pr} ning hisoblangan qiymati simlarning saralanishi bo'yicha yaqin bo'lgan katta qiymatigacha yaxlitlanadi: 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 4,0; 4,2; 4,5; 4,8; 5,0; 5,5; 6,0 mm.

4. Prujinaning indeksini tekshirish amalga oshiriladi, zarurat tug'ilsa hisob qaytadan bajariladi.

5. Ishchi o'ramlarining soni aniqlanadi

$$i_i = G_{pr} d_{pr}^4 f_{\max} / (8 P_{pr\max} D_{pr}^3),$$

bu keyinchalik butun yoki 0,5 karragacha yaxlitlanadi.

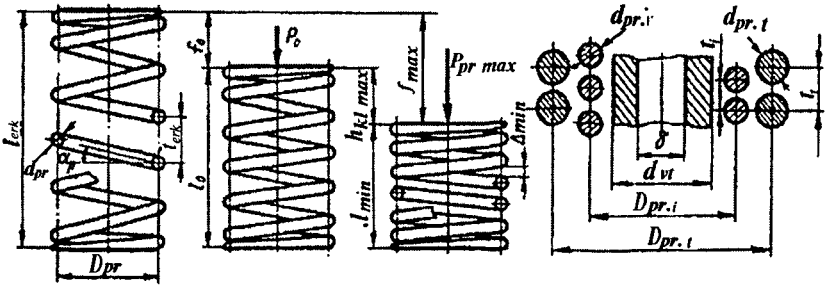
6. Eng ko'pga siqilgan prujinaning geometrik parametrlari aniqlanadi.

Prujinaning ishchi o'ramlari qadami $t_{min} = d_{pr} + \Delta_{min}$, Δ_{min} – prujina eng ko'p deformatsiyalanganda uning ishchi o'ramlari orasidagi eng kam tirqish; $\Delta_{min} = (0,10...0,15)d_{pr}$, bu 0,5...0,9 mm ni tashkil etadi.

Prujinaning eng kam uzunligi $l_{min} = t_{min}(i_i - 2) + d_{pr}(i_0 + 1)$, bunda: i_0 – tayanch o'ramlar soni, 2–3 oralig'ida qabul qilinadi.

7. Klapan berk bo'lganda prujina parametrlari aniqlanadi:

prujina uzunligi $l_0 = l_{min} + h_{kl\max}$;



9.30-rasm. **Klapan prujinalarining turli holatlarida uning geometrik parametrlari:** *a*–erkin; *b*–klapan berk bo'lganda; *d*–klapan to'liq ochilganda; *e*–prujinaning konstruktiv parametrlarining nisbati.

prujina o'ramlari qadami $t_0 = \left[l_0 - d_{pr}\left(i_0 + 1\right)\right] / \left(i_i - 2\right)$.

8. Prujinaning deformatsiyalanmagan erkin holatidagi parametrlari hisoblanadi:

prujina uzunligi $l_{erk} = l_0 + f_0$. $l_0 / D_{pr} > 2{,}5...3{,}0$ bo'lganda bo'ylama barqarorligini yo'qolishidan holi bo'lishi uchun prujina yo'naltiruvchi gilza-stakanga o'rnatiladi;

prujina o'ramlari qadami (o'rash qadami):

$$t_{erk} = \left[l_{erk} - d_{pr}\left(i_0 + 1\right)\right] / \left(i_i - 2\right).$$

● *Prujina simining kesimida buralishdagi kuchlanishni hisoblash amalga oshiriladi.*

1. Prujinaning ishchi o'ramining buralishidagi eng katta va eng kichik kuchlanishi hisoblanadi:

$\tau_{\max} = 8\chi P_{pr\max} D_{pr} / \left(\pi d_{pr}^3\right)$ va $\tau_{\min} = 8\chi P_{pr\min} D_{pr} / \left(\pi d_{pr}^3\right)$.

2. Kuchlanishlarning o'rtacha va amplitudali qiymatlari aniqlanadi:

$$\tau_m = \left(\tau_{\max} + \tau_{\min}\right)/2, \quad \tau_a = \left(\tau_{\max} - \tau_{\min}\right)/2.$$

Zaxira koeffitsiyenti $n_\tau = \left[\tau_T\right] / \left(\tau_a + \tau_m\right)$ aniqlanadi, bunda: $\left[\tau_T\right]$– yo'l qo'yilgan (ruxsat etilgan) kuchlanish. n_τ kattalik 1,2...2,0 oralig'ida bo'lishi kerak.

3. Prujina rezonansga tekshiriladi.

Rezonansli tebranishning mavjud bo'lmaslik sharti quyidagicha: $\omega_{c1} / \omega_к > 10$, bunda: ω_{c1} – prujinaning xususiy tebranishining birinchi chastotasi; $\omega_к$ – taqsimlash valining aylanishlar chastotasi.

Berilgan chastota quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$\omega_{c1} = \pi \sqrt{\frac{C_{pr}}{m_{pr.i}}} = \frac{d_{pr} \cdot 10^6}{D_{pr}^2 \cdot i_i} \sqrt{\frac{G_{pr}}{2\rho_{pr}}} \quad \text{va} \quad \omega_к = \pi m_p / 30,$$

bunda: $m_{pr.p}$ – prujinaning ishchi o'ramlarini massasi; G_{pr} – sim ashyosining siljishida ikkinchi tur elastiklik moduli. Prujina po'latlari uchun G_{pr}=(7,6...8,2) · 10^4 MPa, ρ_{pr}=7800...7900 kg/m^3. d_{pr} va D_{pr} larning qiymatlari mm da.

Ikki prujinali klapan mexanizmining geometrik parametrlarini aniqlash ketma-ketligi bir prujinali klapan mexanizmi kabi aniqlanadi.

Yo'naltiruvchi vtulka va ichki prujina, ichki hamda tashqi prujinalar orasidagi radial tirqishlarning kerakligiga quyidagi shartlarning bajarilishida erishiladi:

$$\left(D_{pr.i} - d_{pr.i}\right) - d_{vt} \geq 2 \text{ mm},$$

$$\left(D_{pr.T} - d_{pr.T}\right) - \left(D_{pr.i} + d_{pr.i}\right) \geq 2 \text{ mm}.$$

Ko'rsatilgan tirqishlar prujinalarning o'qdoshligini va ularning ishini bog'liqsizligini ta'minlash uchun kerak.

X BOB
MOYLASH TIZIMI

10.1. MOTOR MOYLARIGA QO'YILADIGAN TALABLAR

Dvigatelning ishonchli ishlashini ta'minlaydigan asosiy omillardan biri bu ishqalanadigan tutashmalar tirqishlari orqali moyning uzluksiz aylanishi hisoblanadi.

Bunda moy yeyilishni, ishqalanishga bo'lgan yo'qotishni kamaytiradi, detallarni jipslashtiradi (masalan, porshen va silindr gilzasi), ishqalanishda hosil bo'lgan issiqlikni olib ketadi va metall sathlarini zanglashdan himoyalaydi, yeyilish mahsulotlarini tirqishdan yuvib chiqaradi.

Bevosita vazifasidan tashqari moy ayrim dvigatellarda ventilator (shamol parrak) ning yuritmasini gidromuftasi uchun, rostlash tizimining servomotorlari uchun ishchi jism sifatida, kuchaytirilgan dvigatellarda esa porshenlarning sovitish uchun ishlatiladi.

Dvigatel detallarining moylashni ta'minlaydigan tuzilma majmuasi moylash tizimini tashkil etadi.

Avtotraktor dvigatellarida ishlatiladigan moylarga bir qator *foydalanish talablari* qo'yiladi, ularning eng asosiylari quyidagilar:

- sovib quyuqlashish haroratining past bo'lishi;
- qovushqoqlik – harorat tavsifining yassiligi (pologiy);
- zarur fizik va kimyoviy barqarorlik darajasi;
- metallarning zanglashiga eng kam ta'siri;
- mexanik aralashmalar va suvning tashkil etmasligi. Moy zaharli bo'lmasligi va atrof-muhitning ifloslantirmasligi kerak.

Yurtimizda ishlab chiqariladigan moylar GOST 17479–72 ga muvofiq tasniflanadi. Tasniflash asosi qilib asosiy talablardan biri bo'lgan moyning 100°C dagi qovushqoqligi olingan. Bu tasnif bo'yicha barcha moylar besh guruhga bo'linadi (10.1-jadval).

Moyning markasi (belgisi) har bir guruhda harf va son bilan belgilanadi (10.2-jadval). *M* harfi motor moyi ekanligini bildiradi. *M* harfidan keyingi son 100°C haroratdagi qovushqoqligini santistokslarda (sSt) xususiyatlaydi yoki kasr sifatida, suratidagisi – 18°C haroratdagi, maxrajidagisi esa 100°C haroratdagi moyning qovushqoqligini sSt da ko'rsatadi. Indeksdagi «*3*» harfi moyga quyuqlashtirgich qo'shilmasi qo'shilib uning quyuqlashtirilganligini bildiradi. Indeks *1* bilan uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarining, indeks *2* bilan esa dizellarning moylari belgilanadi. Agarda indeks mavjud bo'lmasa, bunday moy ikkala turdagi dvigatellar uchun ham ishlatilishi mumkinligini ko'rsatadi.

Moy guruhining taxminiy tanlash uchun quyidagilarni tavsiya etish mumkin:

- uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun:

ε =6,5...7,5 va n = 3000...4000 min^{-1} bo'lganda – moyning B_1 guruhi;

ε =8...9 va n = 5000...6000 min^{-1} bo'lganda – moyning Γ_1 guruhi;

● dizellar uchun S. G. Arabyan [1] tomonidan dvigatelda moy ishlashining shartli kuchlanishi tavsiya etilgan:

$$A = \frac{G_{yo}}{Fi}\frac{N_e}{G_m}K_\alpha K_\beta \frac{1}{n},$$

bunda: G_{yo} – yonilg'ining soatiga sarfi, kg/s; F – silindr ko'zgusi, porshen tubi, silindr kallagi ishchi sathlarining umumiy yuzasi, m^2; i – silindrlar soni; N_e – dvigatelning samarali quvvati, kVt; G_M – moylash tizimining sig'imi, kg; $K_\alpha = 1{,}0$ nadduvsiz dvigatellar uchun; $1{,}3$ – nadduvli dvigatellar uchun; $K_\beta = 1{,}7$ – havo bilan sovitiladigan dvigatellar uchun; $1{,}0$ – suyuqlik bilan sovitiladigan dvigatellar uchun;

● traktor dizellari uchun:

$A = 150$ birlikkacha – $Б_2$ guruhidagi moy;

$A = 197...223$ – B_2 guruhidagi moy;

$A = 358...648$ – $Г_2$ guruhidagi moy.

10.1-jadval

Foydalanish xususiyati bo'yicha moylar guruhi	Tavsiya etiladigan ishlatish doirasi
A	Kuchaytirilmagan karbyuratorli dvigatellar
Б $\begin{cases}Б_1\\Б_2\end{cases}$	Kam kuchaytirilgan karbyuratorli dvigatellar Kam kuchaytirilgan dizellar
В $\begin{cases}В_1\\В_2\end{cases}$	O'rtacha kuchaytirilgan karbyuratorli dvigatellar O'rtacha kuchaytirilgan dizellar
Г $\begin{cases}Г_1\\Г_2\end{cases}$	Yuqori kuchaytirilgan karbyuratorli dvigatellar Yuqori kuchaytirilgan dizellar
Д	Og'ir sharoitda ishlaydigan yuqori kuchaytirilgan dizellar

10.2-jadval

Qovush-qoqlik sinfi	°C haroratda qovushqoqlik oralig'i, mm^2/s		Foydalanish xususiyati bo'yicha moylar guruhi				
	100	–18	$Б_1$	В		Г	
				$В_1$	$В_2$	$Г_1$	$Г_2$
6	6±0,5	–	М6$Б_1$	М6$В_1$	–	М6$Г_1$	–
8	8±0,5	–	М8$Б_1$	М8$В_1$	М8$В_2$	М8$Г_1$	М8$Г_2$
10	10±1	–	М10$Б_1$	М10$В_1$	М10$В_2$	М10$Г_1$	М10$Г_2$
12	12±0,5	–	–	–	М12$В_2$	–	М12$Г_2$
$4_3/6$	6±0,5	1300...2600	М4_3/6$Б_1$	М4_3/6$В_1$	–	–	–
$4_3/8$	8±0,5	1300...2600	М4_3/8$Б_1$	М4_3/8$В_1$	М4_3/8$В_2$	–	–
$4_3/10$	10±0,5	1300...2600	М4_3/10$Б_1$	М4_3/10$В_1$	М4_3/10$В_2$	–	–
$6_3/10$	10±0,5	2600...10400	–	М6_3/10$В_1$	М6_3/10$В_2$	М6_3/10$Г_1$	М6_3/10$Г_2$

10.2. SILINDRIK PODSHIPNIKNING HISOBI

Dvigatellar detallarining tutashmalarida sirpanish ishqalanishi ustuvor hisoblanadi, ular quruq, suyuq, chegaraviy, yarim suyuq va yarim quruq turlariga bo'linadi.

Dvigatelning ishlashida uning turli tutashmalarida u yoki bu ishqalanish turi hosil bo'ladi, chunki moy keltirish usuli va yuklanish sharoiti turlicha. Masalan, chiqarish klapani – yo'naltiruvchi vtulka jufti ehtimol yarim quruq, porshen barmog'i – porshen bo'rtig'ining jufti bilan ehtimol chegaraviy yoki yarim suyuqlik ishqalanish bo'ladi.

Tirsakli valning podshipniklarida faqat suyuq ishqalanishga yo'l qo'yiladi. Bunda ajratib turadigan moy qatlami valning bo'yinini aylanishida moyning aylanma harakat qilishiga olib kelishi hisobiga paydo bo'ladi (birinchi chegaraviy qatlam – moyning moylanuvchanligi, navbatdagisi – uning qovushqoqligi hisobiga). Moy asta-sekin kamayadigan hajm a ga tushib (10.1-rasm) barcha yo'nalish bo'yicha oqib chiqishga intiladi, bunga qovushqoqlik kuchi qarshilik qiladi, uning bosimni ko'tarilishi bilan yengib chiqish mumkin. Natijada moy qatlamining ponasimon qismida bo'yinni ichquymadan ajratadigan gidrodinamik bosimi hosil qilinadi.

Podshipnik tuguni shunday loyihalanishi va hisoblanishi kerakki, valga ta'sir qiluvchi kuchlarda ajratuvchi moy qatlami suyuqlikli ishqalanishini ta'minlaydigan bo'lishi kerak. Avtotraktor dvigatellarining tirsakli vallari podshipniklari uchun bu talab moy qatlamining eng kichik qalinligi 4–5 mkm bo'lganda bajariladi.

Dinamik hisoblash ma'lumotlari bo'yicha dvigatelning loyihalashda yuklamalarning qutbiy diagrammasi quriladi, bu diagramma bo'yicha podshipniklarga ta'sir qiluvchi kuch aniqlanadi, mustahkamlik hisobi va joylashtirish asosida esa bo'yin diametrining o'lchami va ichquymaning tayanch qismini uzunligi o'rnatiladi. Bu ma'lumotlar bo'yicha diametrial proyeksiyaning birlik yuzasidagi shartli bosim aniqlanadi (MPa):

$$K = \frac{P}{ld}.$$

Podshipnikning gidrodinamik hisobi uchun K ning uchta qiymatiga ega bo'lish kerak: ish siklidagi o'rtachasi $K_{o'r} = P_{o'r}/(ld)$, eng katta yuklamaning sirtmog'idagi o'rtachasi $K'_{o'r} = P'_{o'r}/(ld)$ va eng kattasi $K_{max} = P_{max}/(ld)$.

$K_{o'r}$ bo'yicha podshipnikning issiqlik hisobi amalga oshiriladi, $K'_{o'r}$ bo'yicha moy qatlamining eng kam qalinligi aniqlanadi va K_{max} bo'yicha ishqalanishni kamaytiruvchi modda ashyosi qabul qilinadi, uning toliqishga mustahkamligi tugun ishining zarur bo'lgan ko'pga chidamliligini ta'minlaydi.

Silindrik podshipnikning asosiy parametrlari va boshlang'ich tenglama. P kuch bilan yuklangan val aylanishida podshipnikka nisbatan 10.1-rasmda ko'rsatilgan holatni egallaydi, bunda: φ_1 va φ_2 burchaklar yuk ko'taradigan moy qatlamining boshlanishi va oxiriga mos keladi.

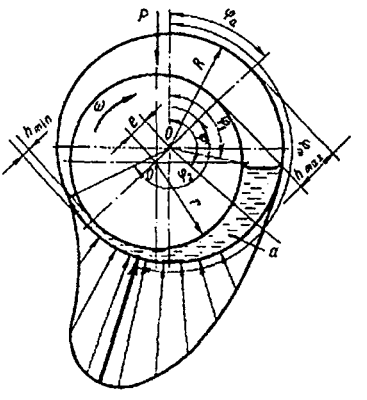
Quyidagi belgilashlar va nisbatlarni qabul qilamiz:

Δ – podshipnik diametri D va val bo'yini diametri d orasidagi farq bilan aniqlanadigan diametral tirqish: $\Delta = D - d$;

δ – diametrial tirqishning yarmiga teng bo'lgan radial tirqish: $\delta = \Delta/2 = R - r$;

ψ – nisbiy tirqish – diametrga yoki mos holda val bo'yini radiusiga keltirilgan tirqish, ya'ni $\psi = \Delta/d = \delta/r$;

l/d – podshipnikning nisbiy uzunligi – val bo'yini tayanchi uzunligi l ni uning diametri d ga bo'lgan nisbati;



10.1-rasm. **Sirpanish podshipnigini hisoblashga.**

e – ekssentrisitet – 10.1-rasmdagi OO' - kesim.

χ – nisbiy ekssentrisitet – radial tirqishga keltirilgan ekssentrisitet, ya'ni $\chi = e/\delta$;

h_{min} – moy qatlamining eng kam qalinligi:

$$h_{min} = \delta - e = \delta - \delta\chi = \delta(1-\chi);$$

h_{max} – moy qatlamining eng ko'p qalinligi:

$$h_{max} = \delta + e = \delta + \delta\chi = \delta(1+\chi).$$

Silindrik podshipniklarni hisoblash asosida Reynolds tenglamasi yotadi:

$$\frac{dp}{d\varphi} = \frac{6\mu\omega}{\psi^2} \cdot \frac{\chi(\cos\varphi - \cos\varphi_m)}{(1+\chi\cos\varphi)^3}, \qquad (10.1)$$

bunda: μ – moyning dinamik qovushqoqligi; φ_m – bosim eng ko'p bo'lgan kesim burchagi.

Yuk ko'taruvchi qatlamning ixtiyoriy kesimi φ' da bosim:

$$P_{\varphi'} = \frac{6\mu\omega}{\psi^2} \int_{\varphi_1}^{\varphi'} \frac{\chi(\cos\varphi - \cos\varphi_m)}{(1+\chi\cos\varphi)^3} d\varphi, \qquad (10.2)$$

markaziy burchakli $\Delta\varphi'$ elementar yuzadagi kuch:

$$\Delta P_{\varphi'} = P_{\varphi'} lr\Delta\varphi' = P_{\varphi'} \frac{ld}{2}\Delta\varphi'. \qquad (10.3)$$

Barcha gidrodinamik (yuk ko'taruvchi) qatlamdagi kuch:

$$P = \frac{3\mu\omega}{\psi^2} ld \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \cos\left[\pi - (\varphi' - \varphi_a)\right] d\varphi' \int_{\varphi_1}^{\varphi'} \frac{\chi(\cos\varphi - \cos\varphi_m)}{(1+\chi\cos\varphi)^3} d\varphi. \qquad (10.4)$$

Quyidagicha belgilaymiz:

$$3\int_{\varphi_1}^{\varphi_2}\cos\left[\pi-(\varphi'-\varphi_a)\right]d\varphi'\int_{\varphi_1}^{\varphi'}\frac{\chi(\cos\varphi-\cos\varphi_m)}{(1+\chi\cos\varphi)^3}d\varphi=\Phi. \quad (10.5)$$

Shunday qilib, kuch P quyidagiga teng bo'ladi, MN:

$$P=\frac{\mu\omega}{\psi^2}ld\Phi\cdot \quad (10.6)$$

Podshipnikning yuklanganlik koeffitsiyenti deb ataladigan o'lchamsiz kattalik Φ quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$\Phi=\frac{P}{ld}\frac{\psi^2}{\mu\omega}=\frac{K\psi^2}{\mu\omega}. \quad (10.7)$$

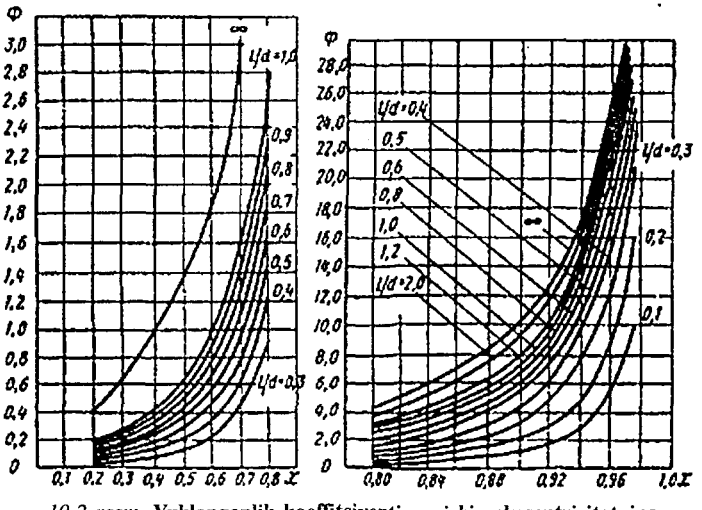
Bu kattalik podshipnikda valning holatini aniqlaydi, ya'ni ekssentrisitet, demak, moy qatlamining eng kam qalinligi:

$$h_{\min}=\frac{\Delta}{2}(1-\chi). \quad (10.8)$$

10.2-rasmda Φ va χ orasidagi bog'liqlikni o'rnatadigan l/d ning turli nisbatlari uchun grafigi keltirilgan. Bu grafiklar ko'p sonli nazariy va tajriba tadqiqotlari asosida qurilgan.

Yuklanganlik koeffitsiyentining qiymatini aniqlash uchun oldinroq ma'lum bo'lmagan moy qatlamining yuklangan qismidagi moy qovushqoqligini bilish kerak.

Qovushqoqlikni aniqlash va ishlashini harorat rejimi to'g'risida fikr yuritish uchun *podshipnikning issiqlik hisobi* bajariladi, uning asosida issiqlik balansi tuziladi va podshipnikda hosil bo'ladigan issiqlikni undan olib ketiladigan issiqlikka teng bo'lgan harorat muvozanati aniqlanadi. Bu



10.2-rasm. **Yuklanganlik koeffitsiyentiga nisbiy ekssentrisitetning bog'liqligi grafigi.**

harorat bo'yicha moyning qovushqoqligi aniqlanadi va barcha navbatdagi hisoblashlar amalga oshiriladi.

Podshipnikning issiqlik hisobi. Sapfaning aylanishiga moy qatlamining qarshiligi solishtirma qarshilik bo'yicha aniqlanadi, u Nyuton qonuni bo'yicha quyidagiga teng:

$$\tau = \mu\frac{dv}{dh} \quad \text{yoki} \quad \tau = \mu\left(\frac{h}{2\mu}\frac{dp}{dx} + \frac{V}{h}\right). \tag{10.9}$$

Qovushqoq siljish kuchi T yuk ko'taruvchi moy qatlamining barcha sathlaridagi $lr(\varphi_2 - \varphi_1)$ solishtirma kuch τ larni qo'shish bilan olinadi:

$$T = l\int_{\varphi_1}^{\varphi_2}\tau r\, d\varphi. \tag{10.10}$$

τ ning o'rniga qiymatini qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$T = \frac{3}{2}\frac{\mu\omega}{\psi}ld\left[\int_{\varphi_1}^{\varphi_2}\frac{\chi(\cos\varphi - \cos\varphi_m)}{(1+\chi\cos\varphi)^3}d\varphi + \frac{1}{3}\int_{\varphi_1}^{\varphi_2}\frac{d\varphi}{1+\chi\cos\varphi}\right]. \tag{10.11}$$

Suyuq ishqalanish koeffitsiyenti $f = \frac{T}{P}$ tushunchasini kiritamiz va belgilaymiz:

$$\frac{3}{2}\int_{\varphi_1}^{\varphi_2}\frac{\chi(\cos\varphi - \cos\varphi_m)}{(1+\chi\cos\varphi)^3}d\varphi + \frac{1}{3}\int_{\varphi_1}^{\varphi_2}\frac{d\varphi}{1+\chi\cos\varphi} = \Phi_T. \tag{10.12}$$

Φ_T kattalikning *sapfaning aylanishiga moy qatlamining qarshilik koeffitsiyenti* deb atashadi.

Bunda:

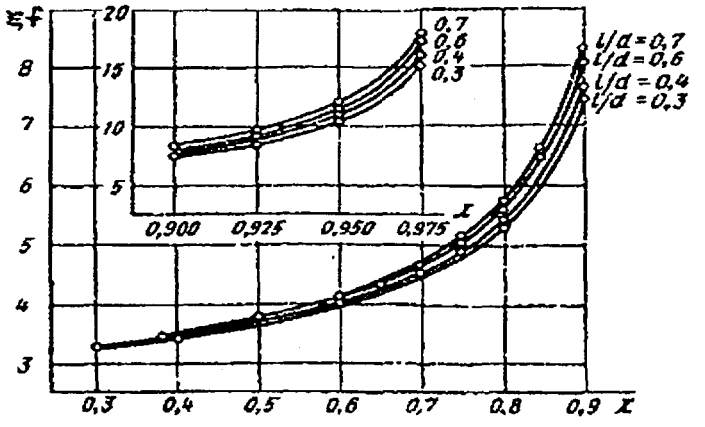
$$T = \frac{\mu\omega ld}{\psi}\Phi_T, \quad \frac{T}{P} = f = \psi\frac{\Phi_T}{\Phi} \quad \text{yoki} \quad \frac{\Phi_T}{\Phi} = \frac{f}{\psi}. \tag{10.13}$$

Aylanishga shipning qarshilik koeffitsiyenti ξ^f deb nomlanadigan kattalik bo'yicha M.V. Korovchinskiy ma'lumotlar keltiradi va uning ekssentrisitet va l/d nisbatga bog'liqligini jadval shaklida beradi. Bu jadvallar asosida ξ^f ni χ va l/d larning turli qiymatlari uchun aniqlashga imkon beradigan grafigi 10.3-rasmda keltirilgan.

ξ^f ning qiymati ma'lum bo'lganda ishqalanish natijasida podshipnikda ajralib chiqadigan issiqlik miqdorini aniqlash mumkin (kJ/s):

$$Q_{ishq} = \xi^f\frac{\mu l d^2\omega^2\cdot 10^3}{2\psi}. \tag{10.14}$$

Bu issiqlik podshipnik orqali aylanadigan moyga o'tkaziladi, shuningdek, uning bir qismi val va karter metallari bo'yicha atrof-muhitga uzatiladi.



10.3-rasm. **Aylanishga shipning qarshilik koeffitsiyentining ekssentrisitetga bog'liqlik grafigi.**

Moy bilan olib ketiladigan issiqlik (kJ/s),

$$Q_{\text{M}} = Mc_{\text{M}}\rho_{\text{M}}\left(t_{chiq} - t_{kir}\right), \qquad (10.15)$$

bunda: M – podshipnik orqali aylanadigan moyning miqdori, m^3/s;

c_{M} – moyning issiqlik sig'imi, kJ/(kg·K); ρ_{M} – moyning zichligi, kg/m^3. IYOD larda ishlatiladigan moylar uchun $c_{\text{M}}\rho_{\text{M}}$ ko'paytma taxminan doimiy va 1800...1900 kJ/(m^3·K) ga teng; t_{chiq}, t_{kir} – podshipnikdan chiqishdagi va unga kirishdagi moyning harorati.

Podshipnik orqali aylanadigan moyning miqdori (m^3/s) M.V. Korovchinskiyning tavsiyasi bo'yicha quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$M = \left(q_T + q_{yuk}\right)\frac{\psi}{2}ld^2\omega, \qquad (10.16)$$

bunda: q_{T} – podshipnikning yuklangan doirasidan chiqadigan (gidrodinamik bosim rivojlanadigan doirada) moyni e'tiborga oladigan koeffitsiyent; $q_{yuk}\chi$ va l/d ning turli qiymatlari uchun 10.4-rasmda ko'rsatilgan grafiklar bo'yicha aniqlanadi; $q_{yuk} = \beta\dfrac{p_{nas}\psi^2}{\mu\cdot\omega}\left(\dfrac{d}{l}\right)^2$ – podshipnikning yuklanmagan doirasi orqali aylanadigan moyni hisobga oladigan koeffitsiyent; p_{nas} – moyning podshipnikka kirishidagi bosimi, MPa; β – 10.5-rasmdagi grafikdan aniqlanishi mumkin bo'lgan koeffitsiyent.

Val va karterning metallari bo'yicha atrof-muhitga olib ketiladigan issiqlik ko'p emas, shuning uchun issiqlik hisobida u hisobga olinmaydi.

Podshipniklarning hisoblash ketma-ketligi.

● Diametral tirqish qiymati beriladi:

$\Delta = (0{,}5...0{,}7)\cdot 10^{-3}d$ – uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun qiymati,

$\Delta=(0,7...1,0)\cdot 10^{-3}d$ – dizellar uchun qiymati.

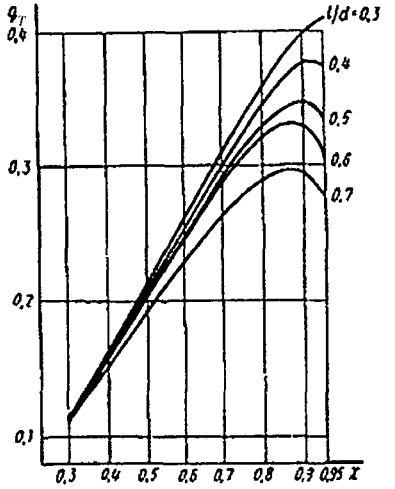
● Podshipnikka kirishida moyning harorati va bosimi qabul qilinadi: $p_{nas}=0,3...0,4$ MPa; $t_{kir}=70...75^{\circ}$ C – uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun qiymati;

$p_{nas}=0,4...0,6$ MPa; $t_{kir}=75...80^{\circ}$ C – dizellar uchun qiymati.

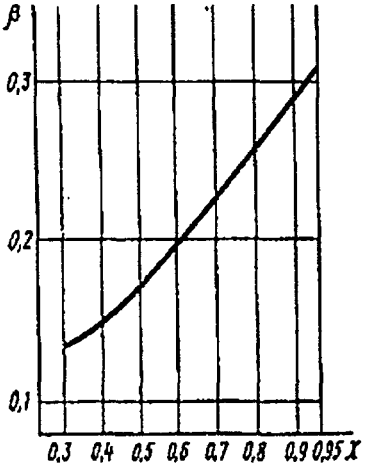
● Ishlash sharoitiga mos keladigan motor moyi tanlanadi.

● Solishtirma bosim $K_{o'r}$ va $K'_{o'r}$ lar hisoblanadi.

● Moy qatlamidagi moyning o'rtacha harorati $t_{o'r}$ ning uchta qiymati berilib, 10.6-rasmdan $t_{o'r}$ ning har bir qiymati uchun moyning qovush-qoqligi aniqlanadi.



10.4-rasm. **Yuklangan qismi orqali sarflash koeffitsiyentining ekssentrisitetga bog'liqlik grafigi.**



10.5-rasm. β **koeffitsiyentning ekssentrisitetga bog'liqlik grafigi.**

● Yuqorida bayon qilingan ketma-ketlikda issiqlik hisobini bajarib Q_{ishq} va Q_M lar aniqlanadi.

● Olingan ma'lumotlar bo'yicha issiqlik balansi grafigi quriladi (10.7-rasm). Q_{ishq} va Q_M egri chiziqlarning kesishgan nuqtasi moy qatlamidagi moyning haqiqiy haroratiga mos keladi.

● Topilgan $t_{o'r}$ qiymati bo'yicha moyning qovushqoqligi aniqlanadi, so'ngra yuklanish koeffitsiyenti Φ' hisoblanadi, unga asosan esa – nisbiy ekssentrisitet.

Bu ekssentrisitetga moy qatlamining quyidagi eng kam qalinligi mos keladi:

$$h_{\min}=\frac{\Delta}{2}(1-\chi). \qquad (10.17)$$

Agar $h_{min} > 4$ mkm va $t_{o'r}<115^{\circ}$ C bo'lsa, bu podshipnikning ish qobiliyatliligi to'g'risida guvohlik beradi.

h_{min} ning olingan qiymati shartli hisoblanadi, chunki haqiqiy dvigatelda u uzluksiz ravishda o'zgarib turadi. Shuning uchun hozirgi paytda

podshipnikning tahlili sapfa markazi trayektoriyasining hisobini o'z ichiga oladi, bu sapfaning podshipnik bilan yaqinlashish kattaligini, joyini va davomiyligini aniqlashga imkon beradi. Bunda moy qatlamining yuk ko'tarish qobiliyati gidrodinamik bosim va sapfaning radial siljishi majmuasining ta'siri natijasi sifatida ko'rib chiqiladi (10.8-rasm).

Tashqi yuklama P ta'siriga moy qatlamining aks ta'sirini radial bosim P_{rad} kuchlari va gidrodinamik bosim P_{gd} kuchlarini teng ta'sir etuvchisi kabi qaraladi.

Markazlar chiziqlariga va uning perpendikulariga kuchlarning proyeksiyasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\begin{cases} P\cos(\delta-\gamma) = P_{gd}\cos\beta + P_{rad}, \\ P\sin(\delta-\gamma) = P_{gd}\sin\beta. \end{cases} \qquad (10.18)$$

Faqat aylanishda va ilgarilanma harakatda yuklanganlik koeffitsiyenti ko'rinishiga ega bo'lgan reaktiv kuchlarni o'lchamsiz kattalik ko'rinishida ifodalaymiz:

$$\Phi_{gd} = \frac{P_{gd}}{ld}\frac{\psi^2}{\mu\omega} \quad \text{va} \quad \Phi_{rad} = \frac{P_{rad}}{ld}\frac{\psi^2}{\mu d\chi/dt}, \qquad (10.19)$$

u holda quyidagini olamiz:

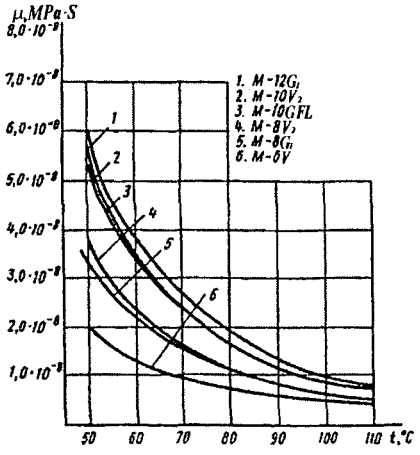
$$\begin{cases} \dfrac{P}{ld}\cos(\delta-\gamma) = \dfrac{\Phi_{gd}\mu\bar{\omega}}{\psi^2}\cos\beta + \dfrac{\Phi_{rad}\mu}{\psi^2}\dfrac{d\chi}{dt}, \\ \dfrac{P}{ld}\sin(\delta-\gamma) = \dfrac{\Phi_{gd}\mu\bar{\omega}}{\psi^2}\sin\beta, \end{cases} \qquad (10.20)$$

bunda:

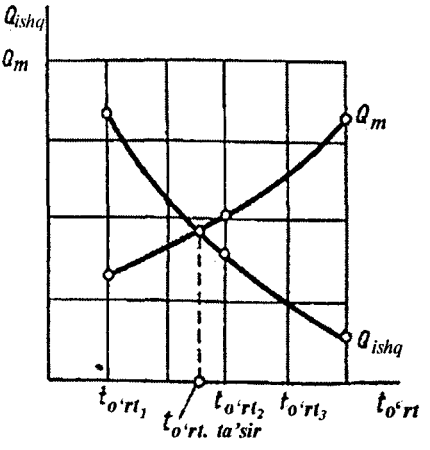
$$\bar{\omega} = \omega + \omega_L - 2\Omega, \qquad (10.21)$$

ω – valning burchak tezligi; ω_L – podshipnikning burchak tezligi (shatun podshipnik uchun $\omega_L = \dfrac{\lambda\omega\cos\varphi}{\sqrt{1-\lambda^2\sin^2\varphi}}$); Ω – yuklama vektorining aylanishini burchak tezligi: $\Omega = d\delta/dt$. (10.20) tizimdan va (10.21) ifodadan foydalanib quyidagini olamiz:

$$\begin{cases} \dfrac{d\chi}{dt} = \dfrac{P\psi^2}{ld\mu\Phi_{rad}}\left[\cos(\delta-\gamma) - \dfrac{\sin(\delta-\gamma)}{tg\beta}\right], \\ \dfrac{d\delta}{dt} = 0{,}5(\omega+\omega_L) - \dfrac{P\psi^2}{ld\mu\Phi_{gd}}\dfrac{\sin(\delta-\gamma)}{2\sin\beta}. \end{cases} \qquad (10.22)$$



10.6-rasm. **Motor moylari qovushqoqligining haroratga bog'liqlik grafigi.**



10.7-rasm. **Issiqlik balansining grafigi.**

Trayektoriyani hisobi χ va δ larning ketma-ket hisoblashga keltiriladi. Bunda trayektoriyaning boshlang'ich nuqtasi uchun χ_1 va δ_1 larning koordinatalari beriladi. χ_1 ning koordinatasi ixtiyoriy ravishda tanlanadi, δ_1 burchak esa γ_1 ga teng qilib qabul qilinadi. So'ngra tashqi yuklamaning qiymati va yo'nalishining o'zgarishiga mos holda A.D. Izotov tomonidan olingan ifoda bo'yicha $\Delta\chi$ va $\Delta\delta$ koordinatalarning nim o'sishi hisoblanadi [4]:

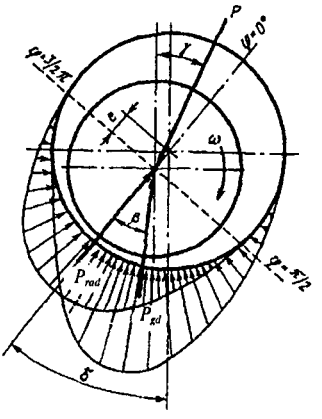
$$\begin{cases} \Delta\chi = \dfrac{\Phi_{gd}}{\Phi_{rad}}\left[\cos(\delta-\gamma) - \dfrac{\sqrt{1-\chi^2}}{0{,}75\pi(1-\chi)}\sin(\delta-\gamma)\right]\omega\Delta t, \\ \Delta\delta = \left[\dfrac{\omega+\omega_L}{2\omega} - \dfrac{\Phi_{gd}}{\Phi_{rad}}\dfrac{\sqrt{6{,}546-4{,}546\chi}}{1{,}5\pi\sqrt{1-\chi}}\sin(\delta-\gamma)\right]\omega\Delta t. \end{cases} \qquad (10.23)$$

10.9-rasmda misol sifatida avtomobil dvigatelining shatun bo'yini markazining tipik trayektoriyasi ko'rsatilgan.

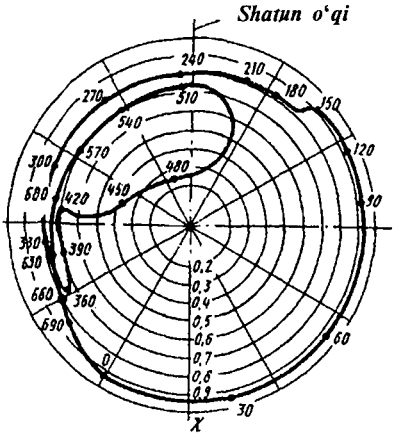
Trayektoriyaning hisobini bajarish uchun moy qatlamidagi moyning haqiqiy haroratini ham bilish kerakligini ko'rsatib o'tish lozim. Shuning uchun bu hisoblashdan oldin podshipnikning issiqlik hisobi bajarilishi kerak.

10.3. MOYLASH TIZIMLARINING SXEMALARI

Zamonaviy avtotraktor dvigatellaridagi ko'pchilik ishqalanish tutashmalariga moy faqat moy nasosi hosil qiladigan bosim ostida keltiradigan moy tizimlari ishlatiladi.



10.8-rasm. **Sapfa markazi trayektoriyasini hisoblashga.**



10.9-rasm. **Shatun bo'yin markazining trayektoriyasi.**

Moyning asosiy miqdorini joylashish o'rniga qarab moy tizimi nam karterli va quruq karterli tizimlarga bo'linadi. Tizimning birinchi turi benzinli dvigatellar va nisbatan katta quvvatga ega bo'lmagan dizellar uchun ishlatiladi. Ikkinchi turi esa g'ildirakli va o'rmalovchi og'ir mashinalarga o'rnatiladigan dizellarda ishlatiladi, bu yurish zaxirasini orttirishga imkon beradi va moyning ishlashiga qulay sharoit yaratadi.

Moylash tizimining me'yorida ishlashi uchun zarur bo'lgan moyning miqdori V_M quyidagini tashkil etadi (*l*):

$(0,04...0,09)\,N_e$	yengil avtomobillarning benzinda ishlaydigan dvigatellari
$(0,07...0,1)\,N_e$	yuk avtomobillarining benzinda ishlaydigan dvigatellari va yengil avtomobillarning dizellari
$(0,11...0,16)\,N_e$	yuk avtomobillarining dizellari

Avtotraktor dvigatellarida moy nasosining yuritilishi tirsakli yoki taqsimlovchi (benzinli dvigatellar) vallar orqali amalga oshiriladi.

Yetarlicha quvvatga ega bo'lgan dvigatellarning moylash tizimlarida elektr motor orqali yuritiladigan moy haydovchi nasoslar ishlatiladi. Bu nasos bilan, dvigatelni ishga tushirishdan oldin ishga tushishini oson bo'lishini va ishga tushganidan so'ng ishonchli ishlashini ta'minlash uchun ishqalanuvchi juftlarga moy haydaladi.

10.4. MOYLASH TIZIMINING AGREGATLARI. MOY NASOSLARI

Zamonaviy dvigatellarda tashqi (10.10-*a* rasm) va ichki ilashmali shesternali moy nasoslari ishlatiladi. Ikkinchi holatda ham evolventli (10.10-*b* rasm), ham episikloidalli (10.10-*d* rasm) ilashmalar ishlatilishi mumkin.

Shesternalarning o'lchamlari va demak, moy nasoslarining ish unumdorligi, moy qabul qiladigan issiqlik Q_M ni olib ketish uchun zarur bo'lgan aylanadigan moyni dvigatel orqali sarfidan kelib chiqqan holda aniqlash maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Aylanuvchi moyning sarfi (m^3/s)

$$V_s = \frac{Q_M}{C_M \rho_M \Delta t_M} . \qquad (10.24)$$

Moyga olib ketiladigan issiqlik (kJ/s),

$$Q_M = q_M g_e 10^{-3} N_{en} H_u \frac{1}{3600} , \qquad (10.25)$$

bunda: $q_M = Q_M / Q_{yo}$ – moylash tizimi orqali nisbiy issiqlik olib ketilishi; q_M =0,015...0,02 – uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar; q_M =0,02...0,025 – dizellar uchun; q_M =0,04...0,06 porsheni sovitiladigan dizellar qiymati.

Moylash tizimidan chiqadigan va unga kiradigan haroratlar orasidagi farq uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun Δt = 10...15°C ni va dizellar uchun esa Δt = 20...25°C ni tashkil etadi.

Nasosning haqiqiy uzatadiganini barcha aylanishlar chastotasida va dvigatel hamda nasosning ishqalanuvchi juftlarining yeyilishida magistralda zarur bo'lgan bosimni ta'minlash maqsadida aylanuvchi sarfidan ko'proq qilib beriladi (m^3/s):

$$V_h = (2,0...3,0)V_s .$$

Bunday holda V_h (m^3/s) quyidagilarga teng bo'ladi:

[illegible]·10^{-6}. – uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar qiymati;
(6,0...9,0)N_e·10^{-6} – dizellar qiymati;
(10...11)N_e·10^{-6} – porsheni sovitiladigan dizellar qiymati.

Quruq karterli tizimlarning tortib olish seksiyalarini uzatishi quyidagiga teng qilib qabul qilinadi (m^3/s)

$$V_{t.o}=(1,5-2,0)V_{hayd} ,$$

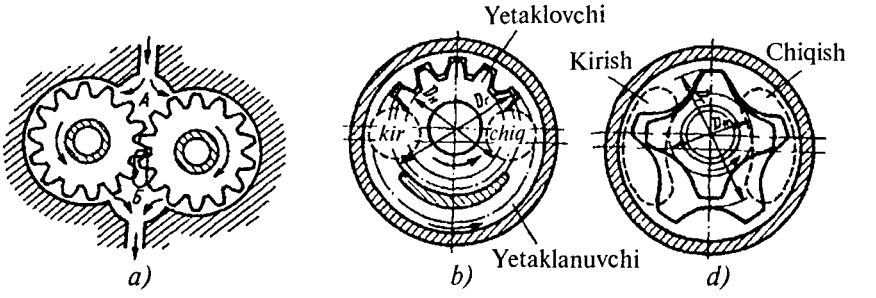
bunda: V_{hayd} – nasosning haydash seksiyasining uzatishi.

Shesternalarning o'lchamlari nasosning hajmiy uzatish koeffitsiyentini hisobga olgan holda quyidagi ifoda orqali aniqlanadi (m^3/s):

$$V_n = \frac{V_h}{\eta_n} = \pi D h b n_n \frac{1}{60} \cdot 10^{-9} , \qquad (10.26)$$

bunda: V_n – nasosning nazariy uzatishi, m^3/s; η_n – nasos uzatishining hajmiy koeffitsiyenti, shesternali nasoslar uchun η_n=0,6...0,85; D – yetaklovchi shesternaning boshlang'ich aylanasi diametri, mm; h – tishning balandligi, mm; b – tishning uzunligi, mm; n_n – yetaklovchi shesternaning aylanishlar chastotasi, min^{-1}.

Moy nasosining haydovchi seksiyasini yuritish uchun zarur bo'lgan quvvat quyidagi ifoda orqali aniqlanadi (kVt):



10.10-rasm. **Tashqi – *a* va ichki (evolventli – *b*, episikloidalli – *d*) ilashmali moy nasoslari.**

$$N_h = \frac{V_T(P_{chiq} - P_{kir})}{\eta_M} 10^3 \quad , \qquad (10.27)$$

bunda: $P_{chiq} - P_{kir} = 0{,}3...0{,}6$ – bosimlar farqi, MPa, $\eta_M = 0{,}85...0{,}9$ – nasosning mexanik FIK.

Moy tozalagichlari. Dvigatelning ishonchli ishlashini ta'minlash uchun, avvalambor, ishqalanuvchi tutashmalarning abraziv zarrachalardan himoyalanishi ta'minlanishi kerak. Bu vazifani moy tozalagichlar (filtrlar) bajaradi. Birinchi turga tirqish yoki tozalovchi sathlarning kanallari orqali moyning o'tishida zarrachalarni ushlab qoladigan tuzilma, ikkinchisiga esa kuch maydonlari yordamida zarrachalarni ushlab qoladigan tozalagichlar kiradi.

Zamonaviy dvigatellarning moylash tizimlarida *dag'al* va *mayin filtrlar* ishlatiladi.

Dag'al filtrlar 50...120 mkm dan katta, mayin filtrlar esa 50...40 mkm kattalikkacha bo'lgan zarrachalarni ushlab qoladi. Dag'al filtrlarning tozalovchi elementlari to'rli, plastina-tirqishli va tasma-tirqishli qilib bajariladi. Mayin tozalash uchun qog'ozli, gazlamali, kartonli, paxta qog'oz to'qimali va boshqa elementlar ishlatiladi.

Filtrlar ichida sentrifugalar keng tarqalgan, ularda ifloslangan moyning aylanishi keltirib chiqaradigan markazdan qochma kuchlar ta'sirida zarrachalar olib tashlanadi.

Hozirgi paytda filtrlash elementi qog'ozli to'liq oqimli filtrdan va qisman oqimli sentrifugadan tashkil topgan kombinirlangan moy tozalash tizimini qo'llash filtrlash sifatini oshirishni, moyni ishlash muddatini va xizmat qilish davriyligini oshirishni samaraliroq usuli bo'lib hisoblanadi. To'liq oqimli filtrning konstruktiv bajarilishini misoli sifatida 10.11-rasmda YAMZ–840 dvigatelining filtri keltirilgan.

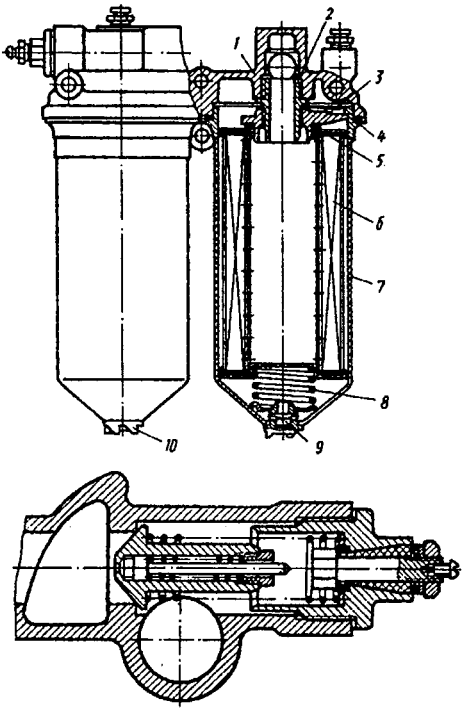
Yuqorida ko'rsatib o'tilganidek, tozalagich sifatida *sentrifugalar* ishlatiladi. Rossiya dvigatelsozligida, tozalanadigan moy oqimi energiyasining rotorni aylantirish uchun foydalaniladigan tashqi gidravlik reaktiv soplo yuritmali sentrifugalar va ichki faol-reaktiv yuritmali soplosiz sentrifugalar ishlatiladi. Bunday tozalagichlarga YAMZ-840 dvigatelining sentrifugasini konstruksiyasi

misol bo'lib hisoblanadi (10.12-rasm). Bunday sentrifugalar ixcham va ishlatishda ishonchli. Dvigatelning ishlashini nominal rejimida rotorning aylanishlar chastotasi 6000 min^{-1} ni tashkil etadi, bu moyning yuqori darajada tozalanishini ta'minlash uchun yetarli deb hisoblanadi.

Moy radiatorlari. Dvigateldan moy bilan olib ketiladigan issiqlik atrof-muhitga sochilishi kerak. Bu maqsad uchun yuk va ko'pchilik yengil avtomobillar dvigatellarini barcha moy tizimlari maxsus issiqlik almashgichlar – moy radiatorlari bilan butlanadi. Avtotraktor dvigatellarida radiatorlarning ikki xili ishlatiladi: *suv-moyli* va *havo-moyli*.

Havo-moyli radiatorlarning asosiy afzalliklari bo'lib, quyidagilar hisoblanadi:

- massasining kamligi;
- tuzilishi nisbatan sodda va ishonchli;
- katta harorat bosimini olish imkoni. Sovuq moyning o'tkazib yuborish uchun maxsus o'tkazib yuboruvchi klapanni ishlatish zarurati ularning *kamchiligi* hisoblanadi. Klapanning prujinasi 0,15...0,2 MPa ga teng bo'lgan bosimlar farqiga rostlanadi. Moyning qizishi bilan uning qovushqoqligi kamayadi, bu radiatorda gidravlik yo'qotishlarni kamaytiradi va klapan avtomatik bekiladi.



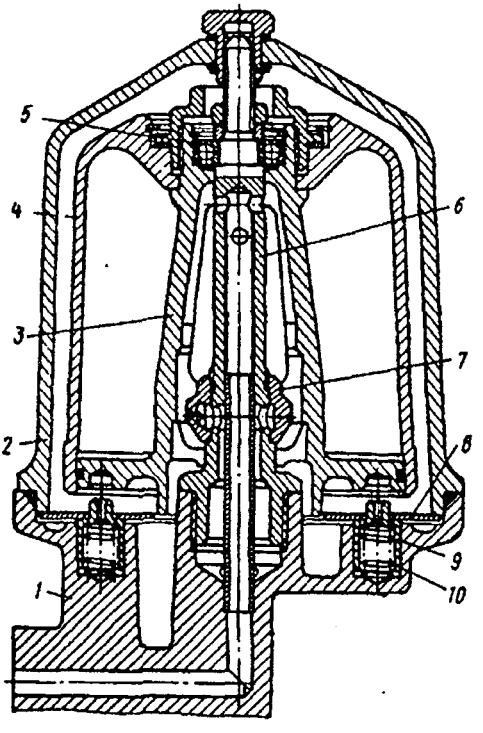
10.11-rasm. **YAMZ–840 dvigatelining to'liq oqimli moy tozalash filtri:**
1–korpus; 2–rezbali shtutser; 3–qulfli qopqoq; 4–qalpoq qistirmasi; 5–elementning zichlagichi; 6–filtrlovchi element; 7–qalpoq; 8–prujina; 9–to'kish tiqini; 10–xrapovik.

Suv-moy radiatorining asosiy afzalligi dvigatel ishga tushgandan so'ng moyning tez qizishi va uning haroratini eng maqbuliga yaqin qilib ushlab turishi hisoblanadi.

Radiatorning moylash tizimiga ulash quyidagi sxemalarning biri bo'yicha amalga oshiriladi:

- bosh magistralga ketma-ket;
- nasosning asosiy seksiyasi (bo'linmasi) dan uzatish bilan asosiy magistralga parallel;
- nasosning qo'shimcha seksiyasidan uzatish bilan asosiy magistralga parallel.

Ko'proq tarqalgani oxirgi sxema, chunki bunday holatda moy radiatori asosiy magistraldagi bosimni pasaytirmaydi va radiatorga tushadigan moyning miqdori dvigatel va nasosning yeyilishiga bog'liq bo'lmaydi.



10.12-rasm. **YAMZ–840 dvigateli sentrifugasining konstruksiyasi:**
1–korpus; 2–qalpoq; 3–rotor korpusi; 4–rotor qalpog'i; 5–zoldirli podshipnik; 6–rotor o'qi; 7–forsunka; 8–plastinka; 9–to'xtatgich barmoq; 10–prujina.

Moy radiatorining hisobi asosan suyuqlik radiatorini hisoblash tartibi kabi amalga oshiriladi.

Hisoblashning o'ziga xosligini ko'rib chiqamiz. Dvigateldan moy orqali olib ketiladigan issiqlik miqdori

$$Q_M = C_M \rho_M V_{rad}(t_{chiq} - t_{kir}),$$

(kJ/s), radiator orqali olib ketiladigan issiqlikka teng bo'lishi kerak:

$$Q_M = C_M \rho_M V_{rad}(t_{r.kir} - t_{r.chiq}),$$

bunda: t_{kir} va t_{chiq} – dvigatelga kirayotgan va undan chiqayotgan moyning harorati, °C, $t_{r.kir}$ va $t_{r.chiq}$ – radiatorga kirayotgan va undan chiqayotgan moyning harorati, °C, V_{rad} – radiator orqali moyning aylanadigan sarfi, m^3/s, V_s – silindr orqali moyning aylanadigan sarfi, m^3/s.

Quruq karterli moylash tizimlarida va radiatorni ketma-ket ulanishida $V_s = V_{rad}$ bo'ladi.

Havo-moy radiatorining Q_M issiqlikni olib ketadigan sovitish sathi (m^3) quyidagicha aniqlanadi:

$$F_{rad} = \frac{Q_M}{K_M(\bar{t}_{rM} - \bar{t}_{rh})}, \qquad (10.28)$$

bunda: K_M – moydan havoga issiqlik uzatish koeffitsiyenti, $kVt/(m^2 \cdot K)$; $(\bar{t}_{rM} - \bar{t}_{rh})$ – radiatordagi moyni va radiator orqali o'tgan havoning o'rtacha haroratlarining farqi, °C.

Radiatorda moyning haroratlari farqi, odatda, dvigateldagi moy haroratlarining farqiga teng deb qabul qilinadi: $\Delta t_r = \Delta t_M$.

Shunday qilib, radiatorning sovitish sathini hisoblash uchun olib ketiladigan issiqlik miqdori Q_M, sovitadigan havoning harorati va moyning zarur bo'lgan o'rtacha harorati berilishi kerak.

Hisoblashda atrof-muhit harorati +45°C ga teng deb qabul qilinadi.

Moydan havoga issiqlik uzatishning yig'indi koeffitsiyenti quyidagiga teng [kVt/(m^2.K)]

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_M}\frac{F_h}{F_M} + \frac{\delta}{\lambda}\frac{F_h}{F_M} + \frac{1}{\alpha_h}}, \qquad (10.29)$$

bunda: α_M–moydan naychalar devoriga issiqlik berish koeffitsiyenti, kVt/(m^2.K); α_h – naychalar devoridan havoga issiqlik berish koeffitsiyenti, kVt/(m^2.K); F_h va F_M–havo va moy bo'yicha sovitish sathlari; $\varphi = F_h/F_M$– radiatorning qovurg'alash koeffitsiyenti; $\varphi = 2{,}5...3{,}5$ – naycha – plastinali moy radiatorlari uchun; δ – radiator naychalarini qalinligi, *m*; λ–issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti, kJ/(m·s·K).

$\frac{\delta}{\lambda}\frac{F_h}{F_M}$ qo'shiluvchining qiymati kam bo'lganligi tufayli hisobga olmaymiz va quyidagini olamiz:

$$K_M = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_M}\frac{F_h}{F_M} + \frac{1}{\alpha_h}}, \qquad (10.30)$$

Tajriba ma'lumotlari bo'yicha α_M ni α_h dan 1,5...3 martaga ko'pligi ma'lum. Shuning uchun $K_M=(0{,}35...0{,}55)\alpha_h$, suv radiatori uchun issiqlik uzatish koeffitsiyenti $K \cong \alpha_h$ bo'lishini hisobga olib, taxminiy hisoblashlarda suv va moy radiatorlarining konstruksiyalari va radiatorlar fronti (ko'lami) oldidagi havoning massali tezligi bir xil bo'lganda $K_M=(0{,}35...0{,}55)K$ deb qabul qilish mumkin.

K larning qiymati va ularning $W_h\rho_h$ ga bog'liqligi 11-bobda keltirilgan.

To'g'ri tekis naychali suv-moy radiatorlari uchun moyning tezligi 0,1...0,5 m/s bo'lganda $K_M = 120...320$ Vt/(m^2 · K), naychalarida maxsus girdoblantirgichi bo'lgan radiatorlar uchun esa $K_M = 800...1000$ Vt/(m^2 · K) deb qabul qilish mumkin.

Mavjud dvigatellarning radiatorlarini solishtirma sathlari quyidagi oraliqda yotadi (m^2 / kVt):

havo-moyli $F_{sol} = (3...6{,}5)\cdot 10^{-2}$,

suv-moyli $F_{sol} = (0{,}2...1{,}1)\cdot 10^{-2}$ (moy bo'yicha),

$F_{sol} = (0{,}13...0{,}34)\cdot 10^{-2}$ (suv bo'yicha).

XI BOB
SOVITISH TIZIMI

Sovitish tizimi, qizigan gazlar yuvib o'tadigan dvigatel detallaridan issiqlikni majburan olib ketish, ularning issiqlik holatini eng maqbuli va barqarorligini ta'minlash vazifasini bajaradi.

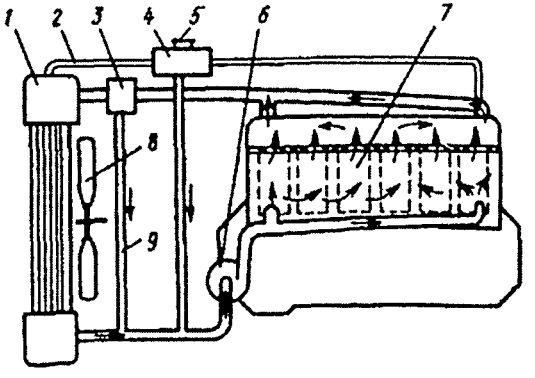
Dvigatel elementlaridan issiqlikning olib ketilishini amalga oshiradigan issiqlik tashuvchini turi bo'yicha sovitish tizimi suyuqlik va havo bilan sovitiladiganlarga ajratiladi.

11.1. SUYUQLIKLI SOVITISH TIZIMI

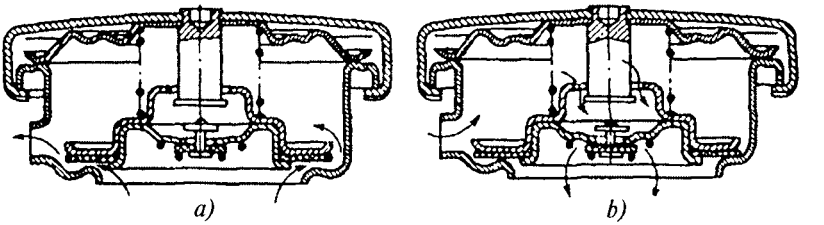
Zamonaviy avtotraktor dvigatellarida sovitish agentining majburiy aylantiradigan yopiq turidagi suyuqlik bilan sovitiladigan tizim ishlatiladi. Yopiq turidagi majburiy sovitish tizimi quyidagi asosiy elementlar: (11.1-rasm) radiatordan, suyuqlik nasosidan, termostatlardan, ventilatordan, kengaytirgich bakidan, quvurlardan va silindrlar blokini sovitish g'ilofidan tashkil topgan.

Isigan suyuqlik sovitish g'ilofidan termostat *3* orqali radiatorga yoki aylanib o'tuvchi asosiy yo'l *9* ga (termostat klapanining holatiga bog'liq holda) o'tadi va nasos *6* ga keladi, u suyuqlikni silindrlar blokining g'ilofi *7* ga haydaydi.

Kengayish bakining tiqini (11.2-rasm) kiritish (havo) va chiqarish (bug') klapanlariga ega. Bug' klapani suyuqlik bug'ining ortiqcha bosim 0,045...0,05 MPa ga rostlaydi. Shunday qilib bug' klapanini ochilish bosimidan kam bo'lgan bosimda tizim atmosferadan izolatsiyalangan («yopiq»). Tizimda bosim taxminan 0,01 MPa ga pasayishida havo klapani ochiladi.



11.1-rasm. **Suyuqlik bilan sovitiladigan tizimning prinsipial sxemasi:**
1 – radiator; *2* – bug'-havo naychasi; *3* – termostat; *4* – kengayish baki; *5* – kengayish bakining tiqini; *6* – nasos; *7* – silindrlar blokining g'ilofi; *8* – ventilator; *9* – aylanib o'tuvchi naycha.

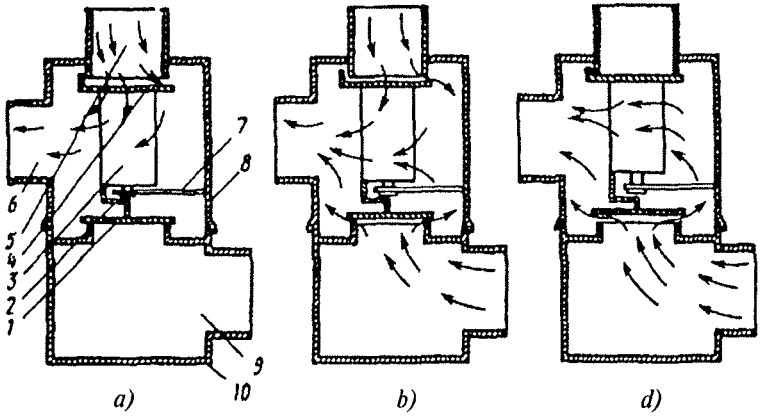


11.2-rasm. **Klapan ochiq bo'lgan paytida kengayish bakining qopqog'i:** a–chiqarish; b–kiritish.

Suyuqlik bilan sovitish tizimida kengayish baki kengaytirgich, kondensator, sovitish g'ilofidagi suyuqlik sathini stabillagichi va deaerator (sovitish suyuqligidan havo, gazlar va bug'ni ajratgich) vazifasini bajaradi. Bakning umumiy hajmi sovitish tizimining sig'imini 10...25% ga ega bo'lganida bug'-havo bo'shlig'ining hajmi, odatda, 5...7% ni tashkil etadi. Sovitish tizimining solishtirma hajmi yengil avtomobillar uchun 0,18...0,24 *l*/kVt ni, yuk avtomobillari uchun esa 0,25...0,34 *l*/kVt ni tashkil etadi.

Sovitish suyuqligining haroratini rostlash radiatorning issiq va sovuq konturida aylanadigan sovitish agentlarini massali sarfini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi.

Birinchi rostlash tizimi aylanadigan konturga ulangan va suyuqlikning radiator orqali sarfini rostlaydigan avtomatik ta'sir qiluvchi termostatdan tashkil topgan. Termostat klapanini ochilish darajasiga bog'liq holda sovitish uchun radiatorga keladigan va aylanib o'tuvchi quvur orqali dvigatelga radiatorni chetlab qaytib keladigan sovitish suyuqligi oqimlarining nisbati o'zgaradi (11.3-rasm).



11.3-rasm. **Termostatning ishlash sxemasi:**

a – sovuq dvigatelda; *b* – dvigatel to'liq isimaganda; *d* – dvigatel to'liq isiganda; *1*–radiator orqali suyuqlikni o'tkazib yuboruvchi klapan; *2* – shtok; *3* – issiqlikka sezgir element korpusi; *4* – blok kallagidan suyuqlikni chiqaruvchi klapan; *5* – blok kallagidan suyuqlikni uzatuvchi patrubok; *6* – suyuqlik nasosiga suyuqlikni uzatuvchi patrubok; *7* – kronshteyn; *8* – termostat korpusi; *9* – radiatordan suyuqlikni olib ketish uchun patrubok; *10* – termostat qopqog'i.

Ikkinchi tizim radiator orqali o'tadigan sovitish havosining miqdorini o'zgartirish hisobiga dvigatelning issiqlik holatini rostlash bilan bog'liq. Bu holatda rostlash yoki havo traktining aerodinamik qarshiligini bevosita o'zgartirish bilan yoki ventilatorning ish unumdorligini o'zgartirish hisobiga amalga oshiriladi.

Havoning sarfini rostlashni eng maqbul va samarali usuli bo'lib, ventilatorning ish unumdorligini o'zgartirish hisoblanadi. Ventilatorni tirsakli valdan yuritishda ventilatorning yetaklanuvchi elementlarini yetaklovchi elementlariga nisbatan sirpanishini rostlaydigan gidravlik yoki elektr magnit muftalar ishlatiladi. Zamonaviy avtomobillarda ventilatorning avtonom elektrik yuritmali uning ish unumdorligini pozitsionli rostlaydigan tizimlari keng qo'llanilmoqda.

11.2. RADIATORLARNING KONSTRUKSIYALARI

Radiatorning konstruksiyasini baholash uchun ko'rsatkichlarning uchta guruhi ishlatiladi:

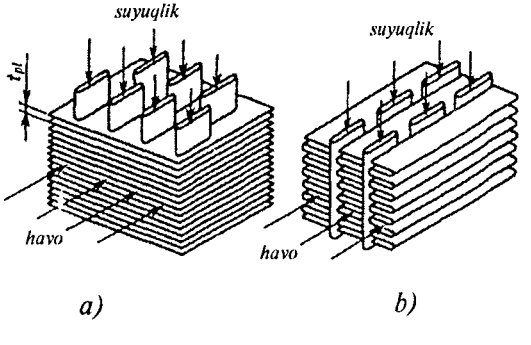
1) radiatorning o'zagi bo'yicha umumiy ma'lumot: frontal sathi $F_{fr}=HB$ (H – balandligi, B – eni), chuqurligi ℓ va sovitish sathining umumiy yuzasi F_{sov};

2) sovitish sathi elementlarining geometrik o'lchamlari: suyuqlik kanallarining o'lchami va shakli, ularning joylashishi, radiatorning fronti va qalinligi bo'yicha qadami, qovurg'alash plastinalarining shakli va qadami, kanallari devorlarining qalinligi va boshqalar;

3) baholovchi parametrlar yoki koeffitsiyentlar, ularning har biri u yoki bu sifatini yoki radiatorning konstruksiyasini joylashishini o'ziga xosligini xususiyatlaydi:

- sovitish sathining ixchamligi hajmiy ixchamlik koeffitsiyenti bilan baholanadi $\varphi=F_{sov}/V_{sov}$, m^2/m^3, bunda: V_{sov}–radiatorning geometrik hajmi;
- *qovurg'alash koeffitsiyenti* bilan aniqlanadigan sovitish sathining konstruktiv tuzilishi, ya'ni sovitish havosi bilan yuvib o'tiladigan sovitish sathining suyuqlik bilan yuvib o'tadigan sathiga bo'lgan nisbati:

$$\xi_{qov} = F_{sov} / F_{suyuq}.$$

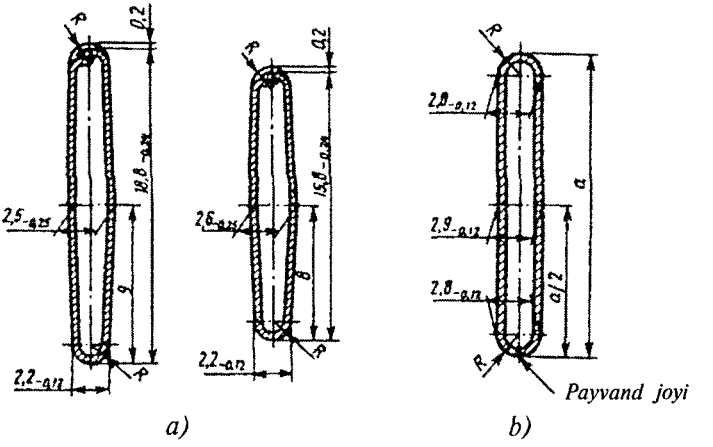


11.4-rasm. **Radiator sovitish panjarasining o'zagi:** *a*–naycha-plastinali; b–naycha-tasmali.

Hozirgi paytda avtomobillar va traktorlar dvigatellari uchun naycha-plastinali va naycha-tasmali radiatorlarning konstruksiyalari keng qo'llaniladi (11.4-rasm).

Naycha–plastinali radiatorlarning sovitish panjaralarini tayyorlashda qalinligi 0,15 mm gacha bo'lgan Л–68 yoki Л–90 latun tasmalaridan tayyorlangan naychalar (chokli yoki yaxlit

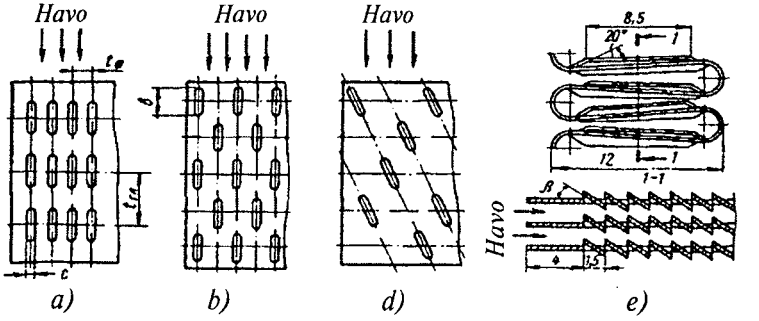
tortilgan) ishlatiladi (11.5-rasm). Qovurg'alash plastinalari yassi yoki to'lqinsimon qilib tayyorlanadi. Sovitishning jadallashtirish uchun ularda maxsus uyurmalashtirgichlar tayyorlangan bo'lishi mumkin. Naycha-tasmali konstruksiyalarda tasmalar 0,05...0,1 mm qalinlikdagi M–3 rusumli misdan tayyorlanadi.



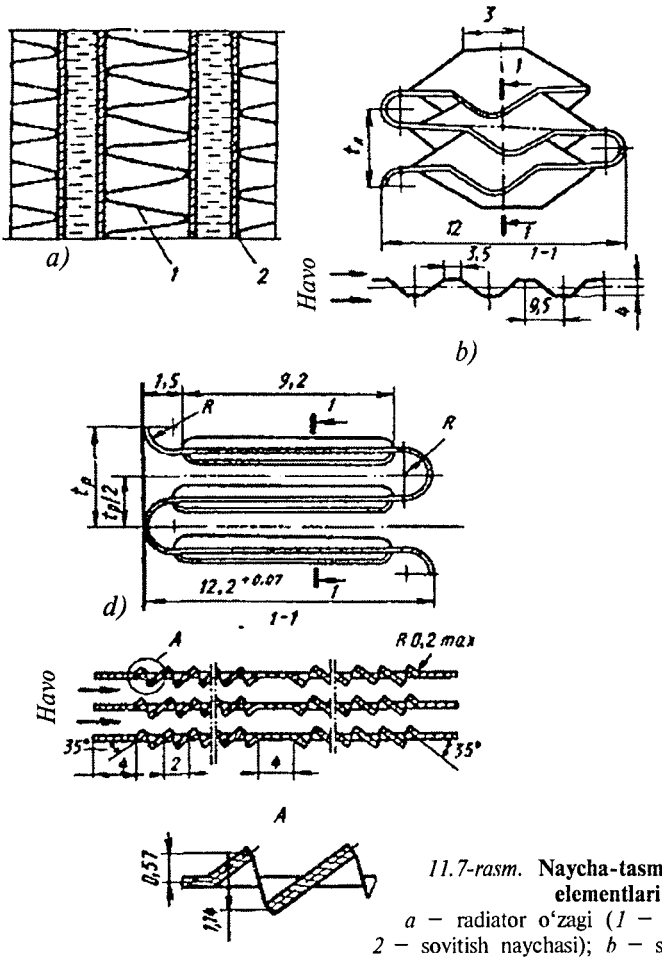
11.5-rasm. **Radiator naychalari:**
a–kavsharlangan misli; *b*–payvandlangan aluminiy qotishmali.

Naycha-plastinali radiatorlarda sovitish naychalari sovitish havosining oqimiga nisbatan bir qator, shaxmatsimon tartibda va burchakli shaxmatsimon tartibda joylashtirilishi mumkin (11.6-rasm).

Ularning konstruksiyasida yassi plastinalar yoki teshib o'tilgan egikli (uyurmalashtirgichli) plastinalar keng qo'llaniladi, ular sovitish havosi oqimiga burchak ostida joylashgan tor va qisqa havo kanallarini hosil qiladi. Naycha-plastinali radiatorlarning ixchamlilik koeffitsiyenti o'zagining konstruksiyasiga bog'liq holda 440...850m^2/m^3 ga, qovurg'alash koeffitsiyenti esa $\zeta_{qov} = 2,5...5,4$ ga teng.



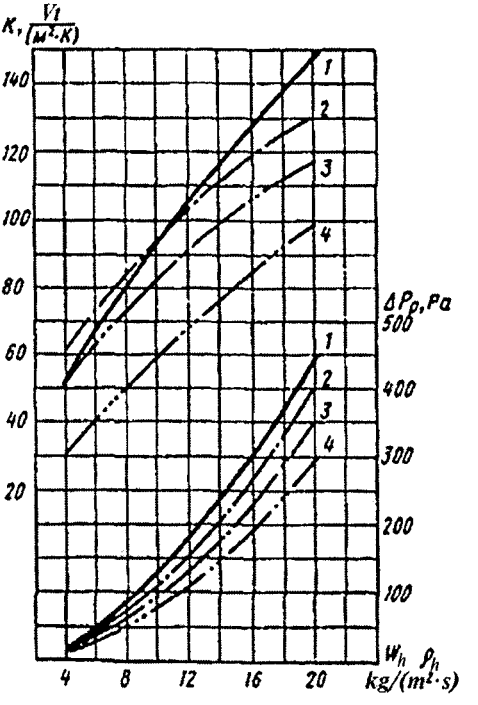
11.6-rasm. **Naycha-plastinali radiatorlarning sovitish panjaralari elementlari:**
a–naychalarning qator joylashishi; *b*–shaxmatsimon joylashishi; *d*–shaxmatsimon, havo oqimiga burchak ostida joylashgan; *e*–sovitish plastinasi teshib o'tilgan egikli.



11.7-rasm. **Naycha-tasmali radiatorlarning elementlari:**
a – radiator o'zagi (*1* – sovitish tasmasi, *2* – sovitish naychasi); *b* – sovitish mis tasmasi; *d* – aluminiy qotishmali sovitish tasmasi.

Naycha-tasmali radiatorlarda (11.7-rasm) sovitish naychalari o'zining konstruksiyasi bo'yicha naycha-plastinali radiatorlarda qo'llaniladigan naychalardan farq qilmaydi, lekin ular faqat qator qilib joylashtiriladi. Havo oqimining uyurmalanishini oshirish uchun tasmalarda yoki shaklli shtamplash yoki teshib o'tgan egik bajariladi. Naycha-tasmali radiatorlar yuqori bo'lgan ixchamlik koeffitsiyenti $\varphi = 1100...1400$ m^2/m^3 va qovurg'alash koeffitsiyenti $\zeta_{qov} = 5...11,5$ ga ega.

Koeffitsiyent K ning qiymati va turli radiatorlarning havo traktini gidravlik yo'qotilishini qiymati Δp_r ning o'zgarishini 11.8-rasmda ko'rsatilgan havoning massali tezligi $\rho_h w_h$ ga bog'liq bo'lgan egri chiziqlari bo'yicha taxminan baholash mumkin.



11.8-rasm. **Havoning massali tezligiga bog'liq holda issiqlik uzatish koeffitsiyenti *K* va radiatorlarning aerodinamik qarshiligi P_r:**
1 – havo oqimiga burchak ostida shaxmatsimon joylashgan naychalar; *2* – naychalarning shaxmatsimon joylashishi; *3* – naychalarning qator joylashishi; *4* – naycha-tasmali radiatorlar.

11.3. RADIATORLARNING ISSIQLIK VA AERODINAMIK TAVSIFLARI

Radiatorning asosiy issiqlik tavsifi bo'lib, turli issiqlik almashgichlar kabi issiqlik *uzatish koeffitsiyenti K* hisoblanadi ($Vt/m^2 \cdot K$), u radiatorning sovitish panjarasi konstruksiyasiga va, shuningdek, issiqlik tashuvchining suyuqlik va havo traktlarida harakatlanish tezligiga bog'liq:

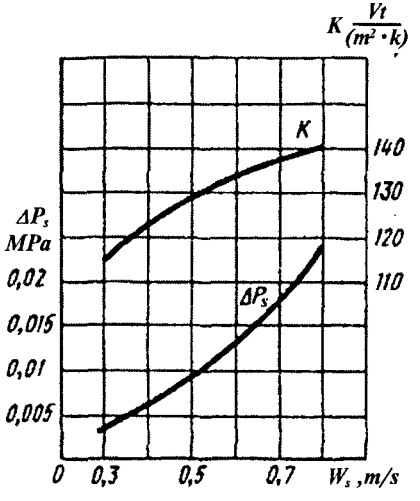
$$K = \frac{1}{\zeta_{qov}\left(\frac{1}{\alpha_s} + \frac{\delta}{\lambda}\right) + \frac{1}{\alpha_h}} . \qquad (11.1)$$

Radiatorning naychalarida sovitish suyuqligining harakat tezligini ko'tarilishi bilan bir vaqtning o'zida tizimda gidravlik yo'qotishlar Δp_s ning oshishida issiqlik uzatish koeffitsiyenti ham ortadi (11.9-rasm).

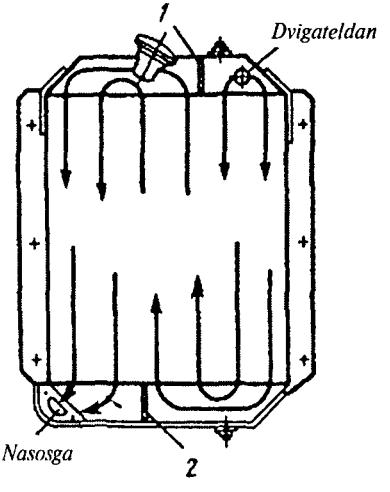
Sovitish tizimining hajmiga bog'liq holda suyuqlik radiator orqali minutiga 10 dan 20 martagacha o'rtacha tezligi w_s=0,4...0,7 m/s da haydalishi mumkin. Uning aylanishidagi sarfi 90...150 *l*/(kVt·soat) ni tashkil etadi.

Suyuqlik bilan sovitiladigan tizimlar konstruksiyalarida *bir yo'lli* va *ko'p yo'lli* radiatorlar ishlatiladi (11.10-rasm).

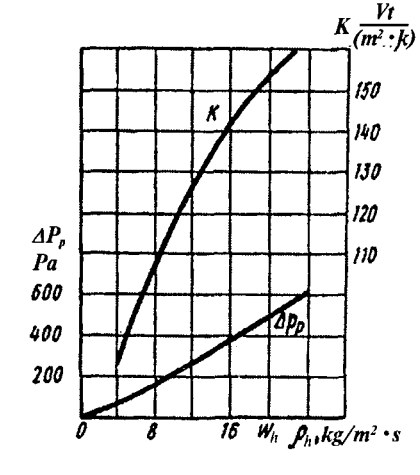
Radiatorlar ning sovitish sathlarining kattaligi F_{sov} yuk avtomobillari uchun 0,2...0,4m²/kVt ni, yengil avtomobillar uchun esa 0,14...0,2 m²/kVt ni tashkil etadi. Avtomobil radiatorlarining chuqurligi / 60...130 mm ni, traktorlar uchun esa 80...135 mm ni tashkil etadi. Sovitish panjaralarining frontal sathining yuzasi barcha turdagi radiatorlar uchun F_{fr}=0,2...0,6m² oralig'ida bo'ladi.



11.9-rasm. **Sovitish suyuqligi tezligi radiatorning K va ΔP_s lar qiymatlariga ta'siri.**



11.10-rasm. **Uch yo'lli radiatorlarda sovitish suyuqligining harakatlanish sxemasi:** *1* va *2*—radiatorning mos holda yuqori va quyi baklaridagi to'siqlari.



11.11-rasm. **Sovitish havosi tezligining radiatorning K va Δp_p kattaliklariga ta'siri.**

Avtomobillar radiatori frontini oldidagi ventilator hosil qiladigan havoning tezligi w_h=6...18 m/s ga teng, avtomobilning harakatlanishida uning tezligiga bog'liq holda 3...5 m/s ga ortadi.

Traktor radiatorining fronti oldidagi havo tezligini hisoblangan qiymati harakatlanish tezligini hisobga olmasdan qabul qilinadi.

Sovitish suyuqligining tezligi $w_h = w'_h + w''_h$ ni o'sishi bilan issiqlik uzatish koeffitsiyenti K ortadi, lekin bir vaqtning o'zida radiatordagi aerodinamik yo'qotish Δp_p ham ortadi (11.11-rasm). Bunga bog'liq holda havo traktini loyihalashda radiator fronti oldidagi havoning massaviy tezligini o'zgartirish imkoni cheklangan va

avtotraktorlarning IYOD lari uchun $p_h w_h$=12...16 kg/(m² · s) ni tashkil etadi.

Havo tarmog'ining aerodinamik yo'qotishi Δp_t (Pa) quyidagi ifoda bilan ko'rsatilishi mumkin:

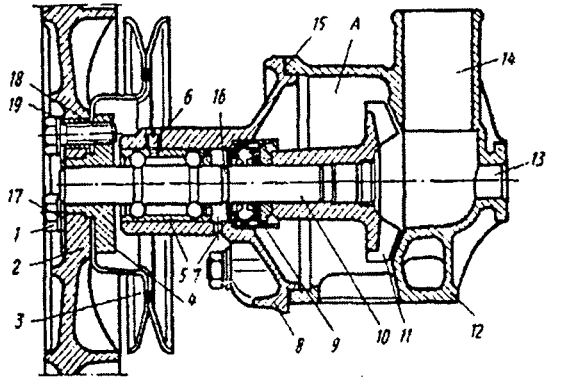
$$\Delta p_t = \Delta p_p + \Delta p_T; \text{ yoki } \xi_t \frac{p_h w_h^2}{2} = \xi_p \frac{p_h w_h^2}{2} + \xi_T \frac{p_h w_h^2}{2}, , \quad (11.2)$$

bunda: Δp_t va ξ_t, Δp_p va ξ_p, Δp_T va ξ_T – mos holda barcha havo tarmog'ining radiator va havo traktini aerodinamik yo'qotish hamda aerodinamik qarshilik koeffitsiyenti. Avtotraktor dvigatellarining ko'proq tarqalgan havo trakti variantlarida nisbat $\xi_p / \xi_t = 0,45...0,50$ oralig'ida yotadi. Shuning uchun $\Delta p_t \approx 2\Delta p_p$ deb qabul qilish mumkin.

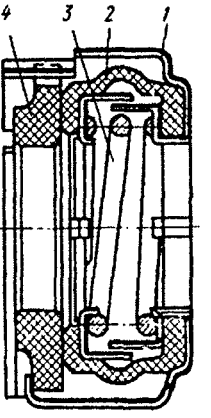
11.4. SUYUQLIK NASOSLARI

Nasosning asosiy tavsiflari bo'lib, uning uzatishi V_s, bosimi H, iste'mol qiladigan quvvati N_n va gidravlik FIK η_g hisoblanadi. *Bir g'ildirakli markazdan qochma* nasoslar keng tarqalgan (11.12-rasm). Avtotraktor turidagi dvigatellarda 4...8 ta spiralsimon yoki radial kuraklarga ega bo'lgan *yarim ochiq parraklar* ishlatiladi.

V simon dvigatellarda ba'zan blok bo'yicha sovitish suyuqligi oqimining bir tekis taqsimlanishini olish uchun nasosning chig'anog'idan ikki olib ketuvchi (tarmoq) nazarda tutiladi.



11.12-rasm. **Dvigatelning suyuqlik nasosi:**
1 – bolt; *2* – ventilator; *3* – shkiv; *4* – ventilator gupchagi; *5* – ikki qatorli zoldirli podshipnik; *6* – to'xtatadigan vint; *7* – nazorat teshigi; *8* – qopqoq; *9* – zichlagich; *10* – val; *11* – parrak; *12* – korpus; *13* – isitkich shlangasini qabul qiluvchi teshik; *14* – qabul qiluvchi patrubok; *15* – qistirma, *16* – ariqcha; *17* – halqa; *18* – distansion vtulka; *19* – prujinasimon shayba; *A* – nasos bo'shlig'i.



11.13-rasm. **Suyuqlik nasosining zichlagichi.**

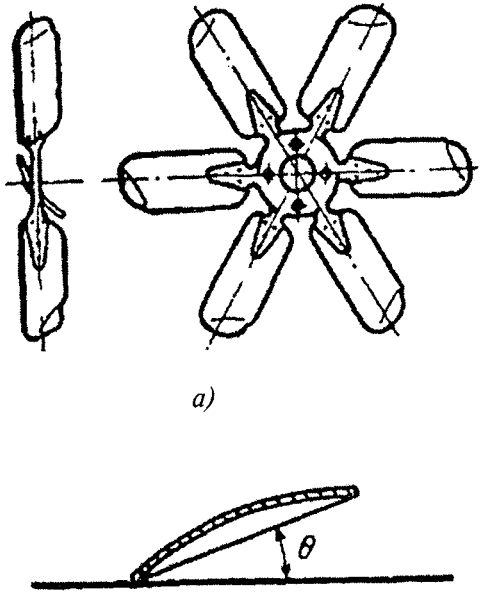
Spiralsimon kurakli nasosning sodir qiladigan bosimi 0,05...0,20 MPa ga teng; yuritish uchun sarflanadigan quvvat dvigatel nominal quvvatining 0,5...1% ini tashkil etadi; nasosning gidravlik FIK 0,6...0,7 oralig'ida yotadi. Radial kuraklar ishlatilgan holatda bosimi H, quvvati N_n ortadi va gidravlik FIK kamayadi. Turli konstruksiyali nasoslar uchun mexanik FIK η_M=0,8...0,9, hajmiy FIK esa η_0=0,8...0,9 oralig'ida yotadi.

Nasosning parraklarini yuritish trapetsiyasimon tasmalar yoki metall-keramik kompozitsiyali shkivlar orqali 1...1,5 uzatma soni bilan tirsakli valdan amalga oshiriladi.

Podshipniklarning jipslovchi zichlagich korpus *1* dan, zichlovchi rezina manjet *2* dan, qisuvchi prujina *3* dan va grafitli halqa *4* dan tashkil topgan (11.13-rasm). Zichlagichning qo'zg'almas grafitli halqasi, rezinali manjetga o'rnatilgan prujinaning kuchi bilan parrakning aylanadigan yon yuzasiga doimo qisib turiladi.

11.5. VENTILATORLAR

Bir bosqichli parraklarining soni to'rttadan sakkiztagacha va diametri D=300...670 mm bo'lgan *o'q chiziq yo'nalishidagi ventilatorlar* ko'proq tarqalgan. Ventilatorni tanlash, uning tavsiflarini (bosimi va uzatishi) havo tarmog'i tavsifi Δp_t bilan muvofiqlashtirib amalga oshiriladi. Δp_t (600...800 Pa) ning nisbatan yuqori qiymatlarida o'q chiziq yo'nalishidagi ventilatorlarning ishchi g'ildiraklari yo'naltiruvchi g'ilofga o'rnatiladi. G'ilof mavjud bo'lganda ventilatordan radiatorgacha bo'lgan masofa 80...100 mm gacha bo'lishi, u mavjud bo'lmaganda 10...15 mm dan ortmasligi kerak. Ventilatorning aylanma tezligi 80...125 m/s ga erishadi.



11.14-rasm. **O'q chiziq yo'nalishidagi parchin mixli ventilator:** *a* – konstruksiyasi, *b* – aylanish tekisligiga nisbatan ventilator parraklarini o'rnatish.

O'q chiziq yo'nalishidagi ventilatorlar parchin *mixli* va (11.14-rasm) yoki *quyma* shaklida bajarilishi mumkin. Parchin mixli ventilatorlarning parraklari 1,25...1,80 mm qalinlikdagi po'lat varaqdan shtamplanadi, profillanadi va aylanish tekisligiga birmuncha burchak ostida parchin mix

bilan mahkamlanadi. Yassi parraklarning yo'nalish burchagining eng maqbuli 40...45°, qavariqligi uchun esa 35...40° atrofida bo'ladi. Shtamplangan parrakli ventilatorlar 500...700 Pa atrofida bosim hosil qiladi va FIK yuqori bo'lmagan 0,2...0,4 qiymatga ega bo'ladi. Quyilgan ventilatorlar sintetik ashyolardan profillangan (buralgan) parraklari bilan bajariladi. Parraklarning buralish burchagi asosidan uchigacha 95° dan 30° gacha o'zgaradi. Shovqinni kamaytirish maqsadida parraklar gupchakka o'zgaruvchan qadam bilan joylashtiriladi; bunday ventilatorlarning FIK 0,55...0,65 gacha erishishi mumkin.

Parraklar kengligining o'rtachasi 30...70 mm ga teng. Ayrim hollarda u 80...100 mm gacha yetishi mumkin (katta yukli avtomobil dvigatellari uchun).

Ko'p hollarda ventilatorlar suyuqlik nasosi bilan bir valda o'rnatiladi. Ventilator yuritmasi tirsakli valdan tasma orqali amalga oshiriladi. Yuritmaning uzatish soni 0,88 dan 1,5 gacha oraliqda tanlanadi.

11.6. SUYUQLIKLI SOVITISH TIZIMINING HISOBI

11.6.1. HISOBLASHGA DASTLABKI SHARTLAR

Yonilg'i bilan silindrga Q_{yo} issiqlik kiritiladi, uning bir qismi Q_s dvigatelning sovitish tizimiga yo'naltiriladi.

Q_s issiqlik kesishadigan oqimli (radiator) suv-havo issiqlik almashgich orqali issiq (sovitadigan suyuqlik) va sovuq (sovitadigan havo) issiqlik tashuvchilarning o'zaro issiqlik almashinuvi natijasida dvigatelning sovi-tish tizimi orqali atrof-muhitga olib ketiladi. Bunda quyidagi tenglik saqlanishi kerak.

$$Q_s = Q_h, \qquad (11.3)$$

bunda: Q_h – sovitadigan havoga berilgan issiqlik, J/s, yoki yoyilgan ko'rinishida

$$V_s \rho_s c_s \Delta t_s = V_h \rho_h c_h \Delta t_h. \qquad (11.4)$$

Issiq issiqlik tashuvchi tizimda o'zining haroratini o'zgartiradi; haroratning chegaraviy farqi $\Delta t_s = t_{s.kir} - t_{s.chiq}$, bunda: $t_{s.kir}$ – radiatorga kirayotgan sovitiladigan suyuqlik harorati; $t_{s.chiq}$ – radiatordan chiqayotgan sovitiladigan suyuqlik harorati. Bunda aylanishdagi sarf V_s Q_s va Δt_s kattaliklar va sovitiladigan suyuqlik turi (suv, tosol va b.) bilan aniqlanadi. Sovuq issiqlik tashuvchi atrof-muhit sharoitiga bog'liq holda haroratlar farqi $\Delta t_h = t_{h.kir} - t_{h.chiq}$ (bunda: $t_{h.kir}$ – radiatorga kirayotgan havo harorati; t_h – chiq radiatordan chiqayotgan havo harorati) bo'lganda Q_s issiqlikni olib ketishi uchun radiatorning sovitadigan panjarasidan V_h miqdorda o'tishi kerak, bu ventilator va transport vositasining harakatidagi qarshi havo oqimi bilan ta'minlanadi.

Hisoblashning amalga oshirish uchun sovitish tizimi eng ko'p issiqlikni olib ketilishini ta'minlaydigan sharoitdan kelib chiqqan holda hisoblash rejimi tanlanadi. Bunday *rejim nominal quvvat* rejimi hisoblanadi.

Issiqlik tashuvchilarning harorat rejimlari, ularning harakatlanish tezligi, suyuqlik nasoslari va ventilatorlarning tavsiflari, radiatorning sovitish panjaralari konstruksiyasini o'ziga xosligi orasidagi bog'liqlikni *issiqlik uzatish tenglamasi* o'rnatadi, J/s.

$$Q_s = K\, F_{sov} \bar{\Delta t} \qquad (11.5)$$

bunda: K–issiqlik uzatish koeffitsiyenti, Vt/(m^2.K), (11.1 ga qarang); F_{sov}–radiatorning sovitish sathining yuzasi, m^2; Δt – radiator sathi bo'yicha harorat bosimining o'rtacha integral qiymati, K.

(11.1) ifodani tahlilidan kelib chiqqan holda koeffitsiyent K har doim maxrajdagi har bir hadning qiymatidan kamligi kelib chiqadi:

$K < \frac{\alpha_s}{\xi_{qov}}$; $K < \alpha_h$; $K < \frac{1}{\delta \xi_{qov}}$. Zamonaviy radiatorlarda termik qarshilik $\delta \zeta_{qov} / \lambda$ ning K ni kattaligiga ta'siri nisbatan kam (0,5% atrofida), shuning uchun amaliy hisoblashlarda e'tiborga olinmaydi. Bunga bog'liq holda (11.1) tenglama quyidagicha soddalashtirilishi mumkin:

$$K \approx \alpha_s \alpha_h \left(\alpha_s + \alpha_h \zeta_{qov}\right). \qquad (11.6)$$

Olingan ifodadan koeffitsiyent K ni aniqlash uchun radiatorning havo tarafi α_h va suyuqlik tarafi bo'yicha α_s issiqlik berish koeffitsiyentlari qiymatlarini bilish kerakligi kelib chiqadi. Hisoblar va tajribalar o'zining son qiymati bo'yicha K α_h ning kattaligiga yaqin. Shuning uchun K ni aniqlash masalasi muhandislik hisoblash uchun yetarlicha aniqlik bilan quyidagi tenglamaga asosan α_h ni aniqlashga keltirilishi mumkin

$$K = C(\rho_h w_h')^m w_s^q. \qquad (11.7)$$

(11.7) ifodadagi C, m va q kattaliklar issiqlik tashuvchilarning oqimini ma'lum rejimida sovitish sathining issiqlik texnikaviy xususiyatini xarakterlaydi: C–xarakteristik koeffitsiyent; m va q–darajaning xarakteristik ko'rsatkichlari.

Issiqlik tashuvchilar oqimi tezligining koeffitsiyent K ga ta'siri turlicha bo'ladi. Unga sovitish suyuqligi tezligi w_s ga qaraganda (11.9-rasmga qarang) havoning tezligi w_h ko'p darajada ta'sir qiladi (11.8, 11.11-rasmlarga qarang). Issiqlik tashuvchilar tezliklarining ko'tarilishi bilan sovitish tizimida gidravlik va aerodinamik yo'qotishlar, xususan Δp_s va Δp_p lar ortadi (11.8, 11.9, 11.11-rasmlarga qarang). Qarshilikning o'sishi o'zi bilan bosimni orttirish kerakligini keltirib chiqaradi, buni mos holda issiqlik tashuvchilar V_s va V_h ning sarfida suyuqlik nasosi va havo ventilatori ta'minlashi kerak. Shuning uchun havoning massaviy tezligi $\rho_h w_h'$ va sovitish suyuqligining tezligi mos holda 14...16 kg/(m^2.s) va 0,4...0,7 m/s kattalikda cheklanadi.

(11.5) tenglamadagi F_{sov} (m^2) radiatorning sovitish sathini bildiradi (issiqlik almashinuvi sathi), u quyidagi ifoda asosida aniqlanishi mumkin:

$$F_{sov.} = (Q_c \varphi') / (K \overline{\Delta t}), \qquad (11.8)$$

bunda: $\varphi' = 1{,}1$ – radiatorning ifloslanishi bilan bog'liq bo'lgan zaxirasining foydalanish koeffitsiyenti;

$$\Delta \overline{t} = t_{s.o'r} - t_{h.o'r}, \qquad (11.9)$$

bunda: $t_{s.o'r}$–radiatordagi suyuqlikning o'rtacha harorati, grad; $t_{h.o'r}$– radiatordagi havoning o'rtacha harorati, grad.

Sovitish tizimini hisoblashda quyidagilar haqida ma'lumotga ega bo'lishi kerak:

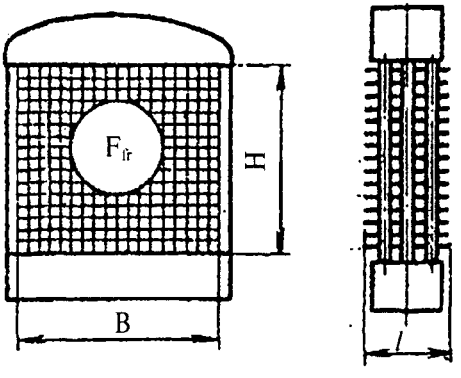
- *dvigatelning energiya tejamkorlik ko'rsatkichlari* (N_{en}–nominal quvvati, kVt; n–dvigatel tirsakli valining aylanishlar chastotasi, min^{-1}; α – havoning ortiqlik koeffitsiyenti; i – silindrlar soni; S – porshen yo'li, mm; D – silindr diametri, mm; ε – siqish darajasi; G_{yo}–hisoblash rejimidagi yonilg'ining soatiga sarfi, kg/s; iV_h – dvigatelning ishchi hajmi, *l*);
- *transport vositasini ishlatish sharoiti* (avtomobilning, traktorning, kombaynning va boshqalar):

1) iqlim sharoiti: $t_0 = 45°C$ – Rossiyaning o'rta mintaqasi uchun atrof-muhitning hisoblangan harorati; $p_0 = 0{,}1$ MPa atrof-muhitning me'yoriy bosimi;

2) moy sovitish tizimi konstruksiyasining o'ziga xosligi: Δt_{is} =5...8°C– sovitish tizimi radiatorini oldiga o'rnatilganda havo-moy radiatorida havoning isishi; Δt_{is} = 0–radiator mavjud bo'lmaganda;

3) sovitish suyuqligining turi (suv, tosol va boshqalar) va uning issiqlik texnikaviy konstantlari: c_s–issiqlik sig'imi, J/(kg·K); p_s–zichligi, kg/m^3;

- *radiatorning sovitish panjarasini tavsifi*: sovitish panjarasi-ning turi (11.6, 11.7-rasmlarga qarang); H va B – mos holda radiatorning sovitish panjarasini balandligi va eni, m (11.15-rasm); i_k – radiatorda sovitish suyuqligini yurishlar soni (odatda, hisob i_k = 1 uchun olib boriladi);
- *sovitish tizimining o'q chiziq yo'nalishidagi ventilatorining tavsiflari*: ventilator parraklarining turi (parchin mixli yoki quyma); ψ - parraklarning shakl koeffitsiyenti va o'rnatish burchagi; η_v–ventilatoning mexanik FIK; D_v–ventilator



11.15-rasm. **Radiatorni sovitish panjarasining gabarit o'lchamlari:** B – kengligi; H – balandligi; *l* – chuqurligi; F_{fr} – frontal (old qismi) sathining yuzasi.

diametri; i_v–ventilatorni tirsakli valdan yuritilishini uzatish nisbati; H–ventilatorning qayd qilingan aylanishlar chastotasida havo sarfiga bog'liq holda uning erishadigan bosimi, Pa; havoning sarfiga bog'liq holda havo tarmog'ining aerodinamik yo'qotishi yoki aerodinamik qarshilik koeffitsiyenti (11.2 ga qarang); W_v–ventilator hosil qiladigan havoning tezligi, m/s;

● *suyuqlik nasosining tavsifi:* ishchi g'ildirak parraklarining shakli; z –ishchi parraklarning soni; η_h–hajmiy FIK; η_g– gidravlik FIK; η_M– mexanik FIK; i_n–nasosning tirsakli valdan yuritilishini uzatish nisbati; d – nasos yuritmasi valining diametri, m; r_a–parraklar gubchagining radiusi, m; C_1 – nasosga kirishda sovitish suyuqligining absolut tezligi, m/s; a_2 – ishchi parrakdan suyuqlikning tushishida absolut tezligi C_2 ni va aylana tezligi U_2 ning vektorlari orasidagi burchak, grad; δ – ishchi parrak qalinligi, m; H–hisoblash rejimida nasos erishadigan bosim, Pa; ΔP_s–sovitish tizimining gidravlik konturida bosim yo'qotilishi, Pa.

11.6.2. SUYUQLIK RADIATORINING HISOBI

Suyuqlik radiatorining hisobi quyidagi ketma-ketlikda bajariladi.

1. Yonilg'i bilan silindrga kiritilgan issiqlik miqdori aniqlanadi (J/s):

$$Q_{yo} = G_{yo} H_u / 3600, \qquad (11.10)$$

bunda: H_u – yonilg'ining quyi issiqligi, J/kg.

2. Sovitish suyuqligiga berilgan issiqlik miqdori Q_s aniqlanadi, J/s:

● tashqi tezlik tavsifi bo'yicha dvigatelning sinash asosida issiqlik balansining tashkil etuvchilarini aniqlash bilan;

● sovitish suyuqligiga berilgan nisbiy issiqlik q_s kattaligi bo'yicha statik ma'lumotlar asosida:

$$Q_s = Q_{yo} q_s. \qquad (11.11)$$

q_s ning miqdori uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun 0,24...0,32 va dizellar uchun esa 0,16...0,25 oralig'ida o'zgaradi;

● empirik bog'liqliklar bo'yicha

$$Q_s = CiD^{1+2m} n^m \frac{H_\alpha}{\alpha H_u}, \qquad (11.12)$$

bunda: i – dvigatel silindrlarining soni; D–silindr diametri, mm;

n–tirsakli valning aylanishlar chastotasi, min^{-1}; H_α – havoning berilgan ortiqlik koeffitsiyenti α da yonilg'ining issiqligi J/kg; $H_\alpha = H_u(1{,}39\alpha - 0{,}39)$ $\alpha<1$ bo'lganda; $H_\alpha = 0{,}94 H_u \alpha^{0{,}11})$ $\alpha=1$ bo'lganda.

Proporsional koeffitsiyenti S va darajalar ko'rsatkichi m ni qiymatlari mos holda to'rt taktli dvigatellar uchun $(1{,}6...2{,}9)\cdot 10^{-3}$ (kichik qiymatlari dizellar uchun) va 0,6...0,7 ga teng.

3. Quyidagi tenglama asosida sovitish tizimida sovitish suyuqligining

aylanish sarfi aniqlanadi, m^3/s

$$V_s = Q_s /(\Delta t_s c_s \rho_s). \quad (11.13)$$

Radiatordan chiqishdagi suyuqlik harorati:

$$t_{s.chiq} = t_{s.kir} - \Delta t_s \quad (11.14)$$

4. Radiatorning sovitish sathi hisoblanadi (m^2):

$$F_{sov} = (Q_c \varphi')/(K\overline{\Delta t}). \quad (11.15)$$

Issiqlik uzatish koeffitsiyenti K ning qiymati quyidagicha aniqlanadi:

- chiziqli tasvir bog'liqligi asosida (11.8-rasmga qarang);
- empirik nisbatlar asosida (11.7).

U holda

$$\overline{\Delta t} = t_{s.o'r} - t_{h.o'r}, \quad (11.16)$$

$$t_{s.o'r} = (t_{s.chiq} + t_{s.kir})/2, \quad (11.17)$$

$$t_{h.o'r} = (t_h + \Delta t_{h.rad})/2, \quad (11.18)$$

bunda: *havoning radiatorda isishi:*

$$\Delta t_{h.rad} = \frac{Q_s}{F_{fr}(\rho_h W_h')c_h}; \quad (11.19)$$

radiatorning frontal (old qismi) sathi (m^2):

$$F_{fr} = HB; \quad (11.20)$$

havoning zichligi (kg/m^3):

$$\rho_h = \frac{p_o \cdot 10^6}{T_h R_h}, \quad (11.21)$$

bunda: T_h – *havoning radiatorga kirishidagi harorati* (K)

$$T_h = t_o + \Delta t_{is} + 273, \quad (11.22)$$

bunda: R_h = 287J/(kg·K) – havoning gaz doimiysi;

c_h = 1005 J/(kg·K) – havoning issiqlik sig'imi.

5. Quyidagi ifoda bo'yicha radiator chuqurligi aniqlanadi (m)

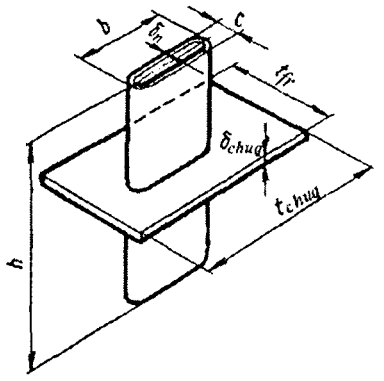
$$\ell = F_{sov}/(HB\varphi), \quad (11.23)$$

bunda: $\varphi = F_{sov}/V_{sov}$ – radiatorning ixchamlik koeffitsiyenti; V_{sov} – radiatorning geometrik hajmi.

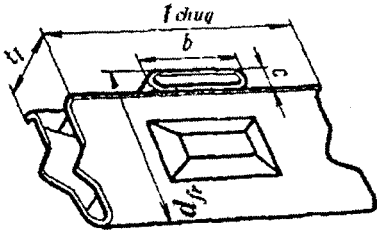
6. Radiatorning sovitish panjarasini konstruksiyasi tanlanadi (11.6, 11.7-rasmlarga qarang). Sovitish panjarasining konstruksiyasiga bog'liq holda sovitish elementining o'lchamlari beriladi (11.16-rasm).

- *naycha-plastinali radiatorlar* uchun:

t_{fr}–B o'lchamda radiatorning bir qatorida to'liq elementlar soni (i_{nfr})



a)



b)

11.16-rasm. **Radiatorlar panjarasini sovituvchi elementlari:** *a*—naycha-plastinali; *b*—naycha-tasmali.

joylashadigan qilib tanlanadigan radiatorning fronti bo'yicha sovitish plastinalarining o'lchami; h – H o'lchamga bir sovitish naychasini butunligicha (i_{en}) joylashadigan qilib tanlanadigan elementning balandligi; t_{chu} – radiatorning chuqurligi bo'yicha elementning o'lchami (taxminan beriladi); δ_{pl} – sovitish plastinasini qalinligi; b – radiatorning chuqurligi bo'yicha sovitish naychasini o'lchami; c – radiatorning fronti bo'yicha sovitish naychasini o'lchami; δ_n–sovitish naychasi devorining qalinligi;

● *naycha-tasmali radiatorlar uchun* qo'shimcha ravishda beriladi:

t_t –radiatorning H o'lchamiga bir sovitish naychasiga to'liq elementlar soni joylashadigan tasma gofrini qadami; l_t – sovitish tasmaning yarim gofrini yoyilgan uzunligi.

7. Radiatorning ixchamlik koeffitsiyenti aniqlanadi (m^2/m^3):

$$\varphi = F'_{sov} / V'_{sov}, \qquad (11.24)$$

bunda: F'_{sov} –radiator panjarasining hisoblangan elementini sovitish sathi, m^2; V'_{sov} –radiator panjarasining hisoblangan elementini hajmi, m^3.

● *Naycha-plastinali radiatorlar* uchun

$$F'_{sov} = [\,2(b+c)h - 2(b+c)\delta_{pl} + 2(t_{fr}t_{chu} - bc)\,],$$

$$V'_{sov} = t_{fr}t_{chu}h.$$

● *Naycha-tasmali radiatorlar* uchun

$$F'_{sov} = \left[4l_t t_{chu} + 2(b+c)\right]t_t,$$

$$V'_{sov} = t_{fr}t_{chu}t_t.$$

Radiatorning chuqurligi l aniqlanganidan so'ng uning chuqurligi bo'yicha elementlarning to'liq soni (i_{Tchu1}) joylashishini e'tiborga olib, sovitish elementining o'lchami t_{chu} qabul qilinadi va suyuqlikning bir yo'li uchun radiatorning sovitish naychalarini soni aniqlanadi:

$$i_{n1} = t_{nfr}i_{nchu1}. \qquad (11.25)$$

Radiatordagi sovitish elementlarining soni

$$i_e = i_{nfr} i_{en} i_{nchut}. \qquad (11.26)$$

Quyidagi shart hisobning to'g'riligi masalasini yechish uchun asos bo'lib hisoblanadi:

● $i_{nchut} < 6$; $F_s / F_{s1} = 1$, lekin 1,1–1,15 dan ko'p bo'lmasligi kerak, bunda: $F_s = f_n i_{n1}$ – radiatorning barcha naychalarining «tirik» kesimining yuzasi, m^2; ● $F_{s1} = V_s / W_s$ – suyuqlikning bir yo'li uchun «tirik» kesimining kerakli yuzasi, m^2; $f_n = (b - \delta_n)(c - \delta_n)$ – bir naychaning «tirik» kesimini yuzasi, m^2.

Ikki yo'lli radiator uchun barcha sovitish naychalarining kesimini yuzasi $F_s = F_{s1} i_y$, bunda: i_y=2.

11.6.3. VENTILATORNING HISOBI

Ventilatorni hisoblash uchun boshlang'ich parametr bo'lib IYOD ning ishlashini hisoblash rejimidagi sovituvchi havoning talab qilingan sarfi $V_h (m^3/s)$ hisoblanadi.

Ventilatorning xarakteristikasidagi (tavsifidagi) ishchi nuqta uning statik bosimi va havo traktining to'liq qarshiligi egri chiziqlarini kesishishi bilan aniqlanadi, ya'ni quyidagi bosim nuqtasi bilan [(11.2) ifodaga qarang].

$$H_v = \Delta p_q, \qquad (11.27)$$

bunda: H_v–ventilator bilan erishiladigan bosim, Pa.

Δp_q **kattalikni** quyidagilarga, asosan, aniqlash mumkin:

● statistik ma'lumotlarga Δp_p=200...500 Pa;

● chiziqli tasvir bog'liqliklariga (11.8-rasmga qarang);

● empirik ifodalarga:

naycha-plastinali radiatorlar uchun:

$$\varsigma_r = \{C_1' l t_{fr} h / [(t_{fr} - c)(h - \delta_{pl})]\} \ \mathrm{Re}^{-0.25}, \qquad (11.28)$$

bunda: ζ_r – radiatorning qarshilik koeffitsiyenti; C_1' – xarakteristik koeffitsiyent ($C_1' = 280$ – sovituvchi naychalar shaxmatsimon joylashtirilishida; $C_1' = 230$ – sovituvchi naychalar koridorli qilib joylashtirilishida);

naycha-tasmali radiatorlar uchun :

$$\varsigma_r = 59 [t_l / (t_{fr} - c)]^{0.75} \mathrm{Re}^{-0.335}. \qquad (11.29)$$

$\mathrm{Re} = (w_h' d_e) / \lambda_h$ Reynolds mezoni, bunda: λ_h–havoning kinematik

qovushqoqligi, m^2/s; d_e – havo kanallarining ekvivalent diametri, m.

Ekvivalentlik diametri (m) statik ma'lumotlarga, asosan, yoki empirik ifoda bo'yicha aniqlanishi mumkin:

naycha-plastinali radiatorlar uchun:

$$d_e = 4\left(t_{fr} - c\right)\left(h - \delta_{pl}\right)/\left(t_{fr}h\right), \qquad (11.30)$$

naycha-tasmali radiatorlar uchun:

$$d_e = 4\left(t_{fr} - c - 2\delta_t l_t / t_t\right)/\left\{\left[i_{nfr}/(i_{nfr}+1)\right]\left[2(c+b)/t_{chn}\right)\right](t_{chn}i_{nchn1}/l)+4l_t/t_t\right\}, \qquad (11.31)$$

bunda: δ_t – sovituvchi tasmaning qalinligi.

Ventilator parraklarining D_v diametrda aylana tezligi:

$$U_v = \psi\sqrt{H_v/\rho_v}. \qquad (11.32)$$

Tezligi U_v 70...100 m/s oralig'ida bo'lishi kerak.

Ventilator diametri (m)

$$D_v = U_v \cdot 60/(\pi i_v n). \qquad (11.33)$$

Ventilatorning diametri GOST ga muvofiq kelishi va sovituvchi panjaraning H yoki B o'lchamlarining birini eng kichigidan ko'p bo'lmasligi kerak.

Ventilatorning uzatishi (m^3/s):

$$V_v = HBw'_h \qquad (11.34)$$

Ventilatorning yuritishga sarflanadigan quvvat (kVt):

$$H_v = \frac{V_v \cdot p_s}{\eta_v}. \qquad (11.35)$$

11.6.4. SUYUQLIK NASOSINING HISOBI

Suyuqlik nasosi sovitish tizimining radiatori orqali suyuqlik sarfini ta'minlashi kerak $V_s(m^3/s)$.

Hisoblash rejimi quyidagi nisbat bilan aniqlanadi:

$$H_{sn} = H_{sq} \qquad (11.36)$$

bunda: H_{sn} – suyuqlik nasosi erishadigan statik bosim, Pa; H_{sq} – suyuqlik traktining gidravlik qarshiligi, Pa. H_{sq} ni aniqlash yetarlicha murakkab, uning aniq natijalari, odatda, faqat laboratoriya sinovlari asosida olinadi. Ko'pchilik holatlarda H_{sq} ni nisbatan $\Delta P_s = 50\%$ bo'lishini yoki statistik ma'lumotlarni (H_{sq}=38...55 kPa, ayrim hollarda 11 kPa gacha) hisobga olib taxminiy hisoblashlar uchun grafikli bog'liqliklardan foydalanish mumkin (11.9-rasmga qarang).

Nasos uzatishining hisoblangan kattaligi (m^3/s):

$$V_{sh} = V_s / \eta_0 . \tag{11.37}$$

Parrakka kirish teshigining radiusi (11.17-rasm) (m):

$$r_1 = \sqrt{\frac{V_{sh} + C_1 \pi r_0^2}{C_1 \pi}} . \tag{11.38}$$

Ishchi g'ildirakdan suyuqlik chiqishining aylanma tezligi (m/s):

$$U_2 = \sqrt{1 + tg\alpha_h ctg\beta_2}\sqrt{H_{sn} / \rho_s \eta_g} \tag{11.39}$$

bunda: $\beta_2 = \alpha_2 / 0{,}8$

Ishchi parrakdan suyuqlikning tushish radiusi:

$$r_2 = 30U_2 / (\pi n i_n) . \tag{11.40}$$

Aylanma tezlik (m/s)

$$U_1 = U_2 r_1 / r_2 . \tag{11.41}$$

Suyuqlik tushishining radial tezligi (m/s):

$$C_r = H_{sn} tg\alpha_2 / (\rho_s \eta_g U_2) \tag{11.42}$$

Nisbiy tezlik W_1 va aylanma tezlik U_1 ning manfiy yo'nalishi orasidagi burchak β_1 quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$tg\beta_1 = C_1 / U_1 . \tag{11.43}$$

Suyuqlik tushishining absolut tezligi (m/s):

$$C_2 = C_r / \sin\alpha_2 . \tag{11.44}$$

Ishchi parraklarning kengligi (m);

- suyuqlikning ishchi g'ildirakka kirishida:

$$b_1 = \frac{V_{sh}}{\left(2\pi r_1 - \frac{z\delta}{\sin\beta_1}\right) C_1} ; \tag{11.45}$$

- suyuqlikning ishchi g'ildirakdan chiqishida:

$$b_2 = \frac{V_{sh}}{\left(2\pi r_2 - \frac{z\delta}{\sin\beta_2}\right) C_r} ; \tag{11.46}$$

nasosni yuritishga sarflanadigan quvvat (kVt):

$$N_n = \frac{V_{sh} H_{sn}}{\eta_m} . \tag{11.47}$$

11.7. HAVOLI SOVITISH TIZIMI

Havo bilan sovitiladigan avtotraktor dvigatellarining ko'pchiligida kallaklar va silindrlarning qovurg'alari orasiga havoni majburiy haydash tizimi ishlatiladi. Havoning sarfi deflektorlovchi (oqimburgich) bilan rostlab turiladi (11.18-rasm).

Havoning yuqori aylanma tezligini ta'minlash uchun katta samaraga ega bo'lgan ko'p sonli profillangan parrakli o'q chizig'i bo'yicha yo'nalishli ventilatorlar ishlatiladi. Bunday ventilatorlarning erishadigan to'liq bosimi 1000...2400 Pa ga chiqadi.

● *Havo bilan sovitish tizimining hisobi.* Atrof-muhit parametrlari va hisoblash rejimlari suyuqlik bilan sovitish tizimining hisobi kabi qabul qilinadi. Silindr va kallakni hisoblash haroratlari 11.1-jadvalda keltirilgan.

Cho'yandan tayyorlangan silindr qovurg'asi asosining o'rtacha harorati 130...170°C; cho'yandan tayyorlangan kallak qovurg'asi asosining harorati 170...220°C; aluminiy qotishmasidan tayyorlangan kallak qovurg'asi asosining harorati 160...200°C. Silindrning ichki sathini harorati 130...140°C dan oshmasligi kerak. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun sovitish tizimiga beriladigan nisbiy issiqlik q_h=0,24...0,30; dizellar uchun esa 0,20...0,26 ni tashkil etadi. Sovitish tizimiga beriladigan issiqlikning umumiy miqdori (J/s) quyidagini tashkil etadi:

$$Q_{st} = q_h Q_{yo} \qquad (11.48)$$

Moy radiatoridan va karter sathidan olinadigan issiqlik hisobga olinsa issiqlikning miqdori 10...15% ko'payadi.

11.2-jadvalda aluminiy qotishmali kallakdan q_k va cho'yandan tayyorlangan silindrdan q_s olinadigan issiqlik miqdori bo'yicha o'rtacha statik ma'lumot keltirilgan. Silindr kallagi cho'yandan tayyorlangan holatda kallakdan olinadigan issiqlik ulushi kamayadi, silindrdan olinadigan ulushi esa ko'payadi.

Soddalashtirish maqsadida hisoblash bir silindr va kallak uchun bajariladi. Bir silindrdan olib ketiladigan issiqlik miqdori (J/s) quyidagi ifodani tashkil etadi:

$$Q_h = \frac{q_s Q_{st}}{l}. \qquad (11.49)$$

Bir silindrdan Q_h miqdordagi issiqlikning olib ketish uchun sovituvchi havoning talab qilinadigan miqdori (kg/s):

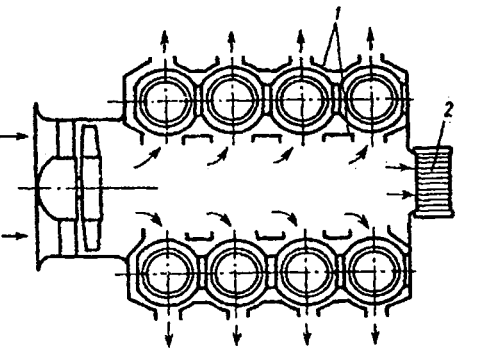
$$G_h = \frac{Q_h}{c_p(t_{1a} - t_{1e})}, \qquad (11.50)$$

11.1-jadval

Dvigatelning turi	Eng yuqori harorat, ^{0}C		
	Silindr	Silindr kallagi	
	Maxsus cho'yandan		Aluminiy qotishmasidan
Avtomobil dvigateli	220	340...360	240...260
Traktor dvigateli	200	320...340	220...240

bunda: c_p=1005 J/(kg·K) – havoning o'rtacha issiqlik sig'imi; t_{1a} va t_{1e} –qovurg'alar orasidagi kanallardan chiqadigan va unga kiradigan havoning o'rtacha harorati, °C. Harorat t_{1e} 45°C ga teng deb qabul qilinadi, harorat t_{1a} esa quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$t_{1a} = \frac{t_{yu} - t_q}{2} \qquad (11.51)$$



11.18-rasm. **Havo bilan sovitiladigan dvigatelda havoning aylanma harakatini tashkil etish sxemasi:** *1* – deflektorlar; *2* – moy radiatori.

bunda: t_{yu} va t_q – mos holda silindrning yuqori va quyi doirasidan chiqadigan havoning harorati, °C. t_{yu}=80...110°C; t_q=60...80°C. Qovurg'alar orasidagi kanallardagi havoning o'rtacha harorati $t_{1m}=(t_{1a}+t_{1e})/2$. Bir silindrning sovitishga sarflanadigan havoning hajmi $V_h=G_h/\rho_h$ bunda: ρ_h –sovitadigan havoning zichligi, kg/m³. Havo traktining zichlanadigan qismlarini nozichligi orqali sovitadigan havoning 8...10% yo'qoladi. Buni e'tiborga olinishida bir silindrning sovitishga uzatiladigan havoning zarur bo'lgan miqdori quyidagi ifodani tashkil etadi:

$$G_h' = (1,08...1,1)/G_h \qquad (11.52)$$

Dvigatelni sovitish uchun zarur bo'lgan havoning taxminiy miqdori (kg/s), hajmiy sarfi $G = G_h' i / q_s$; $V = G/\rho_h$ ifodalar orqali aniqlanadi. G ning aniqroq miqdori silindr kallagining sovitish uchun zarur bo'lgan havo qiymatini alohida aniqlab olinishi mumkin.

Dvigatelning quvvat birligiga to'g'ri keladigan havoning solishtirma sarfi $g_h=G/N_e\left[kg/(s\cdot kVt)\right]$ ni tashkil etadi. Hisoblashning to'g'riligini baholash uchun g_h ni 11.3-jadvalda keltirilgan statik ma'lumotlar bilan taqqoslash kerak.

Sovitish sathi F_{sov} ni (m²) silindrning keltirilgan sovitish sathi F_{kel} va qovurg'alash koeffitsiyenti ξ_{qov} orqali aniqlash mumkin:

11.2-jadval

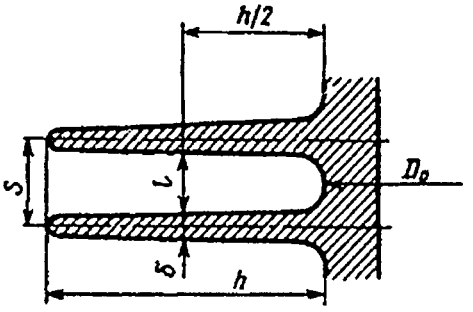
Dvigatelning turi	Olib ketiladigan issiqlik miqdori	
	Kallakdan q_k	Silindrdan q_s
Uchqundan o't oldiriladigan	0,7	0,3
Ajratilmagan yonish kamerali dizel	0,4	0,6
Ajratilgan yonish kamerali dizel	0,5	0,5

$$F_{sov}=F_{kel}\cdot\xi_{qov}\ ;\ F_{kel}=\pi\ (D+2d_s)h_s$$

bunda: D – silindr diametri; d_s – silindr devorining qalinligi;

h_s – silindrni qovurg'alangan qismining balandligi; $h_s=(1,2...1,4)S$, bunda: S – porshen yo'li. Dizellar va uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun qovurg'alash koeffitsiyenti $\xi_{qov}=4,4...8,0$ ga teng deb qabul qilinadi.

Statik ma'lumotlarga, asosan, dizellar uchun $F_{sov}=(0,4...0,8)iV_h$; uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun $F_{sov}=(0,65...1,60)iV_h$. Bunda: iV_h – dvigatelning ishchi hajmi, l.



11.19-rasm. **Trapetsiyasimon sovitish qovurg'asi.**

Sovituvchi qovurg'alarning shakli va o'lchamlari eng kam aerodinamik qarshilikda zarur bo'lgan issiqlik berishni ta'minlashi kerak, bu ventilatorni yuritishga sarflanadigan quvvatni kamaytirish uchun kerak.

Trapetsiyasimon qovurg'alar ko'proq ishlatiladi, ular ishlab chiqarishda qulayroq va yuqori issiqlik samarasiga ega (11.19-rasm). Qovurg'alashning asosiy parametrlari bo'lib, qovurg'alarning soni z, qovurg'aning o'rtacha balandligi h, qovurg'alash qadami s, qovurg'aning o'rtacha qalinligi d, qovurg'alar orasidagi kanalning o'rtacha kengligi ℓ va qovurg'a asosidagi silindr diametri D_0 hisoblanadi.

Sanab o'tilgan parametrlarning qiymatlari 11.4-jadvalda keltirilgan.

Qovurg'a asosining qalinligi uchiga qaraganda taxminan 1,5 martaga katta.

11.3-jadval

Dvigatelning turi	g_h, kg/(s·kVt)
Uchqundan o't oldiradigan	0.0265...0.0285
Ajratilmagan yonish kamerali dizel	0.018...0.021
Ajratilgan yonish kamerali dizel	0.0245...0.0265

11.4-jadval

Qovurg'alash parametrlari, mm	Cho'yan		Aluminiy qotishma	
	Silindr stakani	Silindr kallagi	Silindr stakani	Silindr kallagi
h	14...30	15...50	15...35	15...75
S	6...12	6...12	3,5...8	3,5...8
l	4...8	4...8	2...6	2...6
δ	2...4	2...4	1,5...2,5	1,5...2,5

XII BOB
HAVO BILAN TA'MINLASH TIZIMI

12.1. HAVO TOZALAGICHLAR

Havo tozalash tizimlariga qo'yiladigan asosiy talab, bu tizimlarning gidravlik qarshiligini iloji boricha eng kam bo'lishi hisoblanadi, bu gaz almashinuviga energiya sarfini kamaytirish va silinrdlarning to'lishini oshirish uchun zarur. Tizim konstruksiyasi bo'yicha ixcham (gabarit o'lchamlari kam) va kam massaga ega bo'lishi kerak, buning uchun u kiritish shovqinini so'ndirgich elementi bilan birlashtiriladi. Bunda havo tozalagich va kiritish shovqinini so'ndirgich elementlarining o'lchovlari va geometrik shakllarini tanlashga alohida e'tibor beriladi, bu silindrlarning to'lishini yaxshilash uchun yangi zaryad oqimini nostatsionar hodisasidan foydalanishga imkon beradi. Yuk avtomobillarida tozalagich elementlari joylashtirilgan tashqariga chiqarilgan havo so'rgich tizimlari ishlatiladi. Yuk avtomobillarining havo so'rgichlari ko'pincha kabina ustiga joylashtiriladi yoki peshoyna ustuni romi bilan birga o'rnatiladi, bu 2...2,5 m balandlikdan chang kam bo'lgan doiradan havoni so'rishga imkon beradi. Yengil avtomobillarda havo avtomobil kapoti ostidan olinadi. Havo so'rgichning joylashtiriladigan o'rni tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

Atmosfera havosida har doim oz yoki ko'p miqdorda chang zarrachalari mavjud bo'ladi. Havodagi chang miqdori $1 m^3$ havoda changning massali qiymatini ko'rsatuvchi havoning changlanganlik kattaligi bilan baholanadi (g/m^3).

Atmosfera havosining changlanganligi ko'p omillarga bog'liq: yil faslliga, tuproq va yo'lning turiga (12.1-jadval), havoning namligiga, harakatning jadalligiga, transport vositasining turiga va shinalarning konstruksiyasiga, shamolning yo'nalishiga, transport vositasining aerodinamikasiga.

Avtomobildan foydalanish jarayonida dvigatelning havo tozalagich tizimidagi havo so'ruvchisiga tushadigan havoning changlanganligi yuqorida sanab o'tilganlardan tashqari havo so'rgichning joylashgan o'rniga, avtomobilning harakat tezligiga bog'liq bo'lib, 0,0003 dan 1,4 g/m^3 gacha oraliqda o'zgarishi mumkin.

12.1-jadval

Avtomobil yo'lining turi	Avtomobil harakatlanishida havoning changlanganligi, g/m^3	
	yakka holda	kolonnada
Avtomagistral	0,001...0,002	Ma'lumot yo'q
Qatt'q asfalt betonli qoplama	0,004...0,005	0,015...0,020
Qattiq bo'lmagan qoplama	0,01...0,10	0,4...0,6
Karyer	0,5...1,0	2,0 gacha

Dvigatelning havo tozaligichiga tushadigan chang zarrachalarning asosiy massasi 40 mkm gacha o'lchamga ega va, asosan, kremniy, temir va aluminiy oksidlaridan tashkil topgan. Turli tuproqlarning Gedroys bo'yicha kimyoviy tarkibi 12.2-jadvalda keltirilgan.

12.2-jadval

Tuproq tarkibi	Zarrachalar o'lchami, mkm	Toblangan moddaning miqdori, massa bo'yicha, %						
		CO	SiO_2	$Al_2O_3+Fe_2O$	Al_2O_3	CaO	MgO	FO
Sariq tuproq	5...10	5,3	62,2	17,3	-	14,1	2,0	0,2
Kul rang tuproq	5...10	-	79,1	12,3	-	1,2	-	-
	10...250	-	89,4	-	-	1,1	-	-
Qora tuproq	5...10	-	88,5	8,6	7,1	0,4	0,2	-
	10...250	-	60,6	22,3	15,0	0,8	0,5	-

Tozalagich korpusining havo so'ruvchisiga tushadigan havoning changlanganligi ko'p jihatdan uning yo'l sathidan joylashish balandligi bilan aniqlanadi. Havo so'ruvchining joylashish balandligi 0,7m ga orttirilsa, havoning changlanganligi, asosan, chang katta zarrachalari miqdorini kamayishi hisobiga deyarli 8 martaga kamayadi (12.3-jadval).

12.3-jadval

Sinovga olingan balandlik, m	Changning miqdori, %	
	yengil avtomobil	yuk avtomobili
0,5	0,20	0,50
1,0	0,14	0,35
1,5	0,04	0,22
2,0	0,01	0,14

Havo tozalagichning ishlash ko'rsatkichlariga ta'sir qiladigan asosiy tavsiflaridan biri changning sochilganligi hisoblanadi.

Chang sochilganlik tarkibi bo'yicha uch ko'rinishga bo'linadi:

1. Transport vositalarining harakatlanishida yo'l tasmasidan havoga ko'tariladigan zarrachalarning o'lchamlari 150 mkm dan ko'p bo'lgan va tinch havoda o'tirish tezligi 1,0 m/s ga ega bo'lgan oniy chang. Bunday zarrachalar mashina ko'taradigan changning massasi bo'yicha 55% ga yaqinini tashkil etadi.

2. Zarrachalarning o'lchamlari 2...150 mkm ga va o'tirish tezligi $(1,0...0,18)\cdot10^{-3}$ m/s ga ega bo'lgan vaqtinchalik chang. Bu ko'rinishdagi changning massasi mashina ko'taradigan changning 47...90% ni tashkil etadi, u tuproq yoki yo'l qoplamasining turiga bog'liq bo'ladi.

3. O'tirish tezligi $0,18\cdot10^{-3}$ m/s dan kam bo'lgan zarrachalardan tashkil topgan doimiy chang.

Dvigatel uchun xavfliroq hisoblangani kvarsli chang, uning zarrachalarini qattiqligi dvigatelning ishqalanuvchi sathlarini qattiqligidan yuqori. Changda yo'l tasmasidan boshqa yo'l tasmasi ashyolari tarkibiga kiruvchi

qattiq minerallar, shuningdek, qurum va shinalarning yeyilishidagi zarrachalar ham ishtirok etadi.

IYOD ning **havo tozalagichi samaradorligi** quyidagi ko'rsatkichlar bilan baholanadi:

● havoni tozalash koeffitsiyenti; ● gidravlik qarshiligi; ● chang sig'imi; ● ishonchliligi; ● massa va gabarit o'lchamlari; ● foydalanish jarayonida unga xizmat qilinadigan sarflar va konstruksiyasining bahosi bilan.

Havoni changdan tozalash samaradorligi tozalash η yoki changni o'tkazish ε koeffitsiyentlari bilan baholanadi. Tozalashning umumiy koeffitsiyenti havo tozalagich ushlab qoladigan changning nisbiy miqdorini protsentlarda xarakterlaydi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\eta = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100 = \frac{M_1 - M_3}{M_1} \cdot 100 \qquad (12.1)$$

bunda: M_1, M_2, M_3 – mos holda havo tozalagichga tushadigan, ushlab qolingan va u o'tkazib yuborgan changning massasi.

Changni o'tkazib yuborish koeffitsiyenti havo tozalagich ortidagi changning nisbiy miqdori kabi aniqlanadi: $(M_3/M_1)100\%$.

O'tkazib yuborish va tozalash koeffitsiyentlari o'zaro $\varepsilon = (100-\eta)\%$ bog'liqlik bilan bog'langan.

Havoni tozalash tizimi kiritish tizimining gidravlik qarshiligini sezilarli darajada orttiradi. Havo tozalagichning gidravlik qarshiligi Δp uning konstruksiyasiga bog'liq va havo so'rgichga kirishdagi bosim hamda havo tozalagichning oxirgi elementidan keyingi (ko'p bosqichli tozalagichlar) bosimi farqi kabi aniqlanadi.

Havo tozalagichning gidravlik qarshiligi to'ldirish koeffitsiyenti η_v ga salbiy ta'sir qiladi, dvigatel ishlashining samarali va tejamkorlik ko'rsatkichlarini yomonlashtiradi. Tozalovchi elementlarning ifloslana borishida gidravlik qarshilikning kattaligi chiziqli tarzda o'sishi va ma'lum «chegara» kattaligi Δp_{pr} gacha (yo'l qo'yilgan gidravlik qarshilik, 12.4-jadvalga qarang) dvigatelning to'ldirish koeffitsiyentiga jiddiy ta'sir qilmasligi tajriba tadqiqotlari bilan o'rnatilgan. Biroq bunda gaz almashinuviga bo'lgan energiya sarfining oshishi, dvigatelning quvvat va tejamkorlik ko'rsatkichlarini yomonlashtiradi.

12.4-jadvaldan ko'rinishicha, Δp_{pr} ning me'yoriy qiymatlari dvigatelning turi va vazifasiga bog'liq va ishlab chiqaruvchi zavodning texnik sharti bilan aniqlanadi.

Karbyuratorli dvigatellar uchun quvvatning nisbiy yo'qolishi kiritishdagi qarshilikka proporsional. Masalan, gidravlik yo'qolish darajasi 100 mm suv ustuniga ko'paysa, dvigatel quvvatining taxminan 1,3% ga kamayishiga olib keladi.

12.4-jadval

Dvigatel	Δp, kPa
Uchqundan o't oldiriladigan	5,0
Dizel	3,5...4,0
Turbonadduvli dizel	4,5...5,0
Traktor	7,0 gacha

Havoning ortiqlik koeffitsiyenti ko'p qiymatga ega bo'lgan dizellar havo tozalagichning gidravlik qarshiligini ortishida kam sezgirlikka ega. Dizelning havo tozalagichi gidravlik qarshiligi Δp ni 100 mm suv ustuniga ortishi solishtirma yonilg'i sarfini ko'payishiga va quvvatini taxminan 0,5% ga kamayishiga olib keladi.

Ayrim dvigatellarda chiqarish tizimi bilan ulangan changni chiqarib yuborish uchun ejeksiya yo'li bilan tortib oluvchi tuzilmali havo tozalagich tizimlari ishlatiladi. Biroq ejektorlarni qo'llash chiqarishda aks bosimni ko'tarilishiga olib keladi, bu quvvatning yo'qolishini va samarali solishtirma yonilg'i sarfini oshishini keltirib chiqaradi.

Gidravlik qarshilik yo'l qo'yilgan chegara kattaligiga erishgunicha havo tozalagichning ushlab qoladigan changining miqdori W_{ch} (kg) *chang sig'imi* deb ataladi.

Havo tozalagichning takomillashganligi uning solishtirma *chang sig'imi* (*kg/l*) bilan baholanadi (12.5-jadval):

$$\theta = \frac{W_{ch}}{V} \qquad (12.2)$$

bunda: V — havo tozalagich tizimining egallagan to'liq hajmi.

12.5-jadval

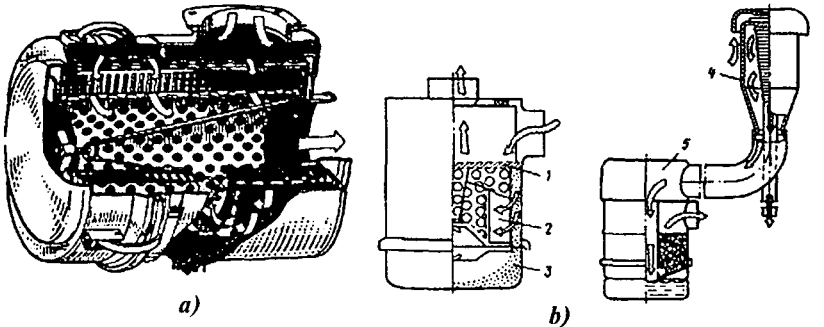
Transport vositasining turi	Havoning boshlang'ich changlanganligi φ g/m^3, ko'p emas	Quruq tozalovchi elementga solishtirma yuklama	
		q, m^3/s	g_n, g/m^3
Yengil avtomobillar	0,05	400...250	125
Yuk avtomobillari	0,10	250...200	185
Og'ir o'zi ag'dargichlar	0,50	170	230
Yo'l-qurilish texnikasi, traktorlar va o'rmalovchi zanjirli shataklagich	1,50	110	310

Havo tozalash tizimlarining konstruksiyasi va ishlashi. Zamonaviy avtotraktor dvigatellarida quyidagi havo tozalagichlari ishlatiladi: *inersion-markazdan qochma, g'ovaklik va murakkab.*

Inersion-markazdan qochma tozalagichlar tozalashning birinchi bosqichi sifatida avtotraktor dvigatellarining havo tozalagichlarida ishlatiladi. Bunday tozalagichlarning changni o'tkazib yuborish koeffitsiyenti 10 dan 60% gacha o'zgaradi, gidravlik qarshiligi esa 100 mm suv ustunidan ortmaydi. Bunday ko'rsatkichlar uning, asosan, tozalashning birinchi bosqichi sifatida qo'llashga imkon beradi.

Havo tozalashning birinchini bosqichi asosiy vazifasi havo tozalashning ikkinchi asosiy bosqichini chang yuklamasini pasaytirish hisoblanadi, demak uning texnik xizmatgacha ishlash davomiyligini oshirish.

Yuk avtomobillarida tozalashning ikkinchi bosqichida tozalovchi elementi kartonli *ikki bosqichli havo tozalagichlari* keng tarqalgan (12.1.a-rasm). Kartonli tozalovchi elementli *kombinirlangan havo tozalagichlar* ham qo'llanilmoqda, ularning birinchi bosqichida ajratilgan changni



12.1-rasm. **Tozalovchi elementi kartonli havo tozalagich (*a*) va kombinirlangan ikki bosqichli havo tozalagichlar (*b*):** *1* — to'g'ri oqimli monotsiklon; *2* — kartonli toza'ovchi element; *3* — ajratilgan changni yig'ish uchun bunker; *4* — konussimon inersion panjara; *5* — inertsion-moyli havo tozalagich.

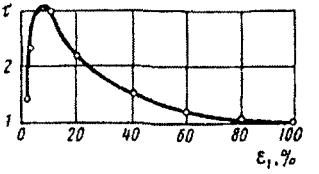
bunkerda yig'adigan, uning gaz ejektori yordamida avtomatik chiqarib tashlaydigan siklonlar to'plami ishlatiladi.

To'liq yuritmali yuk avtomobillarida havo tozalashning kombinirlangan tizimi ishlatilmoqda (12.1-b rasm), uning birinchi bosqichida gaz ejektori ajratgan changni avtomatik chiqarib tashlaydigan konussimon inersion panjaralar ishlatiladi.

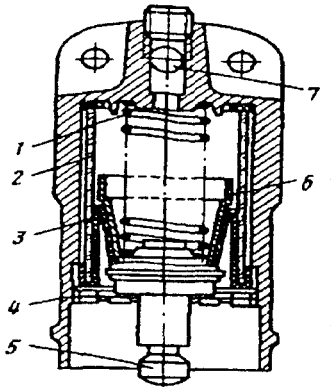
Havoning tozalash tizimlarida siklonlar to'plamini keng qo'llanilishiga ularning gabaritini kattaligi va yuqori metall sig'imliligi to'siq bo'lib turibdi. Ikki bosqichli havo tozalagichning ishlash davomiyligini ko'p bo'lishini ta'minlash uchun birinchi bosqichning changni o'tkazish koeffitsiyenti ε_1 8...15% oralig'ida yotishi kerak (12.2-rasm).

ε_1 koeffitsiyentning keyinchalik pasayishi tozalovchi kartonga tushadigan chang zarralarining o'lchamlarini kichiklashishi bilan tozalovchi kartonning solishtirma sig'imi keskin kamayishi tufayli tozalovchi element: kartonli ikki bosqichli havo tozalagichlarning ishlash davomiyligi τ ni orttirishga olib kelmaydi. Bundan tashqari birinchi bosqich qarshiligini yuqoriligi tufayli havo tozalagichning resursi chegaraviy qarshiligigacha kamayadi.

Ilgari keng foydalanilgan *inersion-moy turidagi* havo tozalagichlar konstruksiyasining soddaligi va xizmat muddatini ko'pligi bilan farqlanishiga qaramasdan ular dvigatelda eng maqbul foydalanish imkonini cheklaydigan bir qator jiddiy kamchiliklarga ham ega. Bunday tozalagichlarning havoni changdan tozalash samaradorligi nisbatan yuqori emas va ko'p jihatdan dvigatelning ishlash rejimiga bog'liq. Dvigatelning nominal ishlash rejimiga mos keladigan havoning sarfida tozalagichlarning eng yaxshi nusxasi



12.2-rasm. **Ikki bosqichli havo tozalagich ishlashining nisbiy vaqti τ ning birinchi bosqichni o'tkazib yuborish koeffitsiyenti ε_1 ga bog'liqligi.**



12.3-rasm. **«Baxara» firmasining yo'l qo'yilgan (ruxsat etilgan) gidravlik qarshilikli indikatori:** *1* – prujina; *2* – nazorat darchasi; *3* – membrana; *4* – korpus; *5* – richag; *6* – porshen; *7* – havo keltirish uchun teshik

0,8...1,8% changni o'tkazib yuboradi, qismiy yuklama rejimlarida ishlaganida esa bu ko'rsatkich 5...10% gacha ko'payadi.

Havo tozalagichlarning *quruq turi* inersion-moy havo tozalagichlarga qaraganda ko'p jihatdan kamchiliklardan holi; ular dvigatelning ishlash rejimiga bog'liq bo'lmagan holda havo tozalash samarasiga ega va inersion-moy havo tozalagichlarning o'xshash ko'rsatkichlariga qaraganda 10...30 martaga ko'p. Bundan tashqari kartonli filtrlovchi elementlarda (KFE) chang o'tirishini yig'ilish xususiyati foydalanish jarayonida avtomobilning kiritish tizimida qarshilikning o'sishini ko'rsatuvchi va filtrlovchi elementga xizmat ko'rsatish zarurligi to'g'risida ishora beruvchi asboblarning qo'llashni (changlanganlik indikatorlari) taqozo qiladi (12.3-rasm).

Katta yukli avtomobillarda KFE li bo'lgan havo tozalagichlarning joylashtirishni qiyinligi va kiritiladigan havoning isishini bartaraf qilish zarurati bunday filtrlarni motor bo'limiga o'rnatishga imkon bermaydi. Shunday qilib, avtomobil konstruksiyasida dvigatel va havo tozalagich orasida rezina shlangali hamda tortib turuvchi xomutli havo o'tkazuvchi paydo bo'ladi.

Havo tozalagichlarni hisoblashning mavjud usullari ko'p jihatdan tajriba va statik ma'lumotlarini ishlatishga asoslangan. Ularning ishonchliligi nisbatan yuqori emas, shuning uchun ularni ishlab chiqishda ko'p hajmli me'yoriga yetkazish tajriba ishlarining o'tkazilishini talab qiladi.

Inersion havo filtrlarining hisobi havo bo'shlig'ida zarrachalarning og'irlik kuchi va uning harakatlanishiga havoning qarshilik kuchining tengligi o'rnatilganda havo oqimida qattiq zarrachalarning o'tirish (cho'kindi hosil qilish) tezligini aniqlashga asoslangan. Bu paytda chang zarrachalari o'tirish tezligi bilan bir tekis siljiydi, uning qiymati zarrachaning massasiga, uning o'lchamiga, qovushqoqligiga va havo muhitining zichligiga bog'liq bo'ladi.

Havoni markazdan qochma usulida tozalashda havo tozalagichidagi oqimning uyurmali harakatida paydo bo'ladigan markazdan qochma kuch ta'sirida changning o'tirishi sodir bo'ladi.

Havoning samaraliroq tozalanishi quruq filtrlovchi elementlar bilan amalga oshiriladi. Filtrlovchi elementlarning konstruksiyasi doimo takomillashtirilmoqda, bu ularning ishonchliligini, solishtirma havo yuklamasini va chang sig'imini oshirishga imkon beradi. Filtrlaydigan kartonlar va sintetik ashyolar asosida filtrlovchi elementlarning paydo bo'lishi oldindan berilgan tavsifli tozalagichlarni barpo qilishga imkon yaratdi, bunga filtrlaydigan elementni ishlab chiqarishda g'ovak o'lchamlarini o'zgartirish bilan erishiladi, bunga bog'liq holda havo bilan birgalikda dvigatelning kiritish tizimiga kirishi mumkin bo'lgan changning eng katta kritik o'lchami

aniqlanadi. Filtrlovchi elementga, egri chiziq kanalli kanali bilan ichiga kirgan bo'yicha monolit jism sifatida qarash mumkin. Havo devori tukli bo'lgan bu egri chiziqli kanallar bo'yicha harakatlanadi va chang zarrachalarining devorlariga o'tirib, kanallarni toraytiradi va filtrlash mayinligini orttiradi.

Umumiy holda *o'tkazish koeffitsiyenti* $\varepsilon=e^{-\lambda t}$ kabi aniqlanishi mumkin, bunda: t-filtrlovchi ashyo qalinligi, λ – changning o'tirish koeffitsiyenti (tajribada olingan kattalik).

Filtrlovchi elementning ishlash sharoiti *solishtirma havo yuklamasi* $q=\frac{V_h}{F}$, $\left[m^3/(s\cdot m^2)\right]$ kattaligi bilan baholanadi, bunda: V_h – dvigatel orqali havoning sarfi, m^3/s; F – filtrlovchi element ishchi sathining yuzasi, m^2. Quruq filtrlovchi elementning chang sig'imini bilvosita mezoni bo'lib, *ularning solishtirma qarshiligining kattaligini o'zgarishi* hisoblanadi:

$$Z=\frac{\Delta p_o-\Delta p_b}{\varphi},$$

bunda: Δp_b va Δp_o – mos holda filtrlovchi elementning boshlang'ich va oxirgi qarshiligi; φ–filtrlanadigan havoning changlanganligi.

Quruq filtrlovchi elementga *solishtirma chang yuklamasi* $g_{yuk}=M_2/F$ kabi aniqlanadi, bunda: M_2–havo tozalagich qarshiligini 700 mm suv ustunigacha oshish paytiga filtrlovchi elementga o'tirib qolgan changning miqdori.

Gaz almashinuvida porshen ustidagi bo'shliq hajmining o'zgarishi *shovqin* sodir bo'lishiga olib keladi. Bunda akustik nurlanish quvvati silindr diametri va porshen yo'liga bog'liq bo'ladi va dvigatelning alohida silindrlarini ishchi sikllarini almashinish davriga karrali past chastotalarda, asosan, namoyon bo'ladi. O'rtacha va yuqori chastotalarda karbyurator va kiritish klapani elementlarini atrofidan oqib o'tadigan havo oqimi bilan shovqin hosil qilinadi. Bu chastotalardagi akustik nurlanish quvvati havo oqimining tezligiga bog'liq bo'ladi. Ayniqsa, yuqori kuchaytirilgan dvigatellarda gaz taqsimlash fazalarini baravariga ochiq turish paytida sodir bo'ladigan shovqin asosiy va kam o'rganilgan manba bo'lib hisoblanadi. Turbonadduv tizimlaridan foydalanish kiritishdagi akustik nurlanish quvvatini anchaga oshiradi.

Kiritishdagi so'ndirilmagan shovqin darajasi turbonadduvli bir qator dvigatellarda 135 dB A ga erishib og'riq darajasiga yaqinlashadi. Bu shovqin manbayining bartaraf qilish usullaridan biri kompressorning aylanishlar chastotasini oshirish hisoblanadi, bu akustik nurlanishni eshitish a'zosi qabul qilmaydigan ultratovush chastotalar oralig'iga ko'chirishga imkon beradi. 130000...200000 min^{-1} aylanishlar chastotasiga ega bo'lgan turbokompressorlarni ishlatish akustik nurlanishni 25...30 kGs diapazonga «olib ketishga» imkon beradi.

Ichki yonuv dvigatellarining kiritishdagi *shovqinini so'ndirgichlar reaktiv, aktiv* va *kombinirlangan* turlariga ajratiladi. Aktiv so'ndirgichning

asosiy elementi bo'lib, tovush yutuvchi ashyo hisoblanadi, u so'ndirgich korpusiga jcylashtirilgan va gaz oqimi bilan o'zaro ta'sirlanadi. Shovqinning pasayishi tovush yutuvchi ashyo g'ovaklarida tovush energiyasining issiqlikka aylanishi natijasida sodir bo'ladi.

Tovush yutuvchi ashyolarning xarakteristikasi, ashyo yutgan tovush energiyasini material sathiga tushayotgan tovush energiyasiga bo'lgan nisbat kattaligini ko'rsatuvchi *tovush yutish koeffitsiyenti* bilan aniqlanadi:

$$\alpha = E_{yut} / E_{tush}.$$

Kiritish tizimi uchun samaraliroq va keng tarqalgan tovush yutuvchi ashyo bo'lib texnik namat, mineral paxta, kapron tola hisoblanadi. Turli g'ovak ashyolarning past chastotalar doirasida tovush yutish qobiliyati juda kam. G'ovak ashyolarning samaraliroq tovush yutishi o'rtacha va yuqori chastota doirasida ro'y beradi hamda ashyoning qalinligi va solishtirma zichligiga bog'liq.

Reaktiv so'ndirgichlar yoki akustik filtrlar maxsus tovush yutuvchiga ega emas, kengaytirgichli va rezonansli hajmlar tizimini tashkil etadigan kameralar hamda quvurlar birikmasi ko'rinishiga ega. Reaktiv so'ndirgichning elementlarini to'plami muvofiqlashtirish impedansni sodir qiladi va tovush energiyasining manbaga qaytarishni ta'minlaydi. Reaktiv so'ndirgichlar past va o'rtacha chastota oraliqdagi shovqinning tonal tashkil etuvchilarini bosishda samarali ishlaydi. Rezonans kameralarini yuqori jadallikdagi va nurlanish spektri tor bo'lgan shovqinni pasaytirish uchun qo'llash maqsadga muvofiq hisoblanadi. Kengaytirgichli kamera chastotalarning keng oralig'ida ishlaydi, lekin ularning so'ndirish qobiliyati past.

Kombinirlangan so'ndirgichlar reaktiv so'ndirgichlar tamoyili bo'yicha qurilgan, ularda aktiv elementlar o'rnatilgan.

Havo tozalagich, odatda, kiritish shovqinini yetarlicha samarali so'ndirgichi bo'lishini aytib o'tish kerak.

Havo so'rgich va havo filtrining korpusi bunda reaktiv so'ndirgichning elementlari bo'lib hisoblanadi; kartonli filtrlovchi element aktiv so'ndirgich kabi ishlaydi va 3,5 kGs dan yuqori bo'lgan spektrda samarali tovush so'ndirishni ta'minlaydi.

So'ndirgichning yagona kengaytirgich kamerasini hisobi kiritish jarayoni shovqinini kamaytirish $\Delta L_{so'n}$ zarurati talabidan kelib chiqqan holda amalga oshiriladi:

$$\Delta L_{so'n} = 10\lg\left[1+0{,}25\left(m-\frac{1}{m}\right)^2 \sin\frac{\pi}{2}\bar{f}\right], \qquad (12.3)$$

bunda: $m=F_k/F_t$ – kengaytirgich kamerasining o'tish kesimi yuzasini havo uzatkich kesimi yuzasiga bo'lgan nisbati; $\bar{f} = f / f^* -$ oktava oralig'ini uchdan birini o'rtacha geometrik chastotalari f ni so'ndirgichning xarakteristik chastotasi $f^* = C/(4l_k)$ ga bo'lgan nisbati hisoblangan o'lchamsiz chastota; ℓ_k – kengaytirgich kamerasining uzunligi; C – tovush tezligi.

So'ndirgichning yagona rezonans kamerasining hisobi $l_k \leq 0{,}4\lambda_{rez}$ bo'lganda

rezonans chastota f^* da talab qilingan so'ndirish $\Delta L_{so'n}$ ni ta'minlash shartidan kelib chiqqan holda amalga oshiriladi:

$$\Delta L_{so'n} = 10\lg\left[1+\left(\frac{\sqrt{G_0 V}/(2F_T)}{\overline{f}-1/f}\right)^2\right], \qquad (12.4)$$

bunda: $\lambda_{rez}=s/f^*$ rezonans chastota f^* dagi tovush to'lqinining uzunligi, m; V – rezonator hajmi; F_t – so'ndirgichning markaziy quvuri kesimini yuzasi; G_o – rezonans kamerasi bilan quvurni ulaydigan teshikni o'tkazuvchanligi.

Kapt osti bo'shlig'i akustik nurlanish nuqtayi nazaridan chastotalarning past chastota oralig'ida ishlayotgan nuqta manbali rezonator sifatida ko'rilishi kerak.

Zamonaviy avtomobillarning ba'zilarida ishlatiladigan havo filtrlarning tavsiflari 12.6-jadvalda keltirilgan.

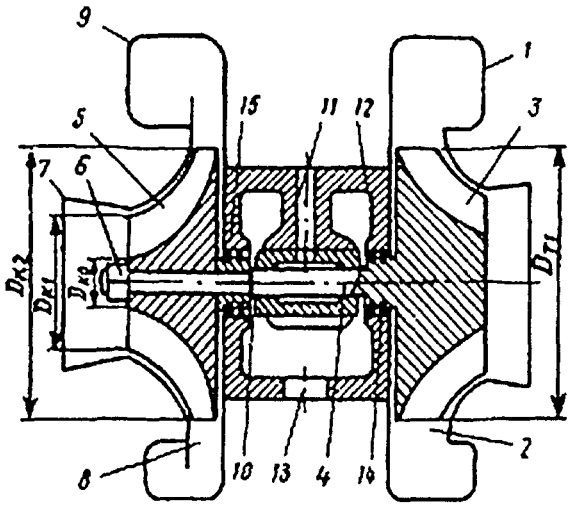
12.6-jadval

Havo filtrining markasi	Ish ko'rsatkichlari				
	Havoning nominal sarfi, m^3/s	Havoning nominal sarfidagi qarshilik, mm.suv.ust	Changni o'tkazish koeffitsiyenti, %		Solishtirma chang sig'imi, g/l
			Havoning nominal sarfida	Havoning nominal sarfini 20%da	
BM–16 (ZIL)	430	240	1,0	4,6	57
BMП–3 (ZIL)	430	305	1,2	5,3	187
BC–4 (ZIL)	490	220	0,38	—	370
Siklopak FWG (AQSH)	480	180	0,37	—	84
«Rotopamik» Farr (AQSH)	800	210	0,13	—	193

12.2. NADDUVLI DVIGATELLARNING HAVO BILAN TA'MINLASH AGREGATLARI (KOMPRESSORLAR, TURBOKOMPRESSORLAR)

Avtotraktor IYOD larini turbonadduv bilan kuchaytirishda g'ildiraklarining tashqi diametri, odatda, 110 mm dan kam bo'lgan, kompressor va turbina g'ildiraklari konsol joylashgan hamda sirpanish podshipnikli nisbatan katta bo'lmagan turbokompressorlar (TKR) ishlatiladi. Ularda markazdan qochma kompressorlar va radial-o'q turbinalari ishlatiladi, chunki ular g'ildiraklarining diametri kichik bo'lganda yetarlicha yuqori FIKni ta'minlaydi. TKR ning sxemasi 12.4-rasmda ko'rsatilgan.

Ishlatilgan gazlar turbinaning kiritish chig'anog'i *1* ga keladi, undan torayuvchi yo'naltiruvchi apparat *2* ga tushadi, bunda, ularning tezligi ortadi va ayrim burchak ostida turbinaning kurakchalari *3* ga uzatiladi hamda g'ildirakni aylanishiga olib keladi. Ishqalab payvandlash usulida val *4* bilan qo'zg'almas qilib bog'langan turbinaning g'ildiragi aylanma harakatni valga gayka 6 bilan mahkamlangan kompressor g'ildiragi *5* ga uzatadi.



12.4-rasm. **Turbokompressorning sxemasi.**

Havo kompressorning kirish patrubogi *7* orqali kompressor g'ildiragining chiqish qismiga tushadi, bunda, markazdan qochma kuch ta'siri ostida uning tezligi keskin ortadi va g'ildirakdan diffuzor *8* ga chiqadi. Diffuzorda havoning tezligi kamayadi, bosim esa ko'tariladi. Keyinchalik havo chig'anoqsimon yig'uvchi *9* ga tushadi, undan dvigatelga yo'naltiriladi. Val *4* korpus *12* dagi kanal *11* bo'ylab bosim ostida moy keltiriladigan vtulka *10* da aylanadi. Korpusdan moyni erkin to'kish uchun to'kish teshigi *13* ning diametri kanal *11* ning diametridan katta bo'lishi kerak. Moyning turbina va kompressorga tushishining oldini olish uchun turbina *14* va kompressor *15* tomonidan zichlovchi halqa o'rnatilgan.

Kompressorning diffuzori va turbinaning yo'naltiruvchi apparati parrakli va parraksiz qilib bajarilishi mumkin. Parraklarning o'rnatilishi TKRlar g'ildiraklarining diametri nisbatan katta (100...110 mm dan ortiq) bo'lganda kompressorning FIK orttiradi. Shuning uchun avtotraktor IYOD larining TKF lari, asosan, parraklarsiz diffuzor va yo'naltiruvchi apparatlarga ega bo'ladi.

Kompressorning *adiabat* FIK 1 kg havoning kompressorda siqishni adiabat ishini haqiqiy ishi $\ell_{k.haq}$ ga bo'lgan nisbati kabi aniqlanadi:

$$\eta_{k.ad} = l_{k.ad} / l_{k.haq}. \qquad (12.5)$$

Turbinaning *ichki* FIK 1 kg gazning haqiqiy (ichki) ishi ℓ_{Ti} ni ega bo'lgan ishi ℓ_T ga bo'lgan nisbati hisoblanadi:

$$\eta_{Ti} = l_T / l_{Ti}. \qquad (12.6)$$

Valning aylanishlar chastotasini va diametrini ortishi bilan oshadigan rotor podshipniklarining *ishqalanishidagi mexanik yo'qotishlar* turbinadagi yo'qotishlarga taalluqli deb qabul qilingan. Shuning uchun turbinaning samarali FIK TKR ning mexanik FIK η_{TM} ni inobatga olish bilan hisoblanadi:

$$\eta_{Te} = \eta_{Ti}\eta_{TM}. \qquad (12.7)$$

Sirpanish podshipnikli TKR uchun dvigatelning nominal rejimda ishlashida η_{TM}=0,94...0,96 oralig'ida bo'ladi.

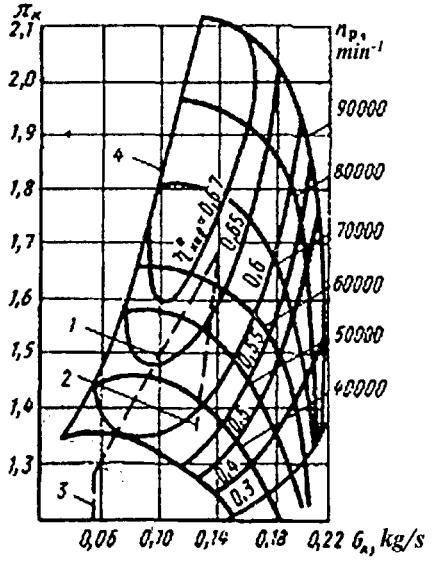
TKR ning FIK:

$$\eta_{TKR} = \eta_{k.ad}\eta_{Te} \qquad (12.8)$$

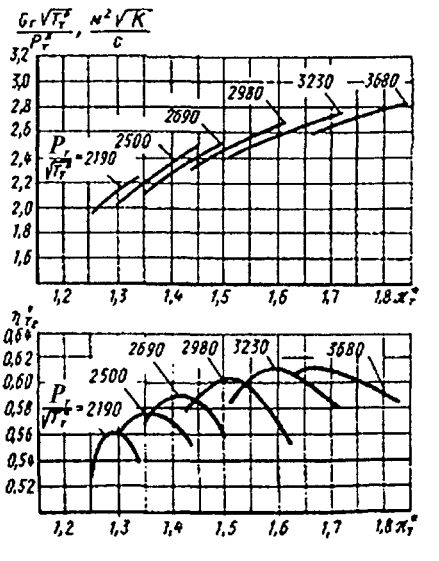
TKR ning FIK g'ildiragi diametrini kattalashishi bilan ortadi, chunki oqim qismlaridagi nisbiy yo'qotishlar kamayadi.

TKR ning FIK ni ortishi dvigatelning quvvati va tejamkorligini ortishiga, shuningdek, dizelni chiqarib tashlaydigan qorakuyasini esa kamayishiga olib keladi. Bu birinchidan turbinaning FIK ni oshishi bilan gazning ega bo'lgan energiyasi turbina g'ildiragini aylanma harakatiga to'laligicha aylanishi bilan tushuntiriladi, bu rotorning aylanishlar chastotasini oshishiga va nadduv bosimining ko'tarilishiga olib keladi. Nadduv bosimining ko'tarilishiga kompressor FIK ni ortishi ham olib keladi. Natijada haydaladigan havoning hamda zichligi va havoning ortiqlik koeffitsiyenti ortadi, indikator FIK ko'tariladi hamda dizellarning chiqarib tashlaydigan qorakuyasi kamayadi. Ikkinchidan, TKR ning FIK ni o'sishi bilan P_p/P_T nisbat kattalashadi, chunki nadduvning doimiy bosimini olish uchun turbinaning yuritishga turtib chiqarish ishini kam sarf bo'lishini talab qiladi yoki itarish ishini doimiy bo'lishida nadduvning ko'proq bosimi olinadi. Natijada ikki holatda ham to'ldirish, turtib chiqarish ishining balansi yaxshilanadi, bu gaz almashinuviga yo'qotishning kamayishiga va oqibatida dvigatelning mexanik FIK ni oshishiga olib keladi.

12.5-rasmda ko'rsatilgan kompressor tavsifida bosimning ortish darajasi $\pi_к$ va adiabat FIK $\eta_{k.ad}$ ni rotorning turli aylanishlar chastotasi n_p dagi havoning massaviy sarfi G_k ga bog'liqligi keltirilgan. Shu yerning o'zida dvigatelning TKR ni tashqi tezlik *1* va ikki yuklama *2, 3* tavsiflari bo'yicha berilgan ma'lumotlari bilan birgalikda ishlash chizig'i qayd qilingan. Chapda tavsif bosim bilan suyuqlik haydash chizig'i *4* bilan cheklangan. Kompressorning pompajida IYOD ko'rsatkichlari yomonlashadi va kuchli tebranish boshlanadi. Kiritish tizimida tezligida havoning pulsatsiyalanishi, shuningdek,



12.5-rasm. **Kompressorning tavsifi.**



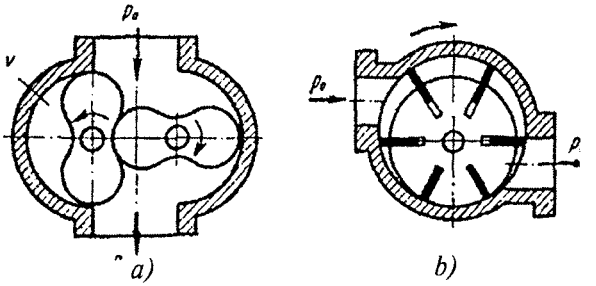
12.6-rasm. **Turbinaning tavsifi.**

foydalanish natijasida hosil bo'ladigan kompressor korpusidagi cho'kindi ham pompajni yaqinlashtirishi mumkin. Shuning uchun TKR ni tanlashda pompaj bo'yicha zaxirasining 10...15% dan kam bo'lmasligini ta'minlash zarur. Pompaj bo'yicha zaxira deb havoning joriy sarfini pompaj boshlanadigan n_p dagi havo sarfini kattaligiga bo'lgan nisbatiga aytiladi.

12.6-rasmda ko'rsatilgan turbinaning tavsifida turbina orqali gazning keltirilgan sarfi $G_T\sqrt{T_T / p_T}$ va samarali FIK η_{te} ni rotorning keltirilgan aylanishlar chastotasini turli qiymatlari $n_p / \sqrt{T_T}$ dagi turbinada bosimning pasayishi darajasi π_t ga bog'liqligi keltirilgan. Turbinaning tavsiflarida keltirilgan gaz sarfi formulaga turbina oldidagi bosim p_T ni kg/sm² da qo'yish qabul qilingan.

Yuritmali haydagich. «Ruts» turidagi *rotor-shesternali haydagichda* sakkizsimon shakldagi shesternalar bilan bog'langan ikki rotor qarama-qarshi tomonga aylanadi. Rotorlar o'zining yuqori chekkasi bilan korpusning yuqori qirrasiga navbatma-navbat kelib, atmosfera bosimi p_0 ga ega bo'lgan yangi zaryad hajmi V ni (12.7-a rasm) qamrab olib, bosimini deyarli o'zgartirmasdan chiqish kamerasiga haydaydi, zaryad u yerda yuqori bosim p_k da bo'ladi. V hajm chiqish kamerasi bilan tutashgan paytda chiqish kamerasidagi p_k bosim ostida bo'lgan zaryad V hajmga kiradi va aerodinamik shovqinni keltirib chiqaradi. Zichlikni ta'minlash uchun rotorlar, shuningdek, rotor va korpus devori orasidagi tirqish eng kichik qilib bajariladi. Shunga qaramasdan r_k ning yuqori aylanishlar chastotasiga mos keladigan katta qiymatlarida sizish sezilarli darajada bo'ladi, bu bosimning ortish darajasini va haydagich FIK ni kamaytiradi. Shuning uchun bunday haydagichlarda bosimning ortish darajasini eng kattasi 1,6...1,7 ni tashkil etadi.

Rotor-plastinali kompressorda (12.7-b rasm) rotorning burila borishida yangi zaryadni asta-sekin siqilishi sodir bo'ladi, u p_k bosim ostida IYOD ning kiritish kollektoriga haydaladi. Natijada bunday kompressor rotor-shesternaliga qaraganda kam darajali shovqinga ega bo'ladi. Plastinalar markazdan qochma kuchlar bilan korpus devoriga qisiladi, sizish eng kam bo'ladi, shuning uchun rotor-plastinali kompressorning ish unumdorligi IYOD valining aylanishlar chastotasiga proporsional ravishda o'sadi, bu IYOD ning tashqi tezlik tavsifi bo'yicha ishlashida uning ehtiyoji bilan yaxshi muvofiqlashadi. Biroq rotor-plastinali kompressorning aylanishlar chastotasini ko'tarilishi bilan plastinalarning korpus devoridagi ishqalanishga bo'lgan isrofi ortadi, bu ham nadduv bosimini ortish darajasini cheklaydi.



12.7-rasm. **Hajmiy yuritmali kompressorlar:** *a* – rotor-shesternali; *b* – rotor-plastinali.

XIII BOB
CHIQARISH TIZIMI

Chiqarish tizimi ishlatilgan gazlar (IG) ni chiqarib tashlash uchun xizmat qiladi. Uni konstruksiyalashda zaharlilikni va chiqarish jarayonining shovqinini pasaytirish zarurligi ham e'tiborga olinadi. Tizimda motorli tormoz, havo tozalagichning ejeksiya tizimi, qorakuya tutqich va boshqa shu kabi ayrim qo'shimcha tuzilmalar joylashtirilishi mumkin.

IGni chiqarish jarayoni IYOD ning shovqinini eng jadal manbayi bo'lib hisoblanadi. Chiqarish jarayonining akustik nurlanishining quvvati va spektral tarkibi ularning qiymatini yuqoriligi bilan xarakterlanadi; bunda akustik energiyaning asosiy ulushi tovush to'lqinlari spektrini akustik noqulay doirasida joylashadi. Kuchaytirilgan dvigatelning chiqarish quvuri qabulida tovush bosimining darajasi 180 dB gacha chiqishi mumkin.

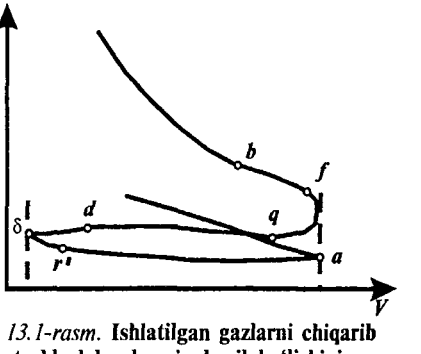
Chiqarish jarayoni chiqarish klapanining ochilishini boshlanish payti YUCHN ga 30...70° yetmasdan erkin chiqish davri *bf* bilan boshlanadi (13.1-rasm) va IGning oqishini kritikdan yuqoriligi bilan xarakterlanadi. Ikkinchi *fq* davr IG ning chiqarib tashlash jarayonini PCHN dan so'ng tugatadi. Klapanning ochilish paytini boshlanishida harorat T_v va bosim p_v ko'p jihatdan chiqarish jarayonida akustik nurlanish xarakterini aniqlaydi. Eng katta quvvat klapan tirqishida o'rtacha tezlik gradiyenti eng katta qiymatga erishganda IG eng ko'p uyurmalangan davrda ishlab chiqiladi. Chiqarish uchastkasi *bfq* da nurlanadigan yig'indi akustik quvvat Laytxill doimiysi asosida aniqlanadi, u gaz oqimi tezligining sakkizinchi darajasiga proporsional.

Gaz oqimining turbulent shovqini *spektral tarkibi* statik kattalik kabi aniqlanadi. Uning jadalligining yig'indisi I_Σ (Vt/m²) va spektral zichlik I_f o'zaro quyidagi nisbat bilan bog'langan:

$$I_\Sigma = \int_0^\infty I(f)df . \qquad (13.1)$$

Chiqarish tizimida akustik energiyaning jadalroq nurlanishi past chastotalarda ro'y beradi; bunda tovush maydoni klapandan ancha masofada shakllanadi.

Chiqarishning boshlanish davrida IG oqimi qo'zg'almas muhitda tarqaladi va oqimning siqilishi tufayli barcha kesimni egallamaydi, shuning uchun gazning haqiqiy tezligi klapan tirqishi ortidagi qisqa uchast-



13.1-rasm. **Ishlatilgan gazlarni chiqarib tashlashda shovqin hosil bo'lishining xarakterli uchastkalari bilan chizilgan indikator diagramma.**

kada tovush tezligidan sezilarli darajada oshishi mumkin.

IG ni chiqarishning uchinchi davri – $q\alpha$ (haydash davri) – silindrda bosim deyarli doimiy bo'lganda sodir bo'ladi. Uyurmali shovqinning jadalligi bu uchastkada oqim tezligining oltinchi darajasiga proporsional (Ye.Ya. Yudin doimiysi).

Chiqarishni to'rtinchi va beshinchi bosqichlari – $d\delta$ va $\delta'r'$ – klapanlarni baravariga ochiq turish paytida sodir bo'ladi. Gaz almashinuvining bu doirasida shovqin hosil bo'lish jarayoni gaz taqsimlash fazalari bilan aniqlanadi va hozirgi paytda kam o'rganilgan.

Gaz almashinuvi jarayonida akustik nurlanishning jadalligi ish jarayoni parametrlari bilan ham, PIYOD konstruksiyasining o'ziga xosligi bilan ham aniqlanadi. Xususan, shovqin tavsifiga chiqarishdagi gazning zichligi ρ_{chiq} oqib chiqish ro'y beradigan muhitning aks bosimi P_{ab} va ishlatilgan gazlarning harorati ta'sir qiladi.

Chiqarish jarayonining yig'indi akustik quvvati W (Vt) quyidagicha aniqlanadi:

$$W = W_{imp} + W_k + W_{oq}, \qquad (13.2)$$

bunda: W_{imp} – bosim impulsi uyg'otadigan shovqinning quvvati; W_k – klapan elementlarini atrofidan o'tishidagi shovqinning quvvati; W_{oq} – gaz oqimi shovqinining quvvati.

Turbulent oqimning shovqinini parametrlari Laytxill doimiysi asosida aniqlanadi – $L = \rho_z^2 u_z^6 D^2 / (\rho_0 C_0^5)$, bunda: p_z va u_z – gazning zichligi, kg/m^3 va tezligi, m/s; D – xarakterli geometrik o'lcham, m; p_0 va C_0 – oqim ro'y beradigan atrof-muhitning siljish zichligi, kg/m^3 va tezligi, m/s.

Uyurma shovqinning quvvati (Vt)

$$W = (K_0\Phi^2 + K_1\Phi^6 + K_2\Phi^5) F_{kl} \rho_h C_h^3 (1-\chi), \qquad (13.3)$$

bunda: $\chi = (p_u - p_{ab}) / p_u$; $C = \sqrt{nRT_u}$. $\Phi = \left\{ \frac{2}{n-1} \left[1 - (1-\chi)^{\frac{n-1}{n}} \right] \right\}$.

Shovqin manbayi prinsipga ko'ra yoki jadallik, yoki hajmiy tezlik, yoki o'zgaruvchan bosim bilan xarakterlanishi mumkin. Ilgari ko'rsatib o'tilganidek, chiqarishda pulsatsiya jadalligi 180 dB ga ega, pulsatsiya kattaligi 120 dB dan ko'p bo'lganda esa kichik amplitudalar to'lqinining nazariyasi ishlatilganda ko'p xatolikni beradi. Bu chiqarishda shovqinni hosil bo'lishini tahlilida chiqarish tizimidagi nochiziq akustik hodisalarga alohida e'tibor berishni bildiradi.

13.1. CHIQARISH SHOVQININI SO'NDIRGICHLAR

Chiqarish tizimi qabul qiluvchi quvurlardan, motorli tormoz tizimidan, so'ndirgich yoki uning tizimlaridan, katalizator yoki dizel uchun qurum filtridan va chiqarib tashlash quvuridan tashkil topgan.

Motorli tormoz dizelli zamonaviy yuk avtomobillarining zarur agregati bo'lib hisoblanadi, shuningdek, karbyuratorli dvigatelga ega bo'lgan yuk avtomobillariga ham o'rnatiladi. Motorli tormoz dvigateldan chiqadigan IG oqimini berkitadigan va richaglar tizimi yoki tormoz pedalidan boshqariladigan solinoid bilan harakatga keltiriladigan to'sma qopqoqdan tashkil topgan. Bir vaqtning o'zida dvigatelni silindriga yonilg'i uzatishni to'xtatib qo'yadi, bu majmua gaz taqsimlash fazasini o'zgartirish bilan dvigatelni kompressor rejimida ishlashga o'tkazadi. Dvigatelni burashga energiya sarflash natijasida avtomobilni tormozlash samarasi keskin ortadi.

Shovqin so'ndirish tizimi (13.2-rasm) yengil avtomobillar uchun ikki yoki uch alohida rezonatorli yoki kombinirlangan so'ndirgichlardan va yuk avtomobillari uchun monoblok so'ndirgichdan tashkil topgan. Yengil avtomobillarning chiqarish tizimiga katalitik neytralizatorlar ulanadi, uning tavsifi tizimning so'ndirish xususiyatini baholashda e'tiborga olinadi. Dizelga o'rnatiladigan qurum filtri, odatda, so'ndirgich bilan birga joylashtiriladi.

Avtomobil elektronikasi rivojlanishi chiqarishdagi shovqinni pasaytirish uchun *yarim aktiv tizimni* ishlatishga imkon beradi, uning konstruksiyasida shovqin so'ndirish tizimining geometrik o'lchamlarini o'zgartiruvchi siljiydigan elementlar ishlatiladi, xususan chiqarib yuboruvchi quvurning aktiv uzunligini o'zgartiruvchi. Bu tizimning so'ndirish xususiyatini undagi tebranishlarning uyg'otish kuchi xarakteri bilan eng yaxshi muvofiqlashtirishga imkon beradi. Uzun bo'lgan shovqin so'ndiruvchi tizim dvigatel tirsakli valining kichik aylanishlar chastotali rejimlarida, qisqasi esa yuqori aylanishlar chastotasida samaraliroq hisoblanadi. Siljuvchi element sifatida pnevmatik yoki elektromagnit klapan, yoki boshqariladigan to'sma qopqoqlar, yoki zolotnik ishlatiladi.

Yarim aktiv tizimni ishlatish kichik aylanishlar chastotasida shovqin so'ndirish samarasini 10 dB ga orttirishga imkon beradi.

Samaraliroq shovqin so'ndirishni faol tizimining ishlashi fazaga qarama-qarshi berilgan shovqin nurlanishini spektral tarkibi teng qiymatli akustik signal bilan yo'qotish uslubiga asoslangan. Bunday tizimning ishlashi energiyaning ko'p sarfini talab qiladi, shuning uchun uni tovush bosimi kam bo'lgan, ya'ni quvur quyrug'iga yaqin bo'lgan joyda ishlatish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Tizim chastotalarining keng oralig'ida samarali ishlaydi va chiqarish shovqinini 30...35 dB ga kamaytirishga imkon beradi.

Shovqin so'ndirishning faol tizimini ishlash samaradorligi datchikni va shovqinni yo'qotish tizimini boshqarishni elektron blokini sezgirligiga hamda ta'sirini tezligiga bog'liq.

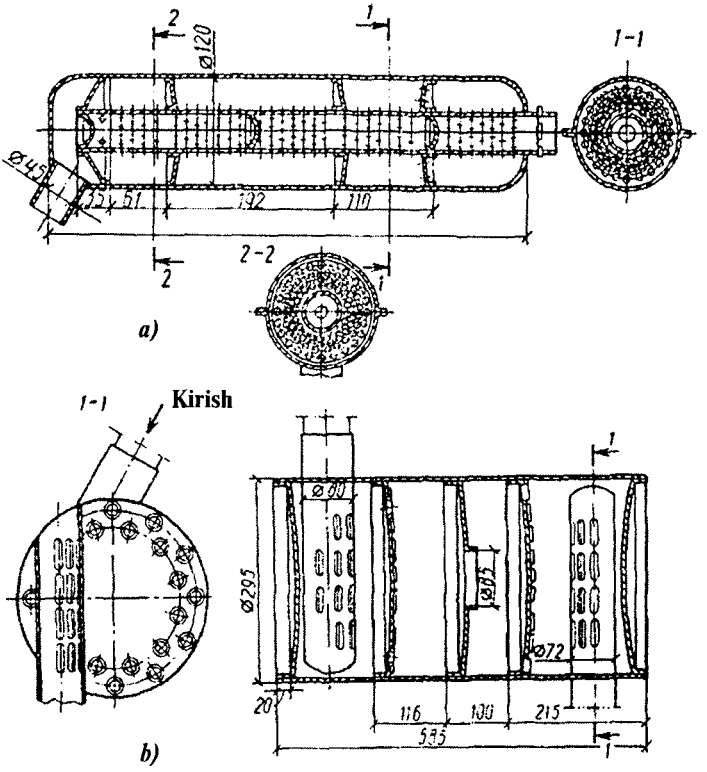
Yengil avtomobillar uchun chiqarish tizimining alohida elementlarini tutashtiradigan, akustik nurlanish darajasi bo'yicha qattiq talab qo'yiladigan *quvurlar* qo'sh devor qilib bajariladi.

Yuqori sinf toifasidagi avtomobillarning chiqarish tizimi zanglash bilan va abraziv yeyilishlardan himoyalaydigan to'ldirgichli sintetik smoladan maxsus issiqqa chidamli qoplamaga ega.

Chiqarish shovqinini so'ndirgichlarining hisobi uch bosqichni o'z ichiga oladi: 1) shovqin manbayi tavsifini aniqlash; 2) chiqarish tizimining

uzatish funksiyasini hisoblash; 3) nurlanish tavsifini aniqlash.

Uzatish funksiyasining hisobini asosiy mohiyati kengayish kameralari, rezonatorlar va tovush yutuvchi elementlar turidagi shovqin so'ndirgichlarning amplituda – chastotali tavsiflarini aniqlash hisoblanadi.



13.2-rasm. **Yengil avtomobil (a) va avtobusning (b) chiqarish shovqinini so'ndirgichlar.**

So'ndirgichlarda, asosan, ikki turdagi elementlar ishlatiladi:

1) dissipativli; 2) reaktivli. Dissipativli elementlar ishlatilgan gazlarning tolali materiallardagi g'ovaklar orqali oqib o'tishida energiyaning sochilishi hisobiga akustik energiyani issiqlikka aylantiradi.

Reaktiv elementlar bilan yutiladigan energiyaning asosiy ulushini to'lqinlarning qaytishi va impedanslarning mos kelmasligi tashkil etadi.

Chiqarish shovqini manbalarining tavsifi ishlatilgan gazlarning tizim orqali massali sarfi bilan nisbatlanadi, uning shovqinni so'ndirish tavsifi so'ndirgich hajmiga bog'liq bo'ladi. Uning hajmi dvigatelning asosiy parametrlari bo'yicha aniqlanadi:

$$V \approx K \frac{V_h}{n} \sqrt{1/i}, \qquad (13.4)$$

bunda: $K=35\cdot10^3$ – yuk avtomobillarining dvigatellari uchun; $K=50\cdot10^3$ – yengil avtomobillarning dvigatellari uchun. Shovqinni so'ndirish pulsatsiyalarning chastotasiga bog'liq bo'lib, ularning tekislanishiga silindrlar soni i ni ko'paytirish va aylanishlar chastotasi n ni o'sishi yordam beradi. Aylanishlar chastotasi 3000 min^{-1} dan yuqori bo'lganda so'ndirgichning tovush so'ndirish tavsifiga uning hajmi kam ta'sir qiladi, bu silindrlar soni to'rttadan ko'p bo'lgan dvigatellar uchun xarakterlidir. Bunda chiqarish shovqini asosan, IG oqimi bilan shakllanadi.

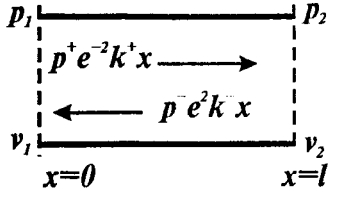
Tovush so'ndirgichlarning geometrik o'lchamlari joylashtirish bo'shlig'ining imkonidan kelib chiqqan holda aniqlanadi. Bunda eng kichik diametrli so'ndirgichlar, odatda, bir quvurli to'g'ri oqimli sxema bo'yicha rezonans kamerali qilib bajarilishi e'tiborga olinadi.

Tovush yutuvchi tiqin ishlatilgan holatda rezonansli tovush so'ndirgich uzunligini qisqartirish mumkin, lekin past chastotali doirada yuqori bo'lmagan samara saqlab qolinadi. Shovqin so'ndirish kattaligini oshirish uchun diametri kattalashtirilgan ko'p kamerali shovqin so'ndirgich ishlatilishi kerak.

Tovush so'ndirgichning uzunligini uning diametriga bo'lgan nisbati shovqinni so'ndirish kattaligiga va shovqinni so'ndiradigan chastotalar oralig'iga jiddiy ta'sir qiladi. Katta diametrli qisqa tovush so'ndirgich nisbatan tor chastotalar oralig'ida tovush so'ndirishning katta qiymatini beradi, bu vaqtda kichik diametrli tovush so'ndirgich kabi shovqinni tashkil etuvchini kengroq chastotalar oralig'ida so'ndiradi, bunda so'ndirish kattaligi kamayadi.

Kombinirlangan tovush so'ndirgichlar rezonansli kameralar tizimi ko'rinishiga ega, ularning konstruksiyasida shisha tolasi, bazalt tolasi, putanka (po'lat sim, briket bilan zichlangan) va metall keramika kabi tovush yutuvchi ashyolar ishlatiladi.

Tovush so'ndirgichlarni hisoblashda tizimning barcha elementlari bir o'lchovli deb qaraladi. Oddiy bir o'lchovli element devori biki r bo'lgan doimiy diametrli quvur hisoblanadi. Oddiy bir o'lchovli elementning akustik xususiyatini yoritadigan matritsa parametrlari to'g'ri va qaytarilgan to'lqinlar majmuasi kabi 13.3-rasmdan aniqlanadi:



13.3-rasm. To'g'ri quvur.

$$p(x)=F^+e^{ik+x}+p^-e^{ik-x};$$

$$V(x)=\frac{S}{\rho c}\left[p^+e^{-ik+x}-p^-e^{ik-x}\right], \quad (13.5)$$

bunda: p^+; p^- – mos holda to'g'ri va teskari to'lqinlarning tovush bosimi; $k=\omega/c$ – to'lqin soni; ω – aylana chastotasi; $k^+=k/(1+M)$; $k^-=k/(1-M)$; M – Max soni; S – ko'ndalang kesim yuzasi.

Tovush bosimi $p(x)$ ni va hajmiy akustik tezlik $V(x)$ ni hisoblash uchun quyidagi tenglamalardan foydalaniladi:

$$A = F\cos\left(\frac{kl}{1-M^2}\right);$$

$$B = Fi\rho c\sin\left(\frac{kl}{1-M^2}\right);$$

$$C = Fi\sin\frac{1}{\rho c}\left(\frac{kl}{1-M^2}\right); \qquad (13.6)$$

$$D = F\cos\left(\frac{kl}{1-M^2}\right).$$

bunda: $F = \cos\left(\frac{Mkl}{1-M^2}\right) - i\sin\left(\frac{Mkl}{1-M^2}\right)$.

Hisoblashda chiqarish tizimi uchastkalarga bo'linadi, ularning har birida o'rtacha harorat beriladi, matritsa parametrlari hisoblanadi, so'ngra esa quyidagi tenglamalardan foydalanib, barcha kesimlarni «tikish» amalga oshiriladi.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix}\cdots\begin{bmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{bmatrix}. \qquad (13.7)$$

Doimiy haroratda energiya, massa va harakatlar sonining saqlanishini chiziqlashtirilgan tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega (13.4-rasm):

$$p_1 + \frac{\rho c}{S_1}M_1V_1 = p_2 + \frac{\rho c}{S_2}M_2V_2 - \frac{\Delta p}{n-1},$$

$$S_1M_1p_1 + \rho cV_1 = S_2M_2p_2 + \rho cV_2 + S_2M_2\Delta p \qquad (13.8)$$

$$(S_2 + S_1M_1^2)p_1 + 2\rho cM_1V_1 = (S_1 + S_2M_2^2)p_2 + 2\rho cM_2V_2 + S_2M_2^2\Delta p,$$

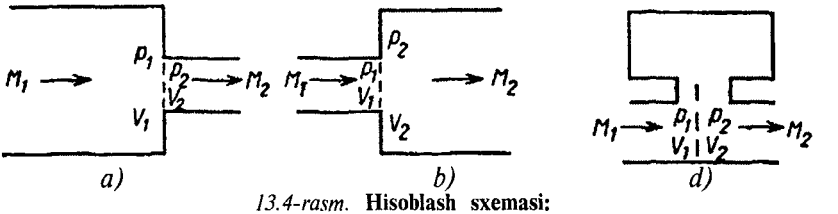
bunda: Δp – bosimning qaytmas isrofi.

Shahoblanish impedans Z orqali yon shahoblanishni hisoblash quyidagi kabi ifodalanadi:

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ V_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Z_B^{-1} & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} p_2 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

$$Z_B = \frac{R}{S_a} + i\left(\frac{X}{S_a} - \frac{\rho c^2}{\omega V_g}\right) \qquad (13.9)$$

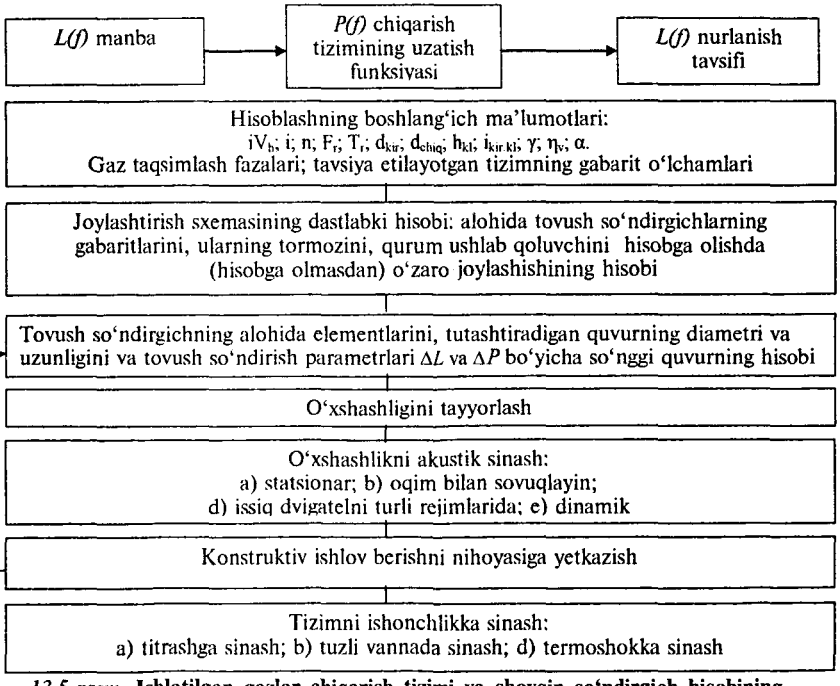
bunda: R va $X = \omega\rho t'$ – mos holda bo'g'izning aktiv va reaktiv solishtirma akustik qarshiligi; S_a – bo'g'izning ko'ndalang kesimi yuzasi; V_g – tovush so'ndirgich bo'shlig'ining hajmi; t' – bo'g'izning samarali uzunligi.



13.4-rasm. **Hisoblash sxemasi:**
a – kanalning torayishi; *b* – kanalning kengayishi; *d* – yon shahoblanish.

O'rtacha va yuqori chastotalarda kichik diametrli quvurlar uchun ham hisoblashda yuqorida keltirilgan ifodalardan foydalanish mumkin. Biroq bu chastotalarda kengayish kamerasining elementlarida ko'ndalang tebranishlarning rezonansi sodir bo'ladi, bu yassi bir o'lchovli to'lqinni tarqalish sharoitiga ta'sir qiladi. Bu holatda hisoblashning bir o'lchovli modeli haqiqiy obyektdagi tebranma hodisalar majmuasini monand yoritmaydi. Bu holatda yoki *modal tahlil usuli* yoki *so'nggi elementlar usuli* ishlatiladi. Modal usulidagi tahlilda gazsimon muhit uzluksiz deb qaraladi va tovush bosimining koordinatalarga bog'liqligini kameraning chegaralariga mos keladigan qilib beriladi.

Tovush so'ndirgichlarning hisobiga tatbiqan, so'nggi elementlar usuli istalgan shakldagi kameralarni modellash uchun qo'llanilishi mumkin. Usulning asosi ko'p kichik elementar, hajmlar majmuasi kabi hajmni izohlashni tashkil qiladi. Tovush bosimini aniqlash uchun har bir ele-



13.5-rasm. **Ishlatilgan gazlar chiqarish tizimi va shovqin so'ndirgich hisobining prinsipial sxemasi.**

mentar hajmda polinom ko'rinishida aniqlikning past tartibli taxminiy yechimi beriladi, unda noma'lum bo'lib amplitudalar hisoblanadi. Nihoyat, tizimning ko'rsatkichlari tajriba nusxa sinalgandan va maromiga yetkazilganidan so'ng aniqlanadi (13.5-rasm). Chiqarish tizimining laboratoriyada akustik sinovi sun'iy tovush manbalari yordamida bajariladi. Tizimning akustik va mexanik xususiyati haqiqiy dvigatelda sinashda baholanadi.

13.2. ISHLATILGAN GAZLARNI NEYTRALLAGICHLAR

Dvigatellarning IG ida zaharli tashkil etuvchilar miqdorini termik va katalitik neytrallash hisobiga kamaytirish mumkin. Birinchi holatda CH va CO larning CO_2 va H_2O ga yondirish to'g'risida so'z boradi. Bu usul faqat ishlatilgan gazlarning harorati 700°C dan yuqori bo'lganda samarali bo'ladi. *Termik reaktorlar* deb – nomlanadiganlar ishlatilganda IG ning har bir ulushini yuqori harorat doirasida turish vaqtini oshirishga aytiladi. Dvigatelning α=0,8...0,9 gacha quyuqlashgan aralashmada ishlagan holatida ishlatilgan gazlardagi uglevodorodlar miqdori taxminan 50% ga kamayadi. Ikkilamchi havo termik reaktor hajmiga tasma bilan yuritiladigan maxsus nasos orqali yoki chiqarish tizimidagi to'lqin hodisasidan foydalanish hisobiga uzatiladi. Dvigatelning quyuq aralashmalarda ishlashini tashkil etish zarurati, chiqarishdagi qarshi bosimni jiddiy ko'tarilishi (ikki martagacha), shuningdek, nasosni yuritishga energiyani sarfi yonilg'i sarfini anchaga (15% gacha) oshishiga olib keladi.

Suyuq aralashmalarda ishlaydigan dvigatellarda «issiq quvurlar» yoki «kambag'al» reaktorlar deb nomlanadiganlari ishlatilishi mumkin. Ularda oksidlash uchun IG dagi erkin kisloroddan foydalaniladi. Harorat nisbatan yuqori bo'lmasligi tufayli oksidlanish jarayoni sekinlik bilan kechadi, bu IG ning yuqori harorat doirasida bo'lish vaqtini uzaytirish maqsadida reaktorlar hajmini jiddiy ko'paytirishni, shuningdek, samarali issiqlik izolatsiyasini ham talab qiladi. Bunday reaktorlarning me'yorida ishlashi uchun havoning ortiqlik koeffitsiyentini juda tor oraliqda o'zgarishi talab qilinadi, bu ishlatilgan gazlarning yetarlicha yuqori qiymatli haroratida avtomobilning yurish sifatini qoniqarli holatda saqlash imkonini beradi.

Amaliyotning ko'rsatishicha, kimyoviy jarayonlarning kechishini energetik chegarasini kamaytirishga asoslangan ishlatilgan gazlarning katalitik neytrallash usullari samaraliroq hisoblanadi. Katalizatorlar reaksiyaning kechishi uchun talab qilingan haroratni taxminan ikki marta kamaytirishga imkon beradi.

Katalitik neytrallash tizimlari quyidagi belgilari bo'yicha tasniflanishi mumkin:

- *turi bo'yicha* – oksidlovchi (CO va CH larni oksidlash uchun), tiklovchi (NO_x dan azotni tiklash uchun) va CO, CH va NO_x larni neytrallaydigan uch komponentli;
- *vazifasi bo'yicha* – asosiy va ishga tushiruvchi;
- *ijrosi bo'yicha* – bir va ikki kamerali;
- *tashuvchining turi bo'yicha* – uyma yoki monolit tashuvchili;

- *tashuvchining ashyosi bo'yicha* – keramik yoki metall tashuvchili;
- *aktiv katalitik qatlam ashyosi bo'yicha* – asl metalli va oddiy ashyoli;
- *turli yonilg'ilarda ishlash imkoniyati bo'yicha* – etillanmagan benzinlarda ishlash uchun va qo'rg'oshin miqdori cheklangan benzinlarda ishlash uchun.

Aktiv katalitik qatlam bilan qoplangan sath bo'ylab ishlatilgan gazlarning o'tishida uchta asosiy jarayonga o'rin bo'ladi: adsorbsiya, kimyoviy reaksiyasining o'zi va desorbsiya.

Dastlab, *oksidlovchi turidagi neytralizatorlar* keng tarqalgan. Bunday katalitik neytrallovchining me'yorida ishlashi uchun erkin kislorodni mavjud bo'lishi talab qilinadi. Agar dvigatel $\alpha > 1$ bo'lganda ishlasa, IG da yetarlicha miqdorda kislorod bo'ladi. Umumiy holda benzinli dvigatellarda qo'shimcha kislorod ikkilamchi havo bilan katalitik neytrallagichdan oldin IG oqimiga kiritiladi. Oksidlovchi neytrallagichlarda quyidagi reaksiyalarning kechish tezligi ortadi:

$$H_nC_m + \left(m + \frac{n}{4}\right)O_2 \rightarrow mCO_2 + \frac{n}{2}H_2O$$

$$H_nC + 2H_2O \rightarrow CO_2 + \left(2 + \frac{n}{2}\right)H_2$$

$$CO + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO_2$$

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$$

Tiklovchi turidagi neytrallagichlarda quyidagi reaksiyalar ro'y beradi:

$$CO + NO \rightarrow \frac{1}{2}N_2 + CO_2$$

$$H_nC_m + 2\left(m + \frac{n}{4}\right)NO \rightarrow \left(n\left(m + \frac{n}{4}\right)_2 + \frac{n}{2}H_2O + mCO_2\right.$$

$$H_2 + NO \rightarrow \frac{1}{2}N_2 + H_2O$$

Sof tiklovchi turidagi neytrallagichlar hozirgi paytda qo'llanilmaydi, chunki ularning samarali ishlatilishi uchun dvigatel $\alpha < 1$ bo'lganda ishlashi kerak, bu esa avtomobilning tejamkorlik ko'rsatkichlarini yomonlashtiradi. Shunga o'xshash ikki kamerali neytrallagichlardan foydalanish ham maqsadga muvofiq emas, ularda kameralarning biri NO_x ni tiklash uchun, ikkinchisi esa CO va CH larni CO_2 va H_2O largacha oksidlash uchun xizmat qiladi. Shunga o'xshash tizimlarda oksidlash jarayoni uchun zarur bo'lgan kislorod ikkilamchi havo bilan ikkinchi kameradan oldin berilishi kerak.

Dvigatel quyuq aralashmalarda ishlaganida uning tejamkorlik ko'rsatkichlarini yomonlashishidan tashqari, bunday tizimlarning kamchiligiga birinchi tiklovchi kamerada hosil bo'ladigan ammiak $\left(\frac{5}{2}H_2 + NO \rightarrow H_2O + NH_3\right)$ ikkinchi kamerada qaytadan oksidlanib, azot oksidlarini hosil bo'lish holatini kiritish mumkin. Elektronikadan foy-

dalanilganda ham bu tizimga tegishli bo'lgan kamchilikni – ikkinchi kamerada azot oksidlari hosil bo'lib, ammiakning oksidlanishini tuzatishga imkon bermaydi. Bunga qaramasdan chiqarib tashlanadigan NO_x ning umumiy kamayishi 70...80% ni tashkil etadi.

Bu kamchilikdan uch komponentli neytrallagichlar holi hisoblanadi. Ular, odatda, bir kamerada bajariladi va ishlatilgan gazlardagi barcha uchta komponentni kamaytirish qobiliyatiga ega: CO, CH va NO_x. Ayrim paytlarda ulardan ikki kamerali tizimining birinchi kamerasi sifatida ham foydalaniladi. Uch komponentli neytrallagichlarning me'yorida ishlashi uchun dvigatelga kiradigan aralashmaning stexiometrik tarkibini ushlab turish talab qilinadi, chunki $\alpha=1$ bo'lganda ortiqcha kislorod mavjud bo'lmasligi tufayli yonilg'idagi uglerod va vodorodning oksidlanishi uchun qulay sharoit bo'ladi. Bu holatda mavjud bo'lgan kislorod datchigi (λ-zondlar) IG ning tarkibi bo'yicha dvigatelning ishlashini teskari bog'liqlik bilan tashkil etishga imkon beradi. Shuning uchun shunga o'xshash neytrallagichlarning qo'llanilishi elektron tizim bilan purkaladigan yoki elektron karbyuratorli dvigatellar bilan cheklanadi.

Biroq uch komponentli katalitik neytrallagichlardan foydalanilganda λ-zondlar qo'llanilmaganda ham chiqarib tashlanadigan zaharli komponentlarni 50% ga kamaytirishga imkon beradi. Uch komponentli katalitik neytrallagichlarda yuqorida keltirilgan barcha reaksiyalar kechadi.

Uch komponentli neytrallagichlarning asosiy kamchiligi havoning ortiqlik koeffitsiyentini juda tor oraliqdagi o'zgarishida dvigatel ishlashini tashkil etish zarurligi hisoblanadi, bu aralashma tarkibini bevosita boshqarishni mustasno qiladi. Aralashma tarkibini talab qilingan aniqligi faqat IG dagi erkin kislorod miqdorini o'lchash bo'yicha α ni tuzatish bilan rostlashni berk konturini qo'llashda erishish mumkin. λ-zondlardan olinadigan signal $\alpha=1$ bo'lganda sakrashsimon o'zgaradi. Zondning ishchi haroratigacha (300^0C dan yuqori) tezkor qizdirish uchun zamonaviy konstruksiyalarda elektr bilan qizitish qo'llaniladi, bu neytrallash tizimini tezroq ishga tushishini ta'minlaydi.

Uch komponentli katalizator bilan dvigatelning, asosan, $\alpha=1$ bo'lganda ishlashi hisobga olinsa, aralashmaning samarali suyuqlanish oralig'idan chetlanganligi tufayli bunday tizim bilan jihozlangan avtomobilning tejamkorlik ko'rsatkichlari birmunchaga yomonlashadi.

Noasl metall asosli katalitik neytrallagichlarning barchasini kamchiligi dvigatelni ishga tushirishda ularning samaradorligini kamligi va yonilg'ining oltingugurt bilan ifloslanishiga yuqori sezgirligi hisoblanadi. Bu ko'pincha qimmat turadigan ashyolar (platina, palladiy va rodiy) ni neytrallagichlarda ishlatishga sababchi bo'lib hisoblanadi. Ilgari ruteniy va iridiylar ham ishlatilgan. Uch komponentli neytrallagichlarda platina va rodiyning nisbati, odatda, 5:1 ni tashkil etadi. Bitta neytralizator uchun 1,5 dan 3 g gacha asl metallar sarflanadi. Platina o'rniga arzonroq bo'lgan palladiy ham ishlatilishi mumkin, lekin bu neytrallagichning foydalanish tavsifini yomonlashtiradi. Platinada oksidlanish jarayoni kechadi, rodiy esa azot oksidlarida azotni tiklashga yordam beradi.

Neytrallagich konstruktiv jihatdan flanesli metall korpus *1* dan (13.6-rasm) tashkil topgan, unda aktiv katalitik qoplama *3* bilan qoplangan tashuvchi *2* joylashgan. Tashuvchilar *uyma* (odatda, keramika asosida zarralar), *monolit keramik* va *metallarga* ajratiladi. Hozirgi paytda uyma tashuvchilar IG ning oqishiga gidravlik qarshiligining yuqoriligi, sekin qizishi va tebranishda sathlarining ishqalanib yeyilishi tufayli xizmat muddatining kamligi sababli deyarli ishlatilmaydi.

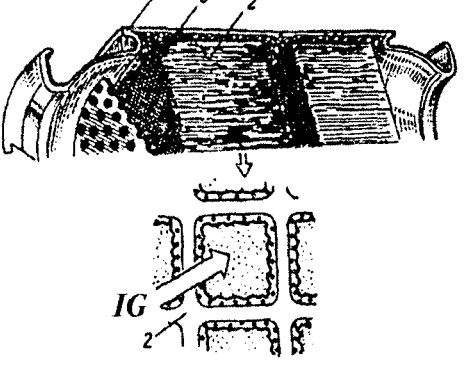
Hozirgi paytda tashuvchilarning ko'proq tarqalgani issiqbardosh keramika hisoblanadi. Ekstrudirlash (siqib chiqarish) usulida tayyorlangan monolit, odatda, oval yoki doira shakliga ega bo'ladi. U IG ning yo'nalishi bo'yicha kvadrat kanallar bilan singdirilgan (ko'ndalang kesimni 1 sm^2 da, odatda, 31, 46, 62, 93 kanal yoki ko'p). Tashuvchilar hajmiy kengayish koeffitsiyentining kamligi bilan farqlanadi va kanallarning o'tish kesimini yig'indisi ko'p bo'lganligi sababli gidravlik qarshiligi kattaligini kamligi bilan xarakterlanadi.

Monolit keramiklarning kamchiligi ularning mexanik yuklamalarga qarshi barqarorligining kamchiligi hisoblanadi. Shuning uchun keramik tashuvchilar va metall korpusning chiziqli va hajmiy kengayish koeffitsiyentlarining qiymatlarini turliligi natijasida sodir bo'ladigan kuchlanishni, shuningdek, yurishda mexanik ta'sirni bartaraf qilish uchun korpus va tashuvchi orasiga yuqori legirlangan simdan elastik metall tiqin *3* joylashtiriladi. Keramik tashuvchilarning ikkinchi kamchiligi ishchi haroratgacha (250°C dan yuqori) qizdirish uchun zarur bo'lgan vaqtni nisbatan ko'p bo'lishi hisoblanadi.

Hozirgi paytda tashuvchi sifatida issiqbardosh austenit po'latlarni kengroq ishlatish tendensiyasi ko'zda tutilmoqda. Ular 0,04...0,05 mm qalinlikdagi gofr folga ko'rinishida ishlatiladi. Folga metall korpusga kavsharlangan rulon shaklida o'ralgan. Dastlab metall tashuvchilar faqat ishga tushiruvchi neytrallagichlarda ishlatilgan. Metallni tashuvchi sifatida keng miqyosda qo'llanilishi bunday neytrallagichlarning bir qator afzalliklari bilan tushuntiriladi:

- ishchi haroratgacha tez qizishi;
- statik va dinamik mustahkamliligi yuqoriligi;
- o'zgaruvchan termik yuklamalarga chidamliligi;
- gidravlik qarshiligi kamligi;
- gabarit o'lchamlari kichik bo'lganda asl metallarning kam sarfida ko'p faol sathlarni amalga oshirish imkoni.

Metall folgalarni tayyorlash uchun ishlatiladigan po'lat, odatda, xrom, aluminiy, sirkon va kalsiy bilan legirlanadi.



13.6-rasm. **Katalitik neytrallagichning tuzilishi.**

Metall tashuvchilarning asosiy katalizatorlar uchun keng qo'llanilishi ularning narxini yuqoriligi bilan cheklangan.

Agar uyma tashuvchilar bevosita katalitik aktiv qatlam bilan qoplansa, monolit keramik va metall tashuvchilar esa ularning samaradorligini oshirish uchun avval maxsus oraliq qatlam aluminiy oksidi bilan qoplanadi. Unga ko'ra katalitik aktiv qoplamning samarali sathi jiddiy ko'payadi. Oraliq qatlamning qalinligi ko'p emas va O_2 ni yig'ilish qobiliyatini ko'paytiradigan, uglevodorodlar va CO ning suv bug'i bilan o'zaro ta'sirlanish reaksiyasini tezlashtiradigan promotorlar deb ataladiganni tashkil etadi.

Neytrallagichning me'yorida ishlashini ta'minlash uchun quyidagi kattaliklarni zarur oraliqlarda ushlab turish kerak:

- havoning ortiqlik koeffitsiyentini;
- IG haroratini;
- IG ning hajmiy sarfini neytrallagich hajmiga nisbatini.

Neytrallagichning samaradorligi o'zgartirish koeffitsiyenti K_i bilan baholanadi.

Dvigatel zaharli va kanserogen komponentlarni chiqarib tashlashida ishga tushirish va qizdirish rejimlarining «hissasi» ko'pligini e'tiborga olib, neytrallagichlarni ishchi haroratigacha yetarlicha tez qizdirishni ta'minlash maqsadga muvofiq hisoblanadi. Oksidlanish va tiklash jarayonlari 250°C haroratlar atrofida boshlanadi, lekin jarayonlarning samarali kechishi va neytrallagichlarning uzoqqa chidamliligini ta'minlash maqsadida 400...800°C harorat eng maqbul hisoblanadi. 800...1000°C harorat oralig'ida oraliq qatlamni katalitik faol qatlam bilan qizib birikishi boshlanadi, bu faol sathning qisqarishini va katalizator samaradorligining pasayishini keltirib chiqaradi. IG ning haroratini keyinchalik ko'tarilishi neytrallagichning termik eskirishini tezlashishiga mos holda uning samaradorligini pasayishiga olib keladi. Bunga bog'liq holda neytrallagich uning o'ta qizishini bartaraf qiladigan dvigateldan ma'lum oraliqda tovush so'ndirgichdan oldin joylashtirilishi kerak.

IG ning haroratini haddan tashqari ko'tarilish sabablaridan biri o't oldirishni anchaga kechikishi bo'lishi mumkin. O't oldirishdagi nosozlik IG haroratini 1400°C gacha va undan yuqoriga ko'tarish qobiliyatiga ega, bu tashuvchining erib ketishi tufayli qisqa vaqt davomida neytrallagichni ishdan chiqarishi mumkin. Shunga bog'liq holda elektron o't oldirish tizimlarini ishlatish katalitik neytrallagich tuzilmalarining ishonchliligini orttirishga yordam beradi.

Agar avtomobil katalitik neytrallagich bilan jihozlangan bo'lsa, dvigatelni ta'minlash uchun etillangan benzindan foydalanish qat'iyan man qilinadi, bu katalitik faol qatlamning juda tez «zaharlanishiga» olib keladi. Qo'rg'oshin birikmalarining zarrachalari katalitik qatlam g'ovaklarini to'ldirib qo'yadi va uning aktiv sathini kamaytiradi. Motor moylarining chala yongan mahsulotlarini ishlatilgan gazlar bilan chiqarib tashlanishi ham shunday oqibatlarga olib keladi.

Biroq neytrallagichlardan foydalanish qoidalariga qat'iyan rioya qilinganida ham ularning eskirish jarayoni ro'y beradi. Natijada 100 ming km

yurganidan so'ng IG dagi uglevodorodlarni, CO va azot oksidlarini 50% neytrallanishi sodir bo'ladigan harorat 100°C ga ko'tariladi, dinamikaga o'zgartiradigan koeffitsiyent 3...40% ga pasayadi.

Agar avtomobil katalitik neytrallagich bilan jihozlangan bo'lsa, u holda dvigatelni avtomobil bilan shatakka olib ishga tushirish taqiqlanadi, chunki chiqarish traktida yig'ilib qolgan benzinning chaqnashi neytrallagichni ishdan chiqarishi mumkin.

Dizellarni IG ini zararsizlantirish uchun yonilg'iga tutab chiqishga qarshi qo'shilmalarni kiritish, shuningdek, turli filtrlar va adsorberlar ishlatilishi mumkin. Azot oksidlari emissiyasini pasaytirish uchun tiklovchi muhitni barpo qilish kerak, bu dizel sharoitida IG dagi erkin kislorodning oksidlanishi uchun qo'shimcha yonilg'i sarfini talab qiladi. Shuning uchun dizellarning IG ini zaharliligini kamayishi faqat chiqarib tashlanadigan CO, uglevodorodlar va aldegidlarning ozayishi hisobiga bo'ladi. Agar dizelli avtomobildan cheklangan havo almashinuvi sharoitida foydalaniladigan bo'lsa, u holda IG ni qo'shimcha tozalash uchun suyuq neytralizator ishlatilishi mumkin. Bu holatda katalitik oksidlovchi neytrallagich atmosferaga chiqarib tashlashdan oldin IG dagi quyi spirtlarni, aldegidlarni va sulfat kislotani yutadigan suyuqlik neytrallagichgacha o'rnatiladi. Suyuq neytrallagichlarda suv eritmalari KOH va NaOH yoki tuz eritmalarini ishlatish maqsadga muvofiq. Oddiy suvni ishlatish ham yetarlicha samarali bo'ladi. Suyuq neytrallagichlar orqali o'tgan IG ning qorakuyasini turli qurum ushlagichlar yordamida tozalash soddaroq bo'ladi.

NAMI da chiqarish shovqini so'ndirgichining o'lchamlariga teng bo'lgan va uning o'rniga o'rnatiladigan *dizelni katalitik neytralizatorlari* ishlab chiqilgan. Ular yonilg'ining chala yonish mahsulotlarini alangasiz oksidlash uchun mo'ljallangan. Bir vaqtning o'zida IG ni tozalash bilan birgalikda ular tovush so'ndirgich vazifasini ham bajaradi. Neytrallagichlar karyer avtomobil-ag'dargichlari, og'ir avtopoyezdlar, dizel-generatorlar, kema dizellari, shuningdek, turli shahar avtobuslari va yuk avtomobillari uchun chiqariladi.

Dizellarda azot oksidlari emissiyasini kamaytirishga IG ni qaytadan ishlatish yo'li bilan erishiladi.

XIV BOB
DVIGATELLARNI ISHGA TUSHIRISH TIZIMI

Istalgan IYOD ni ishga tushirishda silindrlarining ishchi hajmini yangi zaryad bilan to'ldirish, yonilg'ini yonishga tayyorlash va valning ma'lum aylanishlar chastotasigacha aylantirish kerak.

Ishga tushirish tizimlariga asosiy talablar:

- ishga tushirishni amalga oshirishda vaqt va energiyaning kam sarfi;
- ishga tushirish tuzilmalari tashqi o'lchamlarining kichikligi;
- turli iqlim sharoitlarida ishonchli ishlashi.

Ishga tushirish tuzilmasi dvigatel valining aylanishini umumiy qarshiligini yengib, ishonchli ishga tushishi uchun valga yetarlicha aylanishlar chastotasini berishi kerak.

Birinchi chaqnashlar olinadigan eng kichik aylanishlar chastotasi *ishga tushiruvchi aylanishlar chastotasi* deb ataladi.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun bu chastota 35...50 min^{-1}, dizellar uchun esa – 150...200 min^{-1}.

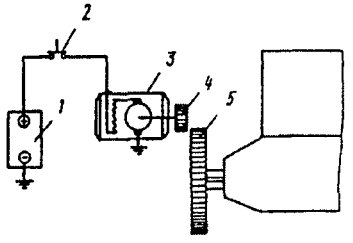
14.1. DVIGATELLARNI ISHGA TUSHIRISH USULLARI

Zamonaviy avtomobillarda va traktorlarda quyidagi *ishga tushirish usullari* qo'llaniladi:

- qo'l bilan;
- elektr startyor bilan;
- inersiya startyori bilan;
- siqilgan havo bilan;
- yordamchi ishga tushiruvchi dvigatel bilan;
- gidromotor yordami bilan.

Qo'lda ishga tushirish, odatda, rezerv hisoblanadi va uni qo'llash imkoni kam quvvatli dvigatellar bilan cheklanadi.

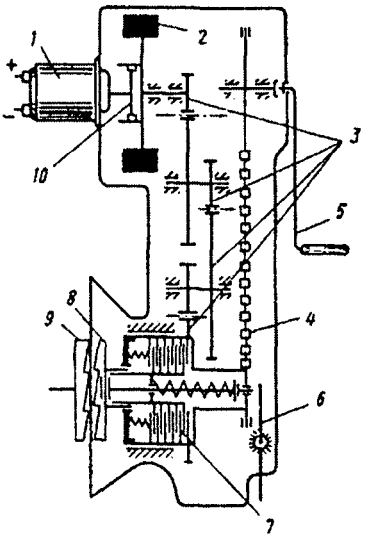
Elektr startyor bilan ishga tushirish kengroq tarqalgan. Bunday ishga tushirish tuzilmasining sxemasi 14.1-rasmda ko'rsatilgan. Elektr startyor *3* akkumulator batareyalari *1* dan ta'minlanadigan o'zgarmas tokli seriesli elektr dvigatel ko'rinishiga ega. Tugmacha *2* ulanganda elektr motor yakori aylana boshlaydi, startyor shesternasi *4* esa maxovikning tishli gardishi *5* bilan ilashib tirsakli valga aylanma harakatni uzatadi.



14.1-rasm. **Dvigatelni elektr startyor bilan ishga tushirish sxemasi.**

Inersion startyor bilan ishga tushirish maxsus maxovikni elektr dvigateli yoki qo'lda burashda uni to'playdigan kinetik energiyasidan foydalanishga asoslangan. 14.2-rasmda elektr inersion startyorlarning sxemalaridan biri ko'rsatilgan. Dvigatelni ishga tushirishdan oldin startyor maxovigi *2* mexanizm *10* orqali elektr dvigatel *1* yoki dasta *5* bilan zanjirli uzatma *4* va reduk-

tor shesternasi *3* orqali 6000...12000 min^{-1} gacha aylantiriladi. Ishga tushirishda richag *6* yordamida xrapovik *8* va *9* lar ilashadi va aylanma harakat maxovik *2* dan pasaytiruvchi reduktor va friksion mufta *7* orqali tirsakli valga uzatiladi. Ko'rsatilgan startyorning afzalligi qo'lda ishga tushirish mumkinligi, kamchiligi esa ishga tushirish uchun vaqtning ko'p sarflanishi hisoblanadi.



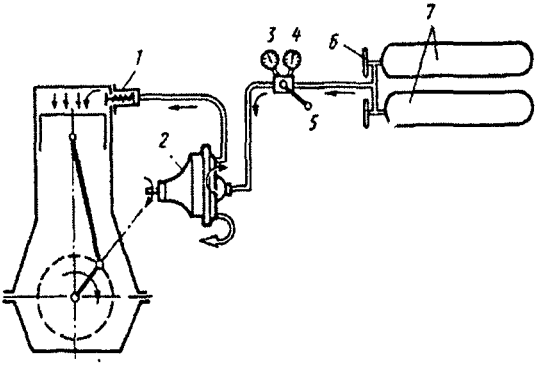
14.2-rasm. **Inersion startyorning sxemasi.**

Siqilgan havo bilan ishga tushirish yoki pnevmatik startyorni ishlatish bilan yoki dvigatel silindriga siqilgan havoni bevosita uzatish bilan amalga oshirish mumkin. Amaliyotda ikkinchi variant ko'proq qo'llaniladi. Uning prinsipial sxemasi 14.3-rasmda ko'rsatilgan. Siqilgan havo ballon *7* dan jo'mrak *6* orqali jo'mrak – reduktor *5*, havo taqsimlagich *2* va ishga tushirish klapani *1* orqali o'tib silindrlarning ishlash tartibiga muvofiq ularga kiradi. Kengayish taktida siqilgan havo porshenga bosim bilan ta'sir qilib uni siljitadi va tirsakli valni aylanma harakatga keltiradi. Ballondagi va dvigatelga tushadigan havoning bosimini nazorat qilish uchun manometr *4* va *3* lar mavjud.

Bu tizimning kamchiligi past haroratlarda silindrga havo o'tadigan kamera elementlarini sovishi tufayli dvigatelning ishga tushirishini qiyinligi hisoblanadi.

Ishga tushiradigan avtonom *mustaqil ichki yonuv dvigateli bilan ishga tushirish,* odatda, traktor dvigatellarini ishga tushirishda qo'llaniladi. Bu ishga tushirish, usulining, kamchiligi ishga tushirish tuzilmasining juda kattaligi va zarur ekspluatatsion ashyolar nomenklaturasini kengaytirish – dvigatelni ishga tushirish uchun yonilg'ini lozimligi.

Gidro ishga tushirish sxemasi bosimning gidrodinamik akkumulatori va gidromotoridan tashkil topgan. Bosim akkumulatori sifatida ishchi suyuqlik va havo bilan to'ldirilgan idishlar to'latiladi, ular havo bilan suyuqlikning aralashib ketishiga to'sqinlik qiladigan siljiydigan mem-



14.3-rasm. **Siqilgan havo bilan ishga tushirish sxemasi.**

brana bilan ajratilgan. Ishchi suyuqlik haydalishida gaz yostig'i siqilib, akkumulatorda bosim 30 MPa gacha ko'tariladi.

14.2. ISHGA TUSHIRISH ENERGETIKASI

Ishga tushirishda valda zarur bo'lgan moment quyidagilardan yig'iladigan **aylanishning qarshi ta'siri majmuasidan** aniqlanadi:

- ishqalanish kuchining qarshiligi;
- yordamchi agregatlarni yuritishga sarflanadigan energiya;
- gaz almashinuvidagi isrof (kiritish va chiqarish);
- dvigatelni ishga tushirish aylanishigacha tezlatishda harakatlanuvchi qismlarning inersiya kuchlarining qarshi ta'siri.

Sanab o'tilgan parametrlardan asosiylari ishqalanish kuchi ta'siri va yordamchi agregatlarning yuritishga energiya sarfi hisoblanadi.

Bu parametrlarning qiymati dvigatelning turi va ishchi hajmiga, moyning qovushqoqligiga hamda boshqa qator omillarga bog'liq. Hozirgi paytda har bir aniq dvigatel uchun atrof-muhitning ma'lum harorati uchun yetarlicha aniqlik bilan zarur bo'lgan ishga tushirish momenti kattaligini aniqlashga imkon beradigan analitik bog'liqliklar mavjud emas.

Shuning uchun amaliyotda turli tadqiqotchilar tomonidan taklif qilingan empirik bog'liqliklardan foydalanishga to'g'ri keladi.

Masalan, uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun A. M. Xvatkov tomonidan taklif qilingan formula asosida yotgan va R. N. Davtyan tomonidan ko'p sonli dvigatellarning sinash bo'yicha aniqlik kiritilgan bog'liqlikni tavsiya etish mumkin:

$$M_q = 23 \cdot 10^{-3}\ A_{dv}\ \nu^{0,365} n_{ish.tush}^{0,25}\ \text{[N·m]}, \qquad (14.1)$$

bunda: A_{dv} – dvigatel ishqalanish sathini xarakterlaydigan koeffitsiyent;

ν – moyning kinematik qovushqoqligi, St;

$n_{ish.tush}$ – ishga tushirish aylanishlar chostotasi, min^{-1}.

To'rt taktli dizellar uchun quyidagi bog'liqlikni tavsiya etish mumkin:

$$M_q = 80 r_{ishq} i V_n \quad \text{[N·m]}; \qquad (14.2)$$

bunda:

$$p_{ishq} = 0{,}19^4 \sqrt{\nu}\ , \ \text{MPa}.$$

Ma'lum bo'lgan qarshilik momenti va ishga tushirish aylanishlar chastotasi bo'yicha startyorning yoki boshqa ishga tushirish tuzilmasining zarur bo'lgan quvvati aniqlanadi (kVt):

$$N_{st} = \frac{M_q n_{ish.tush}}{9550}. \qquad (14.3)$$

Taxminiy hisoblashlar uchun statik ma'lumotlar M_q (N·m) va N_{st} (kVt) ishlatilishi mumkin:

- uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun $M_q = (10...20)\ iV_h$ va $N_{st} = (0{,}15...0{,}30) iV_h$;
- dizellar uchun $M_q = (40...70)$ va $N_{st} = (0{,}7...0{,}9)$ (kVt) iV_h; $i \geq 8$ va quvvati 220 kVt dan ko'p bo'lgan dvigatellar uchun $N_{st} \approx 0{,}4 iV_h$.

14.3. DVIGATELNING ISHGA TUSHISHINI OSONLASHTIRADIGAN VOSITALAR

Bu vositalarni funksional ikki asosiy guruhga ajratish mumkin: yonilg'i yoki ishchi aralashmaning ishonchli alangalanishiga yordam beruvchi va tirsakli valning buralish qarshiligini kamaytiruvchi tuzilmalar.

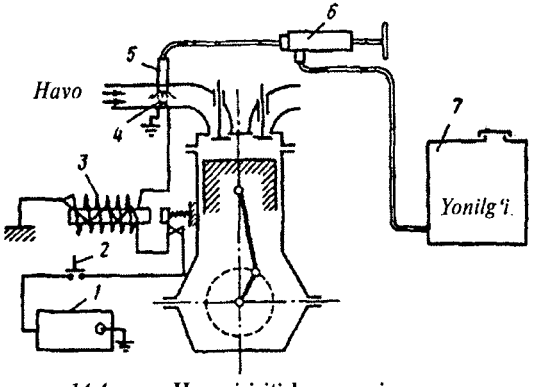
Birinchi guruh tuzilmalariga kiradi:

- kelib tushadigan havoni isitish;
- yonish kamerasini cho'g'lanuvchi sham bilan qizdirish;
- ishga tushirishda siqish darajasini oshirish;
- oson bug'lanadigan va oson alanga oladigan ishga tushiruvchi yonilg'ilarni ishlatish.

Ikkinchi guruh tuzilmalariga kiradi:

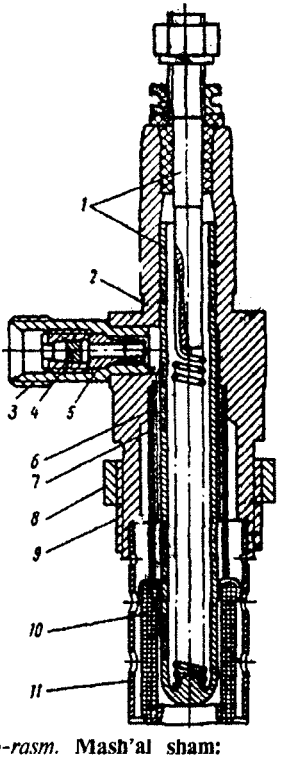
- dekompressorlar;
- suv va moy isitkichlar.

Past manfiy haroratlarda ishlatish uchun mo'ljallangan mashinalar uchun qoidaga ko'ra kombinirlangan tuzilmalar ishlatiladi.



14.4-rasm. **Havoni isitish sxemasi:** *1*–akkumulator batareyasi; *2*–ishga tushirish tugmachasi; *3*–o't oldirish g'altagi; *4*–sham; *5*–forsunka; *6*–nasos; *7*–yonilg'i baki.

Dvigatelga kelib tushadigan *havoni isitish,* ayniqsa, dizel uchun keng qo'llaniladi. 14.4-rasmda elektr mash'al isitkichning sxemasi keltirilgan. Dvigatelni ishga tushirishda kiritish quvuriga forsunka *5* orqali nasos *6* bilan yonilg'i purkaladi, u sham *4* dan alanga oladi. Bunda hosil bo'ladigan issiqlik harakatlanayotgan havoni, o'tkazuvchi quvur devorini va silindr devorini qizdiradi, natijada siqish takti oxiridagi harorat ko'tariladi va silindrga uzatiladigan yonilg'ining ishonchliroq alangalanishini ta'minlaydi.

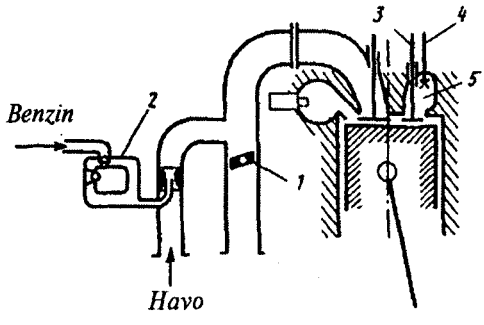


14.5-rasm. **Mash'al sham:** *1*–isitish elementi; *2*–korpus; *3*–yonilg'i keltiradigan shtutser; *4*–yonilg'i filtri; *5*–jiklyor; *6*–naycha; *7*–to'r; *8*–kontrgayka; *9*–kiritish quvuriga o'rnatish uchun korpusning rezbali qismi; *10*–hajmiy to'r; *11*–ekran.

KamAZ–740 dvigatelida bunday tuzilma sifatida mash'al sham, elektr magnit yonilg'i klapani, termoreleli qo'shimcha rezistor va almashlab ulagichni o'z ichiga olgan termostat ishlatiladi.

Mash'al sham (14.5-rasm) metall kojux ko'rinishidagi isitish elementiga ega, uning ichidagi maxsus to'ldirgichga spiral bosib o'rnatilgan. Yonilg'i isitish bo'shliq bo'yicha o'tadi, bug'lanadi va kiritish quvuri bo'ylab siljiyotgan havo bilan aralashib alangalanadi. Hosil bo'lgan alanga mash'ali silindrga kelib tushadigan havoni isitishni ta'minlaydi.

Dizelning yonish kamerasida cho'g'lanuvchi sham bilan havoni isitish ajratilgan yonish kamerali dizellarda qo'llaniladi. Ishga tushirishdan oldin sham elektr toki bilan 900 °C gacha haroratda qizdiriladi, bu siqiladigan havoni isishini va yonilg'ini ishonchliroq alangalanishini ta'minlaydi.



14.6-rasm. **Dizelni benzinda ishga tushirish tuzilmasining sxemasi.**

Dizelni benzinda ishga tushirish ishchi hajmi ko'p bo'lmagan dvigatellar uchun qo'llaniladi. Bu maqsad uchun silindr kallagida o't oldiruvchi shamli *4* qo'shimcha kamera *5* qurilgan, u asosiy kameradan klapan *3* bilan ajratilgan. Ishga tushirishda klapan ochiladi, siqish darajasi kamayadi, bu valning aylantirishda qarshilikni kamayishiga olib keladi. Ishga tushirishda dvigatel silindriga aralashmani uzatish uchun karbyurator *2* dan foydalaniladi (14.6-rasm).

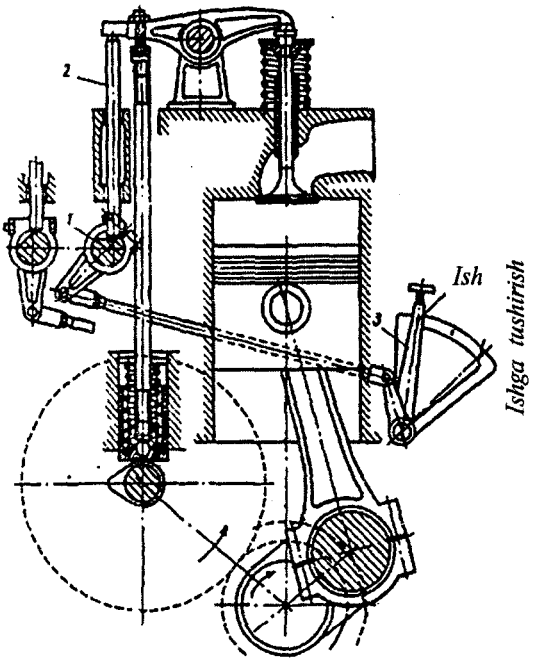
Dvigatel benzinda ishga tushirilganidan va qizdirilganidan so'ng klapan *3* berkitiladi, shtatli ta'minlash tizim orqali dizel yonilg'isini uzatish amalga oshiriladi, havo esa ochiq bo'lgan to'sma qopqoq *1* orqali yonish kamerasiga yo'naltiriladi va dvigatel odatdagidek dizel sifatida ishlay boshlaydi.

Arktika sharoitlarida dvigatellarni ishga tushirish uchun kiritish quvuriga purkaladigan, oson alangalanadigan suyuqliklardan keng foydalaniladi. Masalan, Fransiyada – bu «Polyar - start» moslamasi, Angliyada – «Kalteks» suyuqligi va boshqalar. Rossiyada bunday moslama NAMI da ishlab chiqarilgan. Dizellar uchun ham va uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun ham ishlatish uchun yaroqli bo'lgan bu ishga tushirish tuzilmasi 5ПП–40 va 6ПП–40.

Dizellar uchun Rossiyada ishlab chiqarilgan «Xolod D–40» quyidagi tarkibga ega, %: etil efiri – 58...62, izopropilnitrat – 13...17, petroleyn efiri – 13...17, gazturbinali dvigatellar uchun moyi – 10 gacha.

Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun shunga o'xshash suyuqlik «Arktika» tarkibiga kiradi, %: oltingugurt efiri – 45...60, gazli benzin – 35...55, izopropilnitrat – 1...6, yeyilishga qarshi qo'shilma – 2 gacha, oksidlashga qarshi qo'shilma – 0,5 gacha.

Dizellarni ishga tushirish uchun *dekompression tuzilma* keng qo'llaniladi, ulardan birining konstruksiyasi 14.7-rasmda keltirilgan. Richag *3* ni «ishga tushirish» holatiga o'rnatilganda sathida kesik bo'lgan val *1* buraladi va uning silindrik qismi shtanga *2* orqali koromisloga kuchni uzatadi va u klapanni ochadi, klapanlarning ochiq paytida dvigatel valini aylantirishga energiyaning sarfi jiddiy darajada kamayadi. Ishga tushirish aylanishlar chastotasiga erishganda dekompessor ajratib qo'yiladi va dvigatel odatdagidek dizel kabi ishlay boshlaydi.



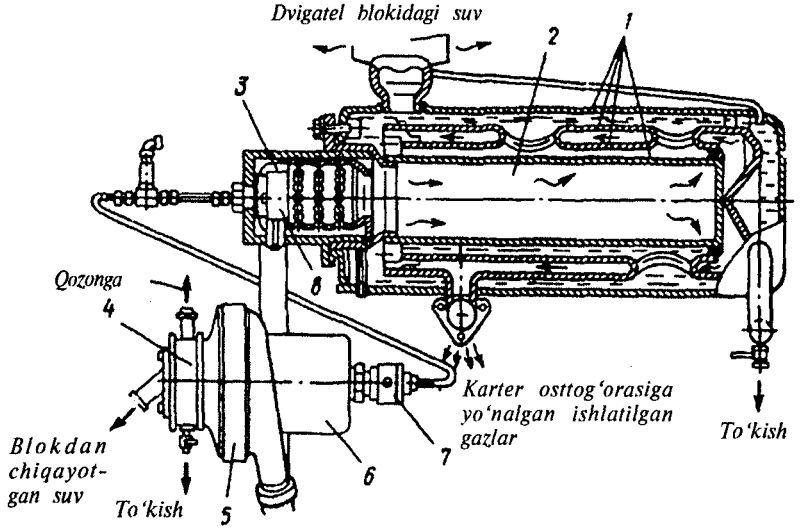
14.7-rasm. **Dekompressor mexanizmli gaz taqsimlash mexanizmining sxemasi.**

Sovuqlayin ishga tushirish muammosini maqbul hal qilish uchun dvigatelning sovitish tizimiga ulanadigan isitkich ko'rinishiga ega bo'lgan dvigatelni, sovitish suyuqligini va moylash tizimidagi moyni ishga tushirishdan oldin umumiy qizishini ta'minlaydigan kombinatsiyalangan tuzilmasidan foydaniladi.

Ko'rsatilgan tuzilmaning asosiy elementi bo'lib, nasos blokli qozon-isitkich hisoblanadi (14.8-rasm). Qoidaga ko'ra u ham dvigatel ishlaydigan yonilg'ida ishlaydi.

Suyuqlik bilan isitiladigan xususiy isitkich issiqlik almashgich va uchta yonilg'i, suv va havo nasosini o'z ichiga olgan elektr yurituvchi agregatdan tashkil topgan. Issiqlik almashgich ikki suv g'ilofini va gaz yo'lini hosil qiluvchi konsentrik joylashgan to'rtta po'lat quvur *1* ko'rinishiga ega.

Uyurmali yonish kamerasi *3* joylashgan o'txona *2* ga ega. Dvigatelni ishga tushirishga tayyorlash paytida elektr motor *6* ulanganda yonilg'i nasosi 7 yonish kamerasiga yonilg'i purkaydigan forsunkaga yonilg'ini uzatadi. Yonilg'ining dastlabki alangalanishi cho'g'lanuvchi sham *8* yordamida amalga oshiriladi, so'ngra sham uzib qo'yiladi. Yonilg'ining yonishi uchun zarur bo'lgan havo haydovchi *5* orqali uzatiladi. Issiqlik almashgich g'ilofidan issiq suyuqlik nasos *4* yordamida dvigatelni sovitish tizimiga yo'naltiriladi va uni isitadi, so'ngra issiqlik almashgichga qaytadi. IG issiqlik almashgichdan chiqib, moy osttog'ora (poddoni)ni yuvib o'tib moyni isitadi.

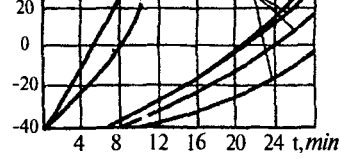


14.8-rasm. **Ishga tushirishdan oldin dvigatelni suyuqlikli isitkichi.**

Isitkichning samarali ishlashini namoyish qiluvchi misol sifatida 14.9-rasmda atrof havosining harorati −40°C bo'lganida ZIL−375 dvigateli silindr kallagi (1 egri chiziq), moyi (2 egri chiziq), o'zak podshipniklari (3 egri chiziq) ning haroratlarini isitish vaqtiga bog'liqligi ko'rsatilgan.

14.1-jadvalda Rossiyada ishlab chiqilgan avtomobillar va traktorlarning suyuqlikli isitgichlarning issiqlik texnik tavsiflari keltirilgan.

Hozirgi paytida kuch qurilmalarini loyihalash bosqichda isitkichning issiqlik ish unumdorligi quyidagi ma'lumotlarga asosan faqat taxminiy aniqlanishi mumkin. Ishonchli ishga tushirish uchun bloklar kallagining harorati 80...90 °C, o'zak podshipniklarning o'rtacha harorati esa 0...-5 °C bo'lishi tajribalar orqali o'rnatilgan. Ko'rsatilgan vaqtda nomlari keltirilgan haroratlarni olish uchun issiqlik unumdorligini (kJ/s) quyidagi ifoda bo'yicha hisoblash mumkin:



14.9-rasm. **ZIL−375 dvigateli elementlari haroratining isitish vaqtiga bog'liqligi.**

$$Q_n = \frac{K_i m_{dv} \Delta t_{podsh}}{60\tau}, \quad (14.4)$$

bunda: K_i −podshipniklarning shartli issiqlik sig'imi, kJ/(kg · °C); m_{dv} − dvigatel massasi; Δt_{podsh}−isitishdan oldin va isitishdan keyin podshipniklar haroratlarining farqi; τ − isitish vaqti, s.

NAMI ma'lumotlari bo'yicha ZIL−130 dvigateli uchun K_i=2,8kJ/(kg · °C), Rossiyada ishlab chiqarilgan boshqa dvigatellar uchun K_i ni 2,8...3,8 kJ/(kg · °C) ga teng deb qabul qilish mumkin. Bunda yuqori chegarasining massasi nisbatan kam bo'lgan dvigatellarga tegishli.

14.1-jadval

Ko'rsatkichlarning normlanishi	Issiqlik tashuvchi – sovitish suyuqligi ko'rsatkichlarining qiymati							
Vazifasi	Avtomobil uchun					Traktor uchun		
Isitkich belgisi	П-100	ПЖБ 6	ПЖБ 12	ПЖД 44	ПЖД 70	ПЖБ 22	ПЖБ 32	ПЖБ 44
Issiqlik ish unumdorligi, kkal/s	14000	5200	10300	38000	60000	18900	27500	37800
Yonilg'i turi	Benzin			Dizel yonilg'isi		Benzin		
Yonilg'i sarfi, l/s	2,0	0,9	1,8	6,5	10,0	3,5	4,5	6,5
Belgisi yoki avtomobil (traktor) turi	ZIL-130, Ural-375, LiAZ	GAZ-24, VAZ, AZLK	GAZ-66, GAZ-53A	MAZ, KrAZ, (YaMZ-236, YaMZ-238)	BelAZ, MAZ (D-12, YaMZ-240)	Traktorlar		

XV BOB
IYOD NAZORAT-DIAGNOSTIK OPERATSIYALARINING ASOSLARI

15.1. NAZORAT-DIAGNOSTIK OPERATSIYALARI DVIGATELLARNING ISHONCHLILIGINI TA'MINLASH VOSITASI SIFATIDA

Dvigatel texnik obyekt sifatida energetik quriima kabi uning sifatini aniqlaydigan xususiyatlari majmuasi bilan bo'linadi, uni miqdorli baholash uchun *tejamkorlik, quvvat, ekologik* va *foydalanish* ko'rsatkichlari ishlatiladi. Dvigatelning ishlashida bu ko'rsatkichlarning boshlang'ich qiymatlarini muqarrar ravishda yomonlashishi kuzatiladi, chunki ishqalanuvchi sathlarning yeyilishi, ayrim detallarning plastik deformatsiyalanishi va toliqishdan buzilishi, tizim va mexanizmlarning rostlanishini buzilishi va boshqalar tufayli uning texnik holatini uzluksiz o'zgarishi sodir bo'ladi. Dvigatelning texnik holati strukturali parametrlarining qiymatlarini xarakterlaydigan, foydalanish jarayonida o'zgaradigan xususiyatlar majmuasi bilan aniqlanadi: texnik hujjatlarda o'rnatiladigan S1, S2, ..., Si, ..., Sn. Dvigatelning ishchi jarayoni va uning alohida tizimlari asosan bog'liq bo'lgan bunday strukturali, yoki ularning *to'g'ri parametlari* deb ataladiganiga quyidagilar kiradi:

- yeyilishi mumkin bo'lgan detallarning geometrik o'lchamlari;
- detallarning shakli va ular sathinining holati;
- tutashmadagi tirqishlar;
- rostlanadigan parametrlar qiymatlari va boshqalar.

Me'yorlar bilan strukturaviy parametrlarning nominal S_n va chegara S_{ch} qiymatlari o'rnatiladi. Yangi dvigatelning texnik holatiga strukturaviy parametrning nominal qiymati, texnik va iqtisodiy sabablarga ko'ra keyinchalik foydalanishga noloyiq bo'lgan texnik holatiga esa strukturaviy parametrning chegaraviy qiymati mos keladi.

Foydalanish boshlangan paytdan dvigatelning ishlashini davomiyligi motosoat yoki o'tilgan kilometr masofalarda ifodalanadi va *ishlash muddati* deb ataladi. Texnik hujjatlarda aniqlanadigan, dvigatel ishlash muddatining chegaraviy qiymati *motoresurs* deb ataladi.

Texnik hujjatlarda o'rnatilgan oraliqda berilgan parametrlarning qiymatini saqlagan dvigatelning holati *ishlash qobiliyati* deyiladi. Agar dvigatelni motoresurs chegarasidan o'tkazib foydalanishi davom ettirilsa, *ishlamay qolishi*, ya'ni ishlash qobiliyatining buzilish holati sodir bo'ladi. Ishlash qobiliyati bilan foydalanish davrida sodir bo'ladigan dvigatelning texnik holatining barcha o'zgarishlarini aks ettiradigan uning eng muhim sifati bo'lgan *ishonchliligi* bog'langan. Ishonchlilikning eng muhim xususiyati bo'lgan dvigatellarning buzilmaslik va uzoqqa chidamliligini yaxshilash foydalanishda uchraydigan buzilishlarining sinchkovlik bilan o'rganishga asoslangan.

Buzilishlarni asta-sekin va to'satdan buzilishlarga bo'lish qabul qilin-

gan. Asta-sekin buzilish avvalombor, detallarning yeyilishi bilan bog'liq. Ular ishlash jarayonida shakllanadi va odatda, ancha ko'p yoki kam vaqt oralig'ida sodir bo'ladi. Ularga porshenlar va porshen barmoqlarini, silindr gilzasini, podshipniklarni, klapanlar uyalarini va boshqa detallarning yeyilishi keltirib chiqaradigan buzilishlarni kiritish mumkin.

To'satdan buzilish kutilmaganda sodir bo'ladi va turli sinishlar va to'satdan ishdan chiqishlar, darz ketishlar, qadalib qolishlar, harakatlanuvchi detallarning osilib qolishi va boshqalar tufayli dvigatelning bir yoki bir nechta berilgan parametrlarini sakrashsimon o'zgarishida namoyon bo'ladi.

Asta-sekin buzilish dvigatellar uchun ustuvor va tabiiyroq bo'lib hisoblanadi.

Hozirgi paytda foydalanish jarayonida konstruktiv – texnologik vositalar bilan dvigatel ishonchliligini yetarlicha texnik darajada ta'minlashga imkon bo'lmayapti, shuning uchun *texnik xizmat* va *ta'mirlash tizimi* deb ataladigan texnik ta'sir qilish majmuasidan foydalaniladi.

Dvigatellarga texnik xizmat ko'rsatish va ta'mirlashda qo'llaniladigan tizim buzilishlarning sodir bo'lishini fizik tabiatiga asoslanadi. Masalan, dvigatelning ishga yaroqliligini yo'qolishida to'satdan buzilishning ulushi ko'p emas, uni oldindan ko'ra bilish mumkin emas, sodir bo'lishi bilan bartaraf qilinadi.

Bashorat qilish mumkin bo'lgan asta-sekin buzilishni bartaraf qilish uchun buzilishlar va nuqsonlarning ancha ulushining oldini olish, chegaraviy holatga erishguncha detal, uzelning boshlang'ich yoki unga yaqin texnik holatiga tiklash uchun mo'ljallangan profilaktik tadbirlar majmuasi ishlatiladi.

Profilaktik ishlarni tashkil etishda ikki asosiy yondashish ma'lum. Birinchi yondashishga muvofiq texnik xizmat va ta'mirlashlar *rejali tartibda* (muntazam ravishda, dvigatelning ishlashini ma'lum davr oralig'ida va ko'rsatilgan hajmda) texnik holat parametrlarini me'yoriga yetkazish bilan amalga oshiriladi. Bunda xizmat qilish va ta'mirlash orasidagi oraliq, ularning hajmi va mazmuni profilaktik ishlarni o'tkazish paytida ma'lum konstruksiya va uning texnik holati uchun olingan o'rtacha statik ma'lumotlarga asosan o'rnatiladi. Amaliyotda tiklash ishlarining o'z vaqtida bajarilmasligi va ularning hajmi hamda mazmunini dvigatelning haqiqiy holatiga mos kelmasligi tufayli foydalanishdagi xarajatlarning ko'payishiga olib keladi.

Boshqacha yondashish dvigatelning texnik holati paramertlarining ko'rsatilgan davriylik bilan nazorat qilishni ko'zda tutadi. Agar nazorat paytida qandaydir parametrning haqiqiy qiymati ruxsat etilgan chegaradan tashqariga chiqsa, faqat bu holatda texnik holat parametrini nominal qiymatiga keltirish bilan tiklash ishlari qo'llaniladi. Dvigatelning haqiqiy texnik holatiga asosan texnik xizmat va ta'mirlashlarni o'tkazish, uning ishlamasdan qolishini kamaytiradi hamda kafolatlangan buzilmasdan ishlashini ko'paytiradi.

Dvigatelning haqiqiy texnik holatini baholash texnik diagnostikalash usuli va vositalari bilan amalga oshiriladi.

Texnik diagnostika diagnostikalash obyektlarining texnik holatini tadqiqot qilishni, uning aniqlash usulini ishlab chiqishni o'z ichiga oladi va

diagnostikalash tizimlarini qurish va foydalanish tamoyillarini ta'riflaydi.

Dvigatelni diagnostikalash deganda uning umumiy texnik holatini, shuningdek, uning alohida uzellari va tizimlarining holatini aniqlash jarayoni tushuniladi. Diagnostikalash protsedurasi to'liq yig'ilgan foydalanishda bo'lgan dvigatellarda qo'llaniladi va ularni qismlarga ajratmasdan bajariladi. Bunda ishlatiladigan barcha usullar va vositalar buzmaydigan bo'lishi kerak.

Resursni cheklash bilan erishiladigan va toza statik asosga asoslanadigan ishonchlilik kafolatidan farqli o'laroq, foydalanish ishonchliligini ta'minlash dvigatelning texnik holatini baholashga yakka va aniq yondashishni talab qiladi; bunda diagnostik vositalar yordamida har bir dvigatel bo'yicha ma'lumot bevosita olinadi.

15.2. DVIGATEL DIAGNOSTIK PARAMETRLARINI SHAKLLANTIRISH

Texnik diagnostikalashning natijasi bo'lib, dvigatelning texnik holatini, uning uzellari va detallarini bevosita xarakterlaydigan struktura parametrlarining qiymatlarini aniqlash hisoblanadi. Nazorat qilinadigan paramertlarning qiymatlarini foydalanish davomida o'zgarish qonunini hisobga olish bilan qoldiq resursni baholash uchun uning haqiqiy va chegara qiymatlarini bilish kerak. Biroq ishlayotgan dvigatelda ko'p strukturali parametrlarni haqiqiy qiymatlarini aniqlash amaliy jihatdan mumkin emas. Dvigatelni qismlarga ajratishda ularni aniqlash qayta yig'ilgan dvigatel tutashmalarida jarayonlarni buzadi va ularni kechish qonuniyatini o'zgartiradi, bu bunday ma'lumotlar olish usulidan foydalanishni amaliy jihatdan qo'llab bo'lmasligini ko'rsatadi. Bu holatda diagnostikalash *bevosita belgilar* bo'yicha o'tkaziladi, u son jihatdan *diagnostik parametrlar* bilan baholanadi.

Dvigatelning butunligicha, uning tizimlari, mexanizmlari va alohida detallarining texnik holatini aniq baholashga imkon beradigan kerakli va yetarlicha diagnostik parametrlar sonini aniqlash dvigatelda kechadigan fizik jarayonlar tahliliga va ularning rivojlanish qonuniyatlariga asoslanadi.

Diagnostikalash jarayonining mukammalligiga bog'liq holda dvigatelni diagnostikalash umumiy va mahalliyga bo'linadi.

Umumiy diagnostikalash dvigatelning asosiy parametrlarini miqdoriy baholash yo'li bilan uning ishga yaroqliligini nazorat qilish maqsadida o'tkaziladi. Bunda diagnostik parametrlar sifatida samarali quvvat, yonilg'i sarfi, ishlatilgan gazlar tarkibi, shovqin va titrash darajasi, moy bosimidan foydalaniladi.

Dvigatelning *samarali quvvatini aniqlash* uchun tormozli va tormozsiz usullar ishlab chiqilgan.

Tormozli usullar, asosan, avtomobil dvigatellarini diagnostikalash uchun qo'llaniladi va yurish barabanli tortqi stendlaridan foydalanib, avtomobilning g'ildiragi tomonidan dvigatelni yuklantirish amalga oshiriladi. Bu holatda tormoz momenti gidravlik, elektr yoki inersion yuklantirish tuzilma (qurilma)lari bilan barpo qilinadi. Dvigatelning samarali quvvati avtomobilning g'ildiragidagi quvvati N_e, avtomobilni transmissiyasidagi va stenddagi mexanik isroflarini hisobga olgan holda quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi:

$$N_e = \frac{N_q}{\eta_{tr}\eta_{st}}, \qquad (15.1)$$

bunda: η_{tr} va η_{st} – mos holda transmissiya va stendning FIK.

Diagnostikalashning *tormozsiz usuli* oddiyroq hisoblanadi va uni amalga oshirish uchun maxsus tormoz qurilmalaridan foydalanishni talab qilmaydi.

Tormozsiz yuklantirishning eng oddiy usuli faqat silindrlarni o'chirib qo'yish hisobiga yuklantirish hisoblanadi. Bu usul uning silindrlarini navbat bilan ishlashini to'xtatib-barpo qilinadigan yuklama hisobiga tirsakli valning aylanishlar chastotasining pasayishini o'lchashdir. Bu maqsad uchun dvigatelning qizish harorati me'yoriga yetgandan so'ng dizellarda yonilg'i uzatish uzib qo'yiladi. Ishlamayotgan silindr kompressiya hisobiga dvigatelni yuklantiradi. Ishlamayotgan silindrning quvvati qancha kam bo'lsa, u uzib qo'yilganda tirsakli valning aylanishlar chastotasi shunchaga kam pasayadi.

Valning aylanishlar chastotasining pasayishini me'yoridagisi bilan taqqoslab, ko'rsatilgan quvvatga erishmayotgan dvigatel silindri aniqlanadi. Dvigatelning tezlashish tavsifi bo'yicha ham uning quvvatini tormozsiz aniqlash usuli ishlab chiqilgan. U yonilg'ini to'liq uzatishda tirsakli valning eng past barqaror salt yurishidagi aylanishlar chastotasidan eng yuqori aylanishlar chastotasigacha uning tezlashish jadalligini o'lchashdan iborat bo'ladi. Bunda dvigatelning yuklanishi, bu dvigatel uchun doimiy qiymatga ega bo'lgan harakatlanuvchi massalarining inersiya kuchi hisobiga amalga oshiriladi.

Ko'rsatilgan usulda dvigatelning quvvati N_e quyidagiga teng bo'ladi:

$$N_e = \frac{In}{9500}\frac{d\omega}{dt}, \qquad (15.2)$$

bunda: I – dvigatelning barcha harakatlanuvchi massalarini uning tirsakli vali o'qiga keltirilgan inersiya momenti; ω – dvigatelning tirsakli valini burchak tezlanishi; n – dvigatel tirsakli valining aylanishlar chastotasi.

Umumiy diagnostikalashda samarali quvvat bilan parallel ravishda yonilg'ining sarfi ham o'lchanadi. Yonilg'i sarfini aniqlash uchun *o'lchov idishi, massali qurilma, rotometrlar* yoki *taxometrik fotoelektrik sarf o'lchagichlari ishlatiladi.*

Samarali quvvat va yonilg'i sarfi dvigatelning umumiy holatini muhim obyektiv ko'rsatkichi hisoblanadi, lekin bu tizimlar va mexanizmlarning, shuningdek, ularning rostlanishini texnik holatini aks ettiruvchi majmua parametrlaridir.

Dvigatelning texnik holati to'g'risida uning akustik nurlanish xarakteri bo'yicha ham fikr yuritish mumkin. Ishlayotgan dvigatelda shovqin o'zak va shatun podshipniklarini porshen barmoqlarini, porshenlarning taqillashi, klapanlarning tebranishi, tirsakli valning buralma tebranishi, chiqarish va kiritish uzatuvchi quvurlarida gazlarning tebranishi, karbyuratorli dvigatelda detonatsiya to'g'risida guvohlik berishi mumkin.

Rostlanishlarning buzilishi va yeyilishning mavjudligi tufayli detallar tutashmasida tirqishning o'zgarishi keltirib chiqaradigan, dvigatelning texnik

holatini yomonlashishi, shuningdek, aralashma majburiy o't oldiriladigan dvigatellarda ta'minlash va o't oldirish tizimlarining nosozligi ham shovqinning yuqori bo'lishini, uning nobarqaror ishlashini keltirib chiqaradi.

Dvigatel shovqinining asosiy tavsifi sifatida dvigatel yuklamasiz va yuklama bilan ishlayotganda uning atrofida o'lchangan shovqin darajasini qabul qilish mumkin.

Hozirgi paytda ishlatilgan gazlarni zararli moddalari bilan atrof-muhitning ifloslanishini aniqlaydigan parametrlari bo'yicha dvigatelni diagnostikalash ko'proq ahamiyatga ega bo'lmoqda. Ishlatilgan gazlarning tarkibi asosan silindr-porshen guruhi detallarining yeyilishi va ta'minlash tizimining texnik holatiga bog'liq. Shuning uchun gazlar tahlilining natijalari bo'yicha dastlab ta'minlash tizimi rostlanadi, so'ngra yeyilish keltirib chiqargan dvigatelning nosozligini baholash mumkin bo'ladi.

Dvigatelni umumiy diagnostikalash tugallanganda, uning chiqish parametrlari me'yoridan chetlangan bo'lsa, mexanizm, uzel, detallarni ishga yaroqliligi yo'qolishini izlash maqsadida *elementlari* (*mahalliy*) bo'yicha *diagnostikalashda* amalga oshiriladi. Elementlar bo'yicha diagnostikalashda odatda, KSHM va gaz taqsimlash mexanizmi, ta'minlash tizimining detallari tekshiriladi. Bunda mahalliy diagnostikalash dvigatelning foydalanish ko'rsatkichlariga ko'proq darajada ta'sir qiladigan detallaridan boshlanadi. Bunday detallarga birinchi navbatda silindr-porshen guruhi detallari va tirsakli valning ichquymasi kiradi.

Foydalanish jarayonida silindr-porshen guruhi detallarining texnik holatini yomonlashishi halqasimon zichlanish orqali gazlarning karterga yorib o'tishi tufayli ishchi jismning bir qismini isrof bo'lishiga, indikator ishning kamayishiga, havoning ortiqlik koeffitsiyentini pasayishiga, yonilg'ining parchalanish va chala yonish mahsulotlari bilan moyning to'yinishini tezlashishiga olib keladi. Bunda moyning kuyishga bo'lgan solishtirma sarfi ko'payadi. Ishlatilgan gazlarda uglerod oksidi va vodorod kabi yonilg'ini chala yonishini xarakterlaydigan tashkil etuvchilarining miqdori keskin ortadi.

Silindr-porshen guruhi uchun quyidagi struktura parametrlari ariqchaning balandligi bo'yicha porshen va halqa orasidagi, porshen halqalari tutashmasidagi, yuqori belbog'ida silindr va porshen orasidagi tirqishlar o'rnatiladi. Bilvosita diagnostik parametrlar sifatida moyning kuyishga sarfi, gazlarnig karterga yorib o'tishi yoki ularning karterdagi bosimi silindrga uzatilayotgan siqilgan havoning sarfi, dvigatel silindrlarida siqish taktining oxiridagi bosim, titrash tavsifi, yeyilish mahsulotlarining moydagi miqdori va sifatli tarkibi, ishlatilgan gazlarning tutab chiqishi.

KSHM ning podshipnikli tugunlarini struktura parametrlari bo'lib, tirsakli val podshipniklaridagi va shatunning porshen kallagi vtulkasidagi tirqishlari, o'zak podshipniklaridagi o'q bo'ylab tirqishi hisoblanadi. Bu parametrlar podshipnikli tugunlarning yuk ko'tarish qobiliyatini va moy qatlamidagi bosimni, ishqalanish sharoitini va issiqlik ajralib chiqishini, moy sarfini va boshqalar belgilaydi. Dvigatel detallarining bu guruhlari uchun bevosita diagnostik parametrlar sifatida moyning sarfi, moy tizi-

mining bosh moy magistralidagi moyning bosimi, tirsakli valning o'q chizig'iga nisbatan porshenning erkin yo'li yoki titrash tavsifi tanlanadi.

Gaz taqsimlash mexanizmining diagnostikalashda struktura parametrlariga klapanning yo'naltiruvchi vtulkasi va uning sterjeni orasidagi, taqsimlash vali podshipniklaridagi, klapan hamda klapan yuritmasi orasidagi tirqishlar kiradi. Bevosita parametrlar bo'lib, siqishni oxirida dvigatel silindrlaridagi bosim, IG dagi is gazining miqdori, mexanizmdagi shovqin darajasi va titrashlar hisoblanadi.

Dvigatelni qismlarga ajratmasdan uning asosiy mexanizmlari va uzellarini texnik holatini baholashga imkon beradigan, yuqorida ko'rib chiqilgan bevosita diagnostik parametrlarga mos holda elementlari bo'yicha diagnostikalashning quyidagi usullari ishlab chiqilgan: • moyning kuyishini va dvigatel silindrlarini porshen usti hajmlari zichligini aniqlash; • vibroakustik; • karter moyining spektral tahlili; • ishlatilagan gazlar tarkibini tahlil qilish va boshqalar.

Moyning kuyishini aniqlash usuli tekshiriladigan dvigatelning moyi to'kilganidan so'ng olingan moy massasi, dvigatelning mos kelgan davrda foydalanishda, ularning shunday modeli uchun etalon chegarasi bo'lgani bilan taqqoslashga asoslanadi. Bu usul, asosan, silindr-porshen guruhi detallarining texnik holatini baholashda qo'llaniladi. Ularning chegaraviy yeyilishida moyning sarfi 3...5 martaga va undan ko'pga ortadi. Biroq bu parametrning diagnostik parametr sifatidagi ahamiyati ko'rsatilgan guruh detallarining yeyilishidan tashqari moyning sarfiga dvigatelning yuklamasi va issiqlik rejimlari, karterdagi gazlar bosimi, zichlagichlar holatini yomon bo'lishida (salniklar, qistirmalar) blok-karterdagi nozichlik orqali moyning silqishini ta'sir qilishi tufayli kamayadi. Bularga bog'liq holda moyning anchaga kuyishida silindrlar, porshenlar, halqalarning texnik holati to'g'risida yakuniy xulosa chiqarish uchun uning boshqa usullar bilan tasdiqlanishi talab qilinadi.

Silindr-porshen guruhi detallarining yeyilishini, klapanlarning o'tirish zichligini baholash uchun foydalaniladigan *yonish kamerasi zich bekilishini aniqlash usuli* gazlarning karterga yorib o'tishini baholashga, klapanlar berk bo'lganida silindrlardan siqilgan havoning sizishiga, shuningdek, siqish takti oxirida silindrdagi gazlarning bosimiga ham asoslangan.

Gazlarning karterga yorib o'tishini o'lchash moy quyish bo'g'ziga o'rnatilgan gaz hisoblagich bilan amalga oshiriladi. Bu usul karter gazlarining mumkin bo'lgan boshqa barcha chiqish joylarini jipsliligini talab qiladi. O'lchashda dvigatelning to'liq yuklamasiga va bu turdagi IYOD ning berilgan aylanishlar chastotasiga mos keladigan ish rejimi hosil qilinadi. Dvigatelni ta'mirlash davrigacha foydalanishda gazning karterga sizishi 7...12 martaga ortishi o'rnatilgan. Bu usulning kamchiligi gazlarning karterga sizishini ko'payish sababini aniqlash qiyinligi, shuningdek, sizishini tezlik va yuklama rejimlariga bog'liqligi hisoblanadi.

Yonish kamerasining jipsligini va mos holda silindr-porshen guruhi detallarining, klapan zichligini va silindrlar kallagi qistirmasining texnik

holatini forsunka yoki o't oldirish shami uchun teshikdan siqilgan havo berish bilan aniqroq baholash mumkin. Tekshiriladigan silindr porshenini siqish jarayonini boshlanish holatiga mos keladigan qilib o'rnatilganda (barcha klapanlar yopiq) havoning ko'p miqdorda sizishi porshen halqalarining yeyilganligi to'g'risida guvohlik beradi. Siqish taktida porshen holati YUCHN ga yaqin bo'lganda havoning sizishi 15% dan ortiq bo'lsa, bu silindrlarning ko'p yeyilganligini ko'rsatadi. Klapan orqali havoning sizishini eshitish, silindr kallagi qistirmasining holati radiator bo'g'zida pufakchalar sodir bo'lishi bo'yicha aniqlanadi.

Yonish kamerasining jipsliligi tirsakli valni startyor bilan aylantirishda kompressometr bilan siqish oxirida o'lchangan silindrdagi bosim kattaligi bo'yicha ham tekshiriladi. Bunday diagnostikalashning ishonchliligiga tirsakli valning aylanishlar chastotasini o'zgaruvchanligi ta'sir qiladi. Bundan tashqari yonish kamerasining jipsliligi yetarlicha bo'lmaganligiga javobgar bo'lgan aniq tutashmani ko'rsatib, nuqsonni mahalliylashtirishga imkon bermaydi.

Ishchi jarayonga yo'ldosh bo'lgan dvigatel elementlarining o'zaro kuchlar ta'siri uning konstruksiyasida mexanik tebranish (titrash)larni uyg'otish va tarqalishiga olib keladi, uning atrofidagi havo muhitida esa tovush tebranish (shovqin)larini keltirib chiqaradi. Dvigatelning texnik holatini titrash va shovqin parametrlari bo'yicha aniqlash *vibroakustik diagnostika* deb ataladi.

Vibroakustik diagnostika uchun titrash ko'proq qiziqish uyg'otadi, uning sababi mexanizmlarning kinematik juftlaridagi (porshen-silindr, klapan-o'rindiq, barmoq-shatunning porshen kallagi va boshqalar) zarbalar hisoblanadi. Ular bevosita dvigatelning elementlari tutashmasi orasidagi tirqish kattaligini xarakterlaydi, ishqalanuvchi sathlarning yeyilaborishi bilan kattalashadi. Tebranma jarayonlarning chastotali va dinamik oralig'ining kengligi, titrash to'lqinlarini kam inersiyaliligi, metalli konstruksiyalar bo'yicha tarqalish tezligini kattaligi texnik holatning o'zgarishiga vibroakustik signalni tez qarshi ta'siri bilan shartlanadi. Lekin dvigateldagi titrashlarning ko'p sonli manbalarining ta'siri, titrash jarayonlarining dvigatelni ishlash rejimi va sharoitiga bog'liqligi, vibroakustik diagnostika amallarini qiyinlashtiradi.

Diagnostika natijalarining ishonchliligini oshirish uchun zarbalar bilan uyg'otiladigan vibroakustik signallarning quyidagi o'ziga xosligi e'tiborga olinadi:

- vibroakustik signallar tirsakli valning aylanishlar chastotasiga teng yoki unga karrali chastota bilan takrorlanadigan davriy impulslarning ketma-ketligi ko'rinishiga ega;
- ketma-ketlikdan alohida olingan impuls zarbali ta'sirga konstruksiyaning aks ta'siri ko'rinishiga ega va kontaktlanadigan detallarning xususiy tebranish chastotasi bilan so'nuvchi tebranish ko'rinishiga ega;
- zarbalanish energiyasini o'zgarishi tufayli vibroakustik impulsning amplitudasi tirqishning o'zgarishida keskin o'zgaradi;
- zarba keltirib chiqargan tebranish, tirsakli valning burilish burchagi bo'yicha (sikl fazasi) yetarlicha aniqlik bilan identifikatsiyalashi mumkin.

Vibroakustik impulslarning faza bo'yicha u yoki bu tomonga siljishi diagnostikalanadigan uzelni ishlashidagi anomaliyalar (g'ayritabiiylik) to'g'risida guvohlik beradi (tirqishlarning ko'payishi, o'rnatilgan rostlanishning buzilishi va boshqalar);

● tebranishlar energiyasining konstruksiya bo'yicha tarqalishida uzelning texnik holati to'g'risida ma'lumot olib yuruvchini foydali signal darajasini pasayishi kuzatiladi.

Sinovga olingan karter moyini tahlil qilish usuli dvigatel detallarining yeyilishini baholash (porshenlar, porshen halqalari, silindrlar, tirsakli val podshipniklari), shuningdek, havo va moy tozalagichlarini nazorat qilish uchun ham ishlatiladi.

Dvigatel ishlash paytida moylash moylariga tutashmalarning ishqalanuvchi detallarini yeyilish mahsulotlari doimo tushadi. Dvigatel detallari turli metall qotishmalaridan tayyorlangan, shuning uchun karterdagi moyda bo'lgan alohida kimyoviy elementlarning miqdori bo'yicha aniq detallarning chegaraviy yeyilishini o'rnatish mumkin. Masalan, ishlatilgan moydagi temir miqdori (konsentratsiyasi)ning o'zgarishi bo'yicha silindr gilzalari, tirsakli vallar bo'yinlari, porshenning moy sidiruvchi halqalari va shu kabi detallarining yeyilishi to'g'risida mulohaza yuritish mumkin.

Aluminiy miqdorini o'zgarishi bo'yicha porshenlarning yeyilish tezligi, xrom miqdorini o'zgarishi bo'yicha kompression halqalar, qo'rg'oshin miqdorini o'zgarishi bo'yicha tirsakli valning podshipniklarini yeyilish tezligi to'g'risida fikr yuritish mumkin. Kvars va abraziv zarrachalarning mavjud bo'lishi havo trakti va filtr (tozalagich) larning holatini, shuningdek, moy tozalagichlarning holatini va ishlashini ham xarakterlaydi. Motor moyi qo'shilmalarini boshlang'ich majmuasiga kiruvchi elementlar miqdorini (bariy, fosfor, oltingugurt, molibden) o'zgarishi bo'yicha, uning ishga yaroqliligi to'g'risida fikr yuritish mumkin.

Dvigatelni diagnostikalash uchun moydagi yeyilish mahsulotlarini konsentratsiyasidan foydalanish quyidagi holatlar bilan mustahkamlanadi:

● metall zarrachalarining bir tekis taqsimlanishi va karter moyining barcha hajmida uzoq vaqt bo'lish xususiyati bilan;

● tutashmaning yeyilish jadalligiga konsentratsiyaning proporsional bog'liqligi. Oxirgisi tozalagich elementlari ushlab qolgan yeyilish zarrachalarini tushishi va kuyadigan moy bilan olib ketiladigani orasida balansni doimiyligi bilan tushuntiriladi, biroq moy kamayganida quyishlar va moy almashtirish faqat bu jarayonni vaqtincha buzadi.

Diagnostikalash natijalarini ishonchliroq qilib olish uchun sinashga olinadigan moy qizigan dvigateldan, ko'rsatilgan foydalanish davrida olinadi. Sinashga olingan moydagi yeyilish mahsulotlarini aniqlash uchun spektral analizning ikki usulidan foydalaniladi: emission spektrometrli va atom absorbsionli spektrometri.

Emission spektrometriyani tahlil qilish uchun sinashga olingan moyni elektr yoyi yordamida yondirish va ikki elektrod orasida hosil bo'ladigan nurlanishni spektrga ajratishdan iborat bo'ladi. Nurlanishning spektral chiziqlari to'lqinining uzunligi va ularning nisbiy jadalligi bo'yicha detal-

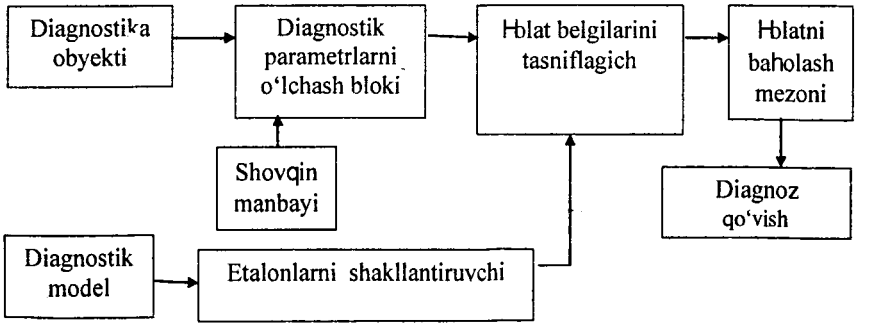
larning yeyilish mahsulotlarini moyda bo'lishi hamda ularning miqdori to'g'risida xulosa qilinadi. *Atom-absorbsionli spektrometriya* usulida tadqiqot qilinadigan sinashga olingan moydan to'zitilgan atsetilen gorelkasining alangasi orqali yorug'lik nurlanish oqimi o'tkaziladi, uning yordami bilan aniqlanishi kerak bo'lgan elementning yorug'lik xarakteristikasi topiladi. Agar element moyda ishtirok etsa, u holda yorug'lik energiyasi manbayining spektri oralig'ida atsetilen olovli nurlanishda yutilish sodir bo'ladi.

Emission spektrometriya sinovga olingan moyga ishlov berishda yuqori tezlikka ega, atom-absorbsionli spektrometriya esa elementlarning konsentratsiyasi kam bo'lganda ularni aniqlash uchun unumliroq hisoblanadi.

15.3. TEXNIK DIAGNOSTIKALASH TIZIMLARINI TUZISH TAMOYILLARI

Dvigatelning texnik holati to'g'risida to'laroq tasavvurni turli usullar majmuasidan foydalanib olish mumkin, chunki ularning har birini imkoniyati cheklangan va bir-birini berkitmaydi, faqat to'ldiradi. Shuning uchun dvigatellarning texnik holatini ishonchliroq baholash uchun hozirgi paytda texnik diagnostikalash tizimlaridan foydalaniladi.

Bunday tizimni ishlab chiqishdan oldin dvigatelning, uning uzellari va tizimlarining ko'proq tarqalgan ishlamay qolishlarini statik tahlili; nuqsonlarni paydo bo'lishiga olib keluvchi fizik jarayonlarni va ularning kuzatuvchilarini o'rganish; diagnostikalash obyektini shakllantirish; dvigatelning konstruktiv, rejim va diagnostik parametrlari orasida funksional va statik bog'liqliklarni, shuningdek, amaliy foydalanishda uning texnik va iqtisodiy imkoniyatlarini hisobga olgan holda diagnostikalash uslubi va algoritmini ishlab chiqish bajariladi. Dvigatellarni diagnostikalash tizimlarini tarkibiy sxemasini 15.1-rasmda tasvirlangan ko'rinishda keltirish mumkin.



15.1-rasm. **Dvigatellarni diagnostikalash tizimlarining tarkibiy sxemasi.**

Diagnostikalash tizimida texnik holat to'g'risida (holat axborotchisi) signallar manbayi bo'lib diagnostikalash obyekti hisoblanadi. O'lchash bloki o'lchanadigan signalda tashkil topgan obyekt holati to'g'risida boshlang'ich ma'lumotni beradi. U diagnostikalash obyektining *diagnostik signallarini* elektr ekvivalentiga *birlamchi aylantirgichini*, shuningdek,

birlamchi signallarni keyinchalik ishlov berish uchun, unifitsirlangan signallarga *aylantiruvchi kuchaytirgich* va *tuzilmalarini* ham o'z ichiga oladi. Diagnostik ma'lumotni tashuvchi signalga ko'p yoki oz darajada shovqinlar qo'shiladi, diagnostikalash algoritmini ishlab chiqishda uni hisobga olish kerak.

Porshenli IYOD ko'p texnik holatlarga ega bo'lishi tufayli haqiqatda haqiqiy diagnostikalashda bu ko'plikni, bir xil fizik tabiatga ega bo'lgan holatni har bir sinfga birlashtirib, holatlarning tanish sinflarini so'nggi sonigacha bo'lib chiqishga to'g'ri keladi. Masalan, agar holatning belgisi sifatida moyda metallning yeyilish mahsulotlarini sodir bo'lishi olinsa, bir sinfga klapan mexanizmi uzellari, tirsakli valning podshipnik uzellarini va boshqa nuqsonlari bilan xarakterlanadigan dvigatel holatini kiritish mumkin. Holatlarning bu sinfi holatning faqat yagona belgisi bilan emas, diagnostikalashni yagona usuli bilan ham xarakterlanadi. Obyektning ishlamay qolishlarini statik tahlili asosida texnik holatning har bir sinfi uchun etalonlari (bu sinf uchun diagnostik parametrlarning o'rtacha qiymati) shakllantiriladi.

Diagnostik parametrlar va etalonlar tizimini shakllantirish uchun *obyektning diagnostik modeli*, ayrim holatlarda tadqiqot qilinadigan signalda axborot komponentlarini izlashni osonlashtiradigan jarayonlar ham ishlatilishi mumkin.

Dvigatelni diagnostikalash tizimining yakunlovchi elementi bo'lib, *qabul qilingan yechim* osti tizimi hisoblanadi, u diagnostikalash parametrlari qiymatlari bo'yicha dvigatel va uning elementlarini texnik holatini turli mezonlardan foydalanib baholashni (diagnoz qo'yish) amalga oshiriladi.

Texnik diagnostikalash tizimini barpo qilishda asosiy masala diagnostikalash usulini tanlash va texnik holatini aniqlash algoritmini tuzish hisoblanadi.

Dvigatellarni *diagnostikalash usullarini ishlab chiqish* ketma-ket masalalar guruhini o'z ichiga oladi:

- holat parametrlarini va diagnostik parametrlarning eng kam majmuasi bilan diagnostikalash obyektini yoritish;
- tarqalgan nuqsonga sezgirroq bo'lgan diagnostik parametrlarni aniqlash;
- texnik holatlarni sinflarga bo'lish.

Bir vaqtning o'zida diagnostik parametrlarni o'lchash va diagnostika obyektini nazorat qilishga layoqatliligini ta'minlash masalasi hal qilinadi.

Dvigatellarni diagnostikalash algoritmlarini tuzish va qo'llashda quyidagi yondashishlarni ajratib ko'rsatish mumkin. Ularning birinchisida diagnostikalanadigan dvigatelning parametrlarini o'lchangan qiymatlari bu dvigatel va rejimda ilgari o'lchangan shunday parametrlarning qiymatlari bilan taqqoslanadi. Taqqoslash natijasida o'lchanadigan parametrlarning og'ishi hisoblab chiqiladi, diagnostikalashning barcha keyingi amallari mos kelgan matematik modellar ishtirokida ko'rsatilgan og'ishlar bilan o'tkaziladi.

Ikkinchi yondashishda diagnostikalanadigan dvigatelda o'lchangan

parametrlar qiymati bo'yicha matematik model yordamida boshqalarning bevosita o'lchanmaydigan parametrlar qiymatlari hisoblab topiladi, ular bu dvigatel modelida, shunday rejimda yoki o'xshash modelda ilgari olingan qiymatlari bilan taqqoslanadi va ularning tahlili asosida diagnostik tavsiya va yechim qabul qilinadi.

Dvigatelning texnik holatini baholashni holat belgilarining o'zgarish xarakterini nuqsonsiz dvigatelga mos keluvchi ayrim etalon bog'liqliklar bilan taqqoslash asosida ham o'tkazish mumkin. Nuqsonlar to'g'risida statik ma'lumotlarni yig'ish aniq nuqsonlarni etalon bog'liqlikdan og'ish xarakteri bilan o'zaro bog'liqligini o'rnatishga imkon beradi.

Dvigatelni diagnostikalash tizimini qurish diagnostikalash qabul qilinadigan turiga mos holda amalga oshiriladi: funksionalli yoki testli. *Funksional diagnostikalash tizimi* dvigatelning odatdagi foydalanish paytida uni diagnostik parametrlari bo'yicha baholab ishlayotganida nazorat qilishni ta'minlaydi. *Testli diagnostikalash* holatida esa uzel yoki detalning ishga layoqatliligini aniqlash maqsadida dvigatelga sun'iy ravishda ta'sir qilinadi.

Dvigatelni funksional diagnostikalash tizimi bortli va statsionarlarga ajratiladi. Diagnostikalashning *bortli tizimlari* dvigatel, uning mexanizm va tizimlarining ishga layoqatliligini uzluksiz yoki istalgan davriylikda nazorat qilishni amalga oshirishga imkon beradi. Ular o'z ichiga o'rnatilgan datchiklar, ularning signallarining o'zgartirgichlarini, indikatorlarni va nazorat qilinadigan dvigatel bilan obyektga joylashtirilgan kommutatsiya elementlarini oladi. Bu tizimlar dvigatelning elektron boshqarish tizimi bilan birlashtirilishi va bort mikroprotsessorlari boshqarishida ishlashi mumkin.

Diagnostikalashning *statsionar tizimlari* nazorat qilinadigan obyektdan tashqarida diagnostik stendda joylashtirilgan oraliq, ishlov beruvchi va inditsirlovchi tuzilmalarni ishlatishni nazarda tutadi va diagnostikalanadigan obyektga foydalanish sharoitiga bog'liq holda o'rnatilgan davriylikda ulanadi. Bunda birlamchi o'zgartiruvchi (datchik)lar dvigatelga o'rnatilgan yoki unga ulanadigan bo'lishi mumkin.

Dvigatellarni diagnostikalash tizimining samaradorligini oshirish maqsadida ularga asosiy element sifatida mikroprotsessorlar yoki mikro EHM ulanadi. Bu joriy axborotlarga ishlov berish, etalon diagnostik belgilarni va chegara qiymatlarini shakllantirish, funksiyalarni klassifikatsiyalaydigan texnik holatlarni bilish hal qiluvchi qoidalarni aniqlash bilan bog'liq bo'lgan ko'p hajmli hisoblashlarni amalga oshirishga imkon beradi.

XVI BOB
TRANSPORT VOSITALARI UCHUN IYOD TANLASH TAMOYILLARI

Dvigatelni tanlash murakkab vazifa ko'rinishiga ega, uni yechish uchun hozirgi paytgacha ilmiy asoslangan tavsiyalar yo'q.

Bu transport vositalarining turini ko'pligi, foydalanish sharoitlarining keng oralig'i va aniq transport vositasiga o'ziga xos talab qo'yilishi bilan tushuntiriladi.

Agar avtomobil texnikasi bilan cheklanilsa, u holda **dvigatelni tanlab,** quyidagi masalalarni yechish kerak:

- dvigatelning turini;
- uning eng katta quvvatini;
- tirsakli valning aylanishlar chastotasini;
- sovitish tizimi turini;
- foydalanish – texnik ko'rsatkichlarini: tejamkorligi, zaharliligi, titrash akustik tavsifi, ishga tushirish sifati, qishda foydalanish sharoitini ta'minlash va ishonchliligi.

Dvigatelni transport vositasiga tavsiya etib, konstruktor uning xususiyatini beradi (yonilg'i tejamkorligini, dinamik sifatini, ishonchliligini va boshqalar), shuningdek, ma'lum bo'lgan foydalanish infrastrukturasini aniqlaydi va asosiy loyihalash uchun boshlang'ich ma'lumotlarni va tashish jarayonini tashkil etishni, ya'ni dvigatel, transport vositasi va infrastukturaning barchasi ko'zda tutilgan jarayonni bajarish uchun barpo qilinganini aniqlaydi.

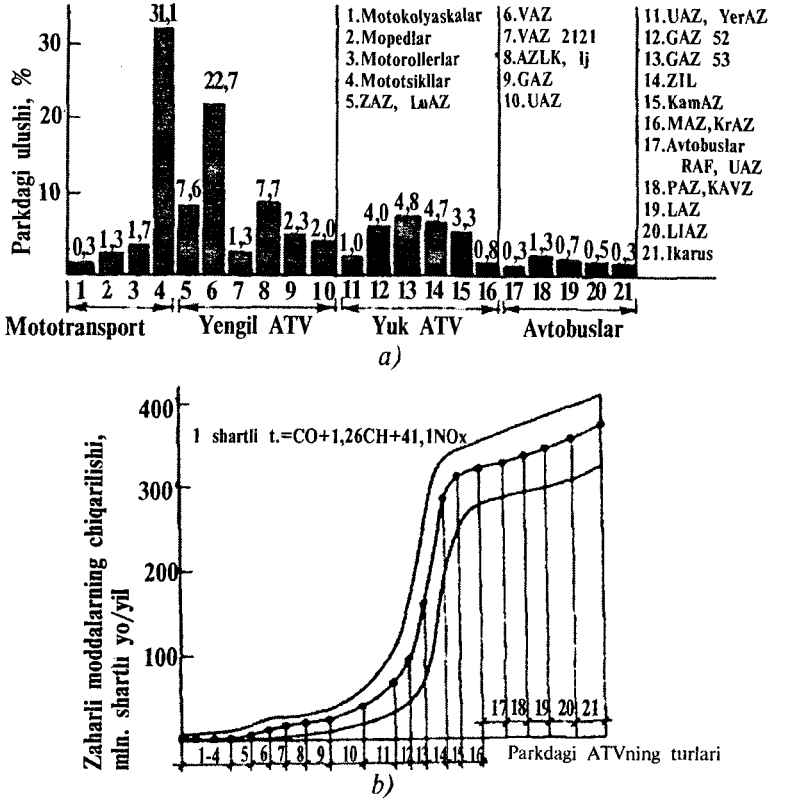
Shaharda, regionda, umuman vatanda tashish jarayonini (yoki boshqa vazifani, masalan, yo'l qurilish mashinalarida, qishloq xo'jalik texnikasida) ta'minlash ma'lum mashinalar parki bilan bajarilishi mumkin, ularning har biri asoslanib tanlangan ichki yonuv dvigatellari bilan jamlanadi.

Transport vositasiga o'rnatilgan dvigatel va shakllantirilgan mashinalar parki atrof-muhitga ta'sir qilishni aniqlaydi. Boshqacha qilib aytganda, yer usti mashinalari uchun dvigatel turini tanlash bu faqat texnik yoki iqtisodiy masala bo'lib qolmasdan, ekologik masala ham bo'lib qoladi.

90-yillarning boshlarida Rossiyadagi mashinalar parki tarkibi to'g'risida tasavvurni 16-*a* rasm beradi. Foydalanishda bo'lgan avtomobillar yiliga 20...27 mln.t CO, 2...2,5 mln.t C_xH_y, 6...9 mln.t NO_x, 100 ming t gacha oltingugurt birikmalari, 100 ming t gacha qurum, 13 ming t og'ir meta'lar, 200...230 mln. t CO_2 va $3{,}1 \cdot 10^{12}$ MJ issiqlik chiqarib tashlashini ko'rsatib o'tamiz. AQSH bilan taqqoslasak: CO – 61 mln.t, C_xH_y – 6,4 mln.t, NO_x – 6,6 mln.t, oltingugurt – 0,4 mln.t.

Shunday qilib, porshenli IYOD ning ekologik sifatini baholash transport vositasi uchun dvigatelni asoslangan holda tanlashga imkon beradi.

Hozirgi paytda tanlash keng va ko'p qirrali bo'lib qoldi, chunki ichki bozorda xorijiy texnikalar ko'p miqdorda paydo bo'ldi. Dvigatelni tanlashda dunyo avtomobil dvigatelsozligi amaliyotiga rioya qilish kerak. Chunki GFR ning umumiy avtomobil parkida 80-yillarning ikkinchi yarmida dizelli



16.1-rasm. **Sobiq SSSR da avtotransport vositasi parkining tarkibi (70-yillar boshlarida) (a) va avtomobil transporti orqali atmosferaga me'yorlanadigan zararli moddalarning chiqarib tashlanishi (b).**

avtomobillarning solishtirma vazni taxminan 16% tashkil etdi. Bunday holatda yuk avtomobillari parkida – 61%, avtobus parkida – 98%, yengil avtomobil parkida – 7% ni tashkil etgan. Yaponiyada 14% avtomobil parki dizellarni ishlatadi. Ular quyidagicha taqsimlangan: yuk avtomobillari parki – 28%, avtobuslar – 88%, yengil avtomobillar – 4% atrofida.

AQSH da dizellashtirish birmunchaga orqada qolmoqda: yuk avtomobillari parkida dizelli avtomobillarining ulushi – 4%, avtobuslarda –15%, yengil avtomobillarda – 1% tashkil etadi. Keltirilgan taqsimlanish kelajakda ham saqlanib qolinishi mumkin, chunki yengil avtomobillarda uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar, avtobus va yuk avtomobillarida – dizellar ishlatiladi.

Aniq transport vositasining **dvigatelining quvvati** ko'p omillarga bog'liq:

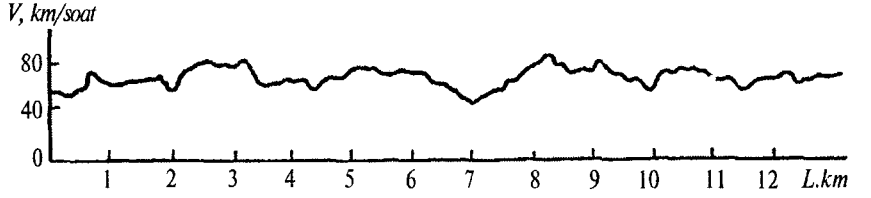
- ishlatish rejimiga;
- iqlim sharoitiga;
- ko'rsatilgan eng katta harakatlanish tezligiga;

● zarur bo'lgan shig'ov olishi va moslanuvchanligini ta'minlashiga va boshqalar.

Foydalanishda ko'p uchraydigani *dvigatel ishlashining nobarqaror rejimi* hisoblanadi, u shahardagi jadal harakatda 93...97%, tuproq yo'llaridagi harakatda 90...95%, shahardan tashqari magistral yo'llarda avtomobil harakat vaqtining 30...35% ni tashkil etadi. Dvigatel quvvatidan foydalanish nomi-nal quvvatining 13...78% ini tashkil etadi. Nobarqaror rejimda ishlash yonilg'i sarfining 5...7% ga oshishiga olib keladi va dvigatelning yeyilishini o'rtacha hisobda 1,2...2 martagacha ko'paytiradi.

NAMI poligonida namuna magistral yo'nalishda o'tkazilgan ZIL-130 avtomobili harakatini tadqiqotlari aytilganlarni isbotlaydi. 16.2-rasmda harakatning ayrim uchastkalarida harakat tezligi, demak dvigatelning quvvati ham qanday o'zgarganligi ko'rsatilgan. Ma'lumki, shahar sharoitida foydalanishda harakat rejimining bu o'zgarishi yanada keskinroq.

Iqlim sharoitining o'zgarish oralig'i ham juda keng. Masalan, Moskva tumanida (mo'tadil iqlimli tuman) yil davomida o'rtacha sutkali harorat +30°C dan −30°C gacha o'zgaradi, Salexard tumanida (sovuq) +30°C



16.2-rasm. **Magistral sharoitda foydalanish uchun namunalashtirilgan marshrutning tavsifi.**

dan −50°C gacha, Yakutiyada (juda sovuq) +30°C dan −60°C gacha. Tabiiyki, ya'ni bu haroratlar oralig'ida foydalanishda dvigatel transport vositasining tortish sifatiga ta'sir qilib, uning quvvati o'zgaradi.

Ko'rsatilgan misollar dvigatel quvvatini tanlash masalasi murakkabligini isbotlash uchun yetarli. Shunga qaramasdan uning hal qilinishiga avtomobil nazariyasi kursida ko'p sonli asarlar bag'ishlangan. Biz kurs doirasida bu masalani yechishga ikkita birmuncha soddalashtirilgan nuqtayi nazarni ko'rib chiqamiz.

1. Eng katta harakat tezligini ta'minlaydigan dvigatelning quvvati (kVt) quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanishi mumkin:

$$N_e = \frac{V_{a\max}(\varphi m_a + K_B F V_{a\max}^2 + \delta m_a j_a}{1000\eta_T}, \qquad (16.1)$$

bunda: $V_{a\max}$ − avtomobilning eng katta tezligi, m/s; m_a − avtomobil massasi; φ − yo'lning umumiy qarshilik koeffitsiyenti.

Uni quyidagicha taxminiy qabul qilish mumkin: yengil avtomobillar uchun $\varphi = (0{,}01...0{,}5)\cdot 10^{-6} V_{a\max}^2$; yuk avtomobillari uchun

$\varphi = (0{,}015...0{,}02) + 6 \cdot 10^{-6} V_{a\max}^2$; K – silliqlik koeffitsiyenti, Ns^2/m^4; F – oldi qismining yuzasi, m^2.

	K_v	F
Yengil avtomobillar	0,2...0,3	1,5...2,0
Yuk avtomobillar	0,5...0,7	3,0...6,5
Avtobuslar	0,35...0,45	3,0...7,5

δ – keltirilgan aylanuvchi massalarning inersiya kuchini hisobga olish koeffitsiyent; uni aniqlash uchun quyidagi ifodadan foydalanish mumkin: $\delta = 1{,}04 + 0{,}04 \cdot i_k^2$, bunda: i_k^2 – uzatish qutisining uzatish soni; J_a – avtomobilning tezlanishi, uni 0,2...0,3 m/s ga teng deb qabul qilish mumkin; $\eta_t = 0{,}85...0{,}9$ – transmissiyaning FIK.

2. Turli ko'rinishdagi avtomobil texnikasi uchun dvigatelning eng katta zarur bo'lgan quvvatini taxminiy baholash uchun dvigatelning solishtirma quvvati bo'yicha statik ma'lumotlardan foydalanish mumkin (kVt/t):

$$N_{sol} = \frac{N_{a\max}}{m_a}. \qquad (16.2)$$

16.1-jadvalda Rossiyada ishlab chiqilgan avtomobillarning N_{sol} va boshqa ko'rsatkichlari bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

16.1-jadvaldagi ma'lumotlarga asosan, solishtirma quvvatni quyidagicha qabul qilish mumkin kVt/t: yengil avtomobillar uchun 40...45, yuk avtomobillari uchun 9...10, avtobuslar uchun 10...12.

16.1-jadval

Avtomobil markasi	To'liq massasi, kg	Eng katta tezlik, km/s	Dvigatelning eng katta quvvati, kVt	Yonilg'ining nazorat sarfi, 100 km/l	Solishtirma quvvat, kVt/t
Yengil avtomobillar					
ZAZ-968A	1160	118	30,3	6,2/80*	26,03
VAZ-2103	1430	152	56,6	8,4/80	39,6
VAZ-2106	1445	154	58,8	8,5/80	40,2
Moskvich-2140	1445	142	55,2	7,4/80	38,2
GAZ-24	1820	147	69,9	10,5/80	38,4
GAZ-3102	1870	152	77,2	8,5/80	41,28
ZIL-4104	3800	190	237,8	22,00/80	51,10
Yuk avtomobillari					
GAZ-52 03	5465	70	55,2	21,0/40	10,10
ZIL-130	10525	90	110,3	29,0/50	10,47
KamAZ-5320	15305	80	154,4	26,0/60	10,10
KrAZ-2576	22500	68	176,5	38,50	7,8
Avtobuslar					
PAZ-3201	7155	80	84,6	25,4/30	11,80
LAZ-4202	13400	75	132,4	19,0/40	9,90
LiAZ-677M	14050	70	132,4	39,0/40	9,40

* Maxrajda yonilg'i sarfi aniqlanadigan avtomobil tezligi ko'rsatilgan.

Transport vositasining to'liq massasi ma'lum bo'lsa, dvigatelning kerakli eng katta quvvatini aniqlash mumkin. Tirsakli valning aylanish chastotasi har bir dvigatelning o'ziga xos talablari bilan shartlangan va hisoblashda uzatmalar qutisi hamda bosh uzatmani uzatish sonlari hisobga olinishi kerak.

Dvigatelning sovitish turi. Jahon avtomobil dvigatelsozligida *suyuqlik bilan* ham, shuningdek, *havo bilan* ham sovitish qo'llaniladi. Ikkala turdagini qiyosiy baholash 11-bobda berilgan. Lekin, bu masalani aniq transport vositasiga tadbiqan hal qilishda dvigatel ishlaydigan foydalanish sharoitlariga; bu texnika sohasida o'rnatilgan an'anaga; past manfiy haroratlarda ishga tushirish sifatini yaxshilanishini ta'minlash imkoniyatiga va boshqalarga rioya qilish kerak.

Suyuqlik bilan sovitish qo'llanilganda avtomobillarni ikki xil ijrosida chiqarish kerak: «Shimoliy» va «Janubiy». + 30...-60 °C haroratlar oralig'ida (Yakutiya) foydalanishda radiatorning sovitish sathi o'lchamlari, ventilator va suv nasosini uzatishi +45...+10 °C haroratlar oralig'ida foydalanishga (Toshkent) qaraganda kam bo'lishi kerak.

Masalan, agar hisob t_o=30°C (hozirgi paytda hisob +45°C ga bajariladi) da amalga oshirilsa, KamAZ avtomobilida, radiatorining sovitish sathi taxminan 25% kam bo'ladi. «Janubiy» ijrosida past haroratlarda dvigatelning ishga tushishini osonlashtiradigan tuzilma talab qilinmaydi.

Bu holat sovitish tizimiga quvvat va noyob ashyolarning sarfini kamaytirishga imkon beradi, bu nihoyat birmuncha iqtisodiy samaraga olib keladi.

Foydalanish – texnik ko'rsatkichlari (yonilg'i tejamkorligi). Bu ko'rsatkich avtomobil uchun dvigatel to'g'risidagi masala hal qilinayotganda eng muhim hisoblanadi. Agar bu masalani hal qilishga faqat tejamkorlik nuqtayi nazardan yondashilsa, barcha hollarda dizellarni ishlatish kerak bo'lar edi, chunki ular uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarga nisbatan o'rtacha 25...30% ga tejamkor. Lekin yuqorida ko'rsatib o'tilganidek, yengil avtomobillar o'ziga xos talablarga ega bo'lganligi tufayli dizellarni qo'llash hozircha yuk transporti va avtobuslar bilan cheklangan. Biroq transport vositasining turiga bog'liq bo'lmagan holda aniq transport vositasi uchun eng katta ish unumdorligida eng kam yonilg'i sarfini ta'minlaydigan parametrli dvigatel ishlatilishi kerak. Yonilg'i tejamkorligini baholaydigan ko'rsatkich *yonilg'ining sarfi* hisoblanadi [g/(kVt·s)]:

$$g_e = \frac{G_{yo} \cdot 10^3}{N_e}, \qquad (16.3)$$

bunda: G_{yo} – yonilg'ining soatiga sarfi, kg/s;

g_e – kamaytirilishiga dvigatellarning ish jarayonlarini takomillashtirish sohasida tadqiqotlar yo'naltirilgan, hozirgi paytda katta yutuqlarga erishilgan.

Lekin bu ko'rsatkich ko'p jihatdan dvigatelning tezlik va yuklama rejimlariga bog'liq. Shu sababga ko'ra u turli mashinalar dvigatellarini taqqoslash va baholash uchun obyektiv ko'rsatkich bo'la olmaydi.

Tejamkorlikni ig bajarilgan ishga taalluqli bo'lgani, ya'ni l/100 t·km ga sarflangan yonilg'i to'laroq aks ettiradi.

Bunga mos holda GOST 20306–85 bo'yicha yonilg'i tejamkorligi *quyidagi ko'rsatkichlar bilan baholanadi:*

- yonilg'ining nazorat sarfi (YONS);
- yo'lda magistraldagi yurish siklida yonilg'i sarfi (MSYOS);
- yo'lda shahardagi yurish siklida yonilg'i sarfi (YSHSYOS);
- stendda shahardagi yurish siklida yonilg'i sarfi (SSHSYOS).

Rossiyada ishlab chiqilgan avtomobillar uchun YONS 16.1-jadvalda keltirilgan. Bu jadvaldan ko'rinishicha, YONS turli avtomobil texnikasi uchun, ma'lum harakat tezligida aniqlanadi. YONS avtomobilning texnik holatini bevosita baholashga va o'xshashlarining yonilg'i tejamkorlik darajasini taqqoslashga imkon beradi.

Tejamkorlikning boshqa ko'rsatkichlari harakatni namunalashtirilgan xarakterli sharoitida o'rtacha sarfini baholash uchun ishlatiladi.

Baxtga qarshi, dvigatelni tanlashda barcha ko'rsatkichlari bo'yicha to'liq ma'lumotlar yo'q, eng yaxshi holatda faqat dvigatelning nominal rejimidagi g_e bo'yicha yoki tashqi tezlik tavsifi bo'yicha $g_{e\min}$ ma'lumotlar va ayrim paytlarda YCNS ga ega bo'linadi. Tajribaning ko'rsatishiga qaraganda, yonilg'ining sarfi (l/100 t·km) V_h va N_{sol} larga bog'liq, shuning uchun transport vositasiga zarur bo'lgan quvvatni asoslash bilan birgalikda ko'rsatilgan bog'liqliklarni hisobga olish kerak va N_{sol} ni orttirish kerak emas.

Zaharlilik. Dvigatelni tanlashda chiqarib tashlanadigan zaharli moddalarni qonuniy cheklash (me'yoriy oraliq) talablarini u to'liq qondirishi kerak. Uglerod oksidini miqdori bo'yicha bu me'yorlar va aniqlash usuli benzinli dvigatellar uchun GOST 17.2.2.03–77 tartiblashtirilgan, avtomobil dizellari uchun esa ishlatilgan gazlarning tutab chiqishi – GOST 21393–75 bilan va CO, CH va NO_x larning chiqarib tashlash bo'yicha [g/(kVt·s)] GOST 37.001.234–81 bilan:

uglerod oksidi CO – 7,0 dan ko'p emas;
uglevodorodlar CH – 2,4 dan ko'p emas;
azot oksidlari NO_x – 13,5 dan ko'p emas.

Titrash – akustik sifati. Dvigatelni bu ko'rsatkichlar nuqtayi nazaridan baholab, ularni dvigatelning muvozanatlanganlik darajasi bilan aniqlanishini ko'zda tutish kerak.

Ma'lum.ki, (2-bobga qarang) bir qatorli uch silindrli va *V* simon olti silindrli dvigatelda ikkinchi tartibli inersiya kuchlarini momenti muvozanatlanmagan, bir qatorli to'rt silindrli dvigatellarda esa ikkinchi tartibli inersiya kuchlari (ΣR_{jII}) muvozanatlanmagan va boshqalar.

Kuchlar va ularning momentlarini muvozanatlanmaganligini ruxsat etilgan qiymatini taxminiy baholash uchun o'lchamsiz nisbiy kattaliklar ko'rinishiga ega bo'lgan ifoda bilan aniqlashda Klimov – Stechkin – Kats mezonini ishlatish mumkin:

$$\xi = \frac{1}{m_{dv} D \omega_N^2} \left[\sum P_{jI} + \frac{1}{4} \sum P_{jII} + \frac{6L(M_{jI} + \frac{1}{4} M_{jII})}{L^2 + H^2} \right]$$

$$\eta = \frac{1}{m_{dv} D \omega_N^2} \left[\sum K_r + \frac{6LM_r}{L^2 + B^2} \right], \qquad (16.4)$$

bunda: L, H, B – korpus metallining asosiy massivi bo'yicha uzunligi, balandligi, kengligi, m; D – silindr diametri, m; m_{dv} – dvigatel massasi, kg; ω_N – nominal rejimda tirsakli valning aylanishini burchak chastotasi, s^{-1}.

Tajribaning ko'rsatishicha, agar $\xi \leq 0{,}002$ va $\eta \leq 0{,}002$ bo'lsa, u holda dvigatelning muvozanatlanganligini qoniqarli deb hisoblab, dvigatelni esa transport vositasiga o'rnatishga yaroqli deyish mumkin.

Bunda to'nkaruvchi momentning asosiy garmonikasini rezonansida tirsakli valning pastroq aylanishlar chastotasi (min^{-1}) ta'minlanadi:

$n_{rez}=60 f_x / i$ bir tekis almashinishda;

$n_{hfp}=60 f_x /(0{,}5 i)$ notekis almashinishda,

bunda: $f_x = \frac{1}{2} \pi \sqrt{C_\varphi / J_x}$ – osmada dvigatelning xususiy tebranish chastotasi, Gs; i – silindrlar soni.

Silindrlarning istalgan sonida va og'ish burchagida har bir krivoshipning shatun bo'ynini δ burchakka siljitish bilan (7.11-rasm qarang) bir tekis almashinishi ta'minlanadi. KAZ-YAMZ-642 dvigatelini va xorijiy V simon olti silindrli dvigatellarning ko'pchiligini tirsakli vallari shunday bajarilgan.

Ko'rib chiqilganlar bilan birgalikda zamonaviy dvigatellarda korpus detallariga ishchi aylanishlar doirasida rezonans hodisasini bartaraf qiladigan shakl beriladi va shunday yo'l bilan dvigatelni shovqinsiz ishlashi ta'minlanadi.

Dvigatelning ishonchliligi. Dvigatelni tanlashda ishchi jarayonning kuchlanganligi nuqtayi nazaridan uni taxminiy baholash, demak, dvigatelning ishonchliligini bilvosita baholash B.Ya. Ginsburg va A. K. Kostin mezonlari orqali aniqlanishi bilan amalga oshirilishi mumkin. Ko'rsatilgan mezonlarning ifodasi 5-bobda keltirilgan.

Zamonaviy, yetarlicha ishonchli ishlaydigan avtomobil dvigatellarining ko'rsatilgan mezonlarini qiymatlari quyidagi oraliqlarda yotadi:

$$N_p = 1{,}5...2{,}3 \text{ kVt/sm}, \quad q_p = 3{,}2...6{,}5.$$

Shunday qilib, agar bu transport vositasi uchun tanlangan dvigatelning mezon qiymatlari ko'rsatilgan qiymatlardan ortmasa, u holda dvigatelni taxminan yetarlicha ishonchli deb hisoblash mumkin.

ADABIYOT

1. Автомобильные двигатели/. Под ред. М.С. – Ховаха. – М.: «Машиностроение» 1977, 591 стр.

2. Двигатели внутреннего сгорания/. Под ред. В.Н. Луканина. – М.: «Высшая школа», 1985, 311 стр.

3. Конструкция и расчет автотранспортных двигателей/. Под ред. проф. Ю. А. Степанова. – М.: «Машиностроение», 1964, 552 стр.

4. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей/. Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М.: «Машиностроение», 1980, 288 стр.

5. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей/. Под ред. А.С. Орлина, М. Г. Круглова, –М.: «Машиностроение», 1985, 456 стр.

6. Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей/. Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М.: «Машиностроение», 1984, 384 стр.

7. Маслов Г. С. Расчеты колебаний валов: Справочник. – М.: «Машиностроение», 1980, 151 стр.

MUNDARIJA

So'zboshi 3
Kirish 7
I bob. **Dvigatellarning ishlash tamoyillari ko'rsatkichlari va sharoitlari** 10
1.1. Dvigatellarning ishlatilish sohalari va tasniflash belgilari 10
1.2. IYOD ish jarayonlari 13
1.2.1. To'rt taktli karbyuratorli dvigatelning ish jarayonlari 13
1.2.2. To'rt taktli dizelning ish jarayoni 15
1.2.3. Ikki taktli IYOD ish jarayoni 16
1.2.4 IYOD energetik balansi va tejamkorlik-energetik ko'rsatkichlari 17
1.2.5. Litrli quvvat va dvigatellarning kuchaytirish usullari 20
1.2.6. Zo'riqish, massa-tashqi o'lcham va ekologik ko'rsatkichlar 23
1.2.7. Dvigatellar ishlashning tavsiflari va ishlatish rejimlari to'g'risida tushuncha 25
II bob. **Yonilg'i va ishchi jism. IYOD hisoblangan sikllari** 28
2.1. Yonilg'i, ishchi jism va ularning xususiyati 28
2.1.1. Porshenli IYOD uchun yonilg'ilar tarkibi va xususiyati 28
2.1.2. Yonilg'ilarning elementlar tarkibi 35
2.1.3. Reaksiya va yonish mahsulotlari 36
2.2. IYOD hisoblangan sikllari 46
2.2.1. Termodinamik sikllar 46
2.2.2. Hisoblangan sikllarning tahlili (dissotsiasiyani e'tiborga olish va olinmasligi bilan) 54
2.3. IYOD da issiqlikdan qayta foydalanish 69
III bob. **Haqiqiy sikllar jarayoni** 75
3.1. Gaz almashinuv jarayonlari 75
3.1.1 Umumiy holat 75
3.1.2. Chiqarish jarayoni va klapanlarning baravariga ochiq turish davrida gaz almashinuvi 75
3.1.3. Kiritish jarayoni 77
3.1.4. Ikki taktli IYOD larda gaz almashinuvi 79
3.1.5. Gaz almashuvni jarayonlarning parametrlari va ko'rsatkichlari 81
3.1.6. Bosim ostida kiritish usuli qo'llanilganda gaz almashinuvni o'ziga xosligi 85
3.2. Siqish jarayoni 94
3.3. Yonishning asosiy qonuniyati 96
3.3.1. Yonish jarayoni. Hajmda yonish to'lqinning tarqalishi 96
3.3.2. Aralashishning yonish jarayoniga ta'siri 101
3.3.3. Yonishda kritik hodisa 103
3.3.4 Yonishda ayrim zararli moddalarning hosil bo'lish mexanizmi 105
3.3.5 IYOD silindirida bosim to'lqini hosil bo'lishining mumkunligi to'g'risida 106

3.4. Uchqumdan o'‍t oldiriladigan dvigatellarda aralashma hosil qilish va yonish jarayonlari 109
3.4.1. Benzinda ishlaydigan dvigatellarda aralashma hosil qilish 109
3.4.2. Gazda ishlaydigan dvigatellarda aralashma hosil qilishning o'‍ziga hosligi 114
3.4.3. Uchqumdan o'‍t oldiriladigan dvigatellarda yonilg'‍ining alangalanishi va yonishi 114
3.4.4. Uchqumdan o'‍t oldiriladigan dvigatellarda yonish jarayonining buzilishlari 117
3.4.5. Uchqumdan o'‍t oldiriladigan dvigatellarda yonishga ta'‍sir qiluvchi omillar 119
3.5. Dizellarda aralashma hosil qilish va yonish jarayonlari 124
3.5.1. Purkash va to'‍zitish 124
3.5.2. Aralashma hosil qilish 134
3.5.3. Yonish va issiqlik ajralib chiqish jarayonlari 146
3.6. Issiqlik kiritish, ajralib chiqishi va undan foydalanish tavsifi. Kengayish jarayoni boshlanishidagi parametrlarni hisoblash 152
3.7. Kengayish jarayoni 156
IV bob. **Indikator va samarali ko'‍rsatkichlar. Detallarda issiqlik yuklamalar. Issiqlik balansi 159**
4.1. Indikator ko'‍rsatkichlari 159
4.1.1. Umumiy holat 159
4.1.2. Dizelning indikator ko'‍rsatkichlariga turli omillarning ta'‍siri 161
4.1.3. Uchqumdan o'‍t oldiriladigan dvigatelning indikator ko'‍rsatkichlariga turli omillarning ta'‍siri 168
4.1.4. Turli ominllarning indikator quvvati va momentiga ta'‍siri 171
4.1.5. Indikator ko'‍rsatkichlarining hisobi 173
4.2. Mexanik isroflar. Samarali ko'‍rsatkichlar 175
4.2.1 Mexanik isroflar va Mexanik FIK 175
4.2.2. Dvigatellarning samarali ko'‍rsatkichlari 180
4.3. Dvigatel detallarida issiqlik yuklamalari va ularning issiqlikdan zo'‍riqishi. Dvigatellning issiqlik balansi 185
4.3.1. Dvigatellarda issiqlik yuklamalaria va ularning issiqlikdan zo'‍riqishi 185
4.3.2. Dvigatellning issiqlik balansi 189
V bob. **Ta'‍minlash, bosim ostida kiritish tizimlari va aylanishlar chastotasini avtomat ravishda rostlash 192**
5.1. Uchqumdan o'‍t oldiriladigan dvigatellarning ta'‍minlash tizimlari 192
5.1.1. Karbyuratorli tizim 192
5.1.2. Benzinni purkash tizimi 202
5.1.3. Gazda ishlaydigan dvigatellarning ta'‍minlash tizimlari 205
5.2. Dizellarning yonilg'‍i tizimlari 208
5.2.1. Dizellarning yonilg'‍i tizimlari konstruksiyasi va ish jarayonlarning o'‍ziga xosligi 208

5.2.2. Dizellarning yonilg'i tizimining gidrodinamik hisobi 219
5.3. Bosim ostida kiritish tizimi 225
5.4. Aylanishlar chastotasining barqarorligi va uni avtomat ravishda rostlash 231
5.4.1. Dvigatel ish rejimining barqarorligi 231
5.4.2. Aylanishlar chastotasini avtomatik rostlagichlari 235
5.4.3. Aylanishlar chastotasini avtomatik rostlash statikasi 239
VI bob. **IYODning ekologik tavsiflari 244**
6.1. Ishlatilgan gazlarning zaharligi va tutab chiqishi 244
6.1.1. Asosiy aniqlovchilar 244
6.1.2. Dvigatellarning ishlatilgan gazlari zaharliligini va tutab chiqishini me'yorlash 249
6.1.3. Uchqumdan o't oldiriladigan dvigatellar ishlatilgan gazlarning zaharliligiga turli omillarning ta'siri 250
6.1.4. Uchqumdan o't oldiriladigan dvigatellarda ishlatilgan gazlar zaharliligini kamaytirish 252
6.1.5. Dizelning ishlatilgan gazlarini zaharliligiga va tutab chiqishiga turli ominlari ta'siri 254
6.1.6. Dizellarning ishlatilgan gazlari zaharliligini va tutab chiqishini kamaytirish 257
6.2. Dvigatellarning akustik ko'rsatkichlari 259
6.2.1. Asosiy ta'riflar 259
6.2.2. Dvigatel shovqini hosil bo'lishining fizik-matematik modeli 263
6.2.3. Dvigatellar shovqinini pasaytirish 266
VII bob. **Dvigatellarning tavsiflari. IYOD boshqarish tizimlarining majmuasi 273**
7.1. Umumiy ma'lumot 273
7.2. Rostlash tavsiflari 274
7.2.1. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatelning aralashma tarkibi bo'yicha rostlash tavsifi 274
7.2.2 O't oldirishning ilgarilatish burchagi bo'yicha rostlash tavsifi 277
7.2.3. Dizelning yonilg'i purkashni ilgarlatish burchagi bo'yicha rostlash tavsifi 278
7.3. Yuklama tavsiflari 279
7.3.1. Uchqumdan o't oldiriladigan dvigatelning yuklama tavsifi 280
7.3.2. Dizelning yuklama tavsifi 281
7.4. Tezlik tavsiflari 283
7.4.1. Uchqumdan o't oldiriladigan dvigatelning tezlik tavsifi 285
7.4.2. Dizelning tezlik va regulator (Rostlovchi) tavsiflari. Tashqi tavsifning shakillanishi 287
7.5. Dvigatelning ko'p parametrli (universal) tavsifi 295
7.6. Dvigatellarning barqarorlashmagan rejimlardagi tavsiflari 297
7.7. Dvigatel ishlashining kompleks mikroprosessorli boshqarish 303
7.7.1. Dvigatel va uni boshqarishga talablar 303

7.7.2. Dvigatel boshqarish obyekti sifatida 306
7.7.3. Dvigatelni mikroprosessorli boshqarish tarkibi va tamoyillari . 308
7.7.4. Mikroprosessor boshqarish tizimlarini ishlash asoslari 314

2. DINAMIKA VA KONSTRUKSIYALASH

I bob. **Krivoship-shatun mexanizmining kinematikasi va dinamikasi** 318
1.1. KSHM kinematikasi 318
1.1.1. Markaziy krivoship-shatun mexanizmining kinematikasi 319
1.2. KSHM dinamikasi 323
1.2.1. Gazlarning bosim kuchi 324
1.2.2. KSHM harakatlanuvchi massalarining inersiya kuchlari 324
1.2.3. KSHM ga ta'sir qiluvchi yig'indi kuchlar va momentlar 328
1.2.4. Tirsakli val bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar 329
1.2.5. Val bo'yinlari yeyilishining nazariy diagrammasi 332
1.2.6. Dvigatel burovchi momentining yig'indisi 333
1.2.7. KSHM dagi konstruktiv nisbatlarning dvigatel parametrlariga ta'siri 335
1.3. Krivoship-shatun mexanizmidagi zarbalar 337
II bob. **Muvozanatlanganlik va dvigatelni muvozanatlash** 342
2.1. Bir silindrli dvigatelning muvozanatlanmaganligini keltirib chiqaradigan kuch omillari 342
2.2. Ko'p silindrli dvigatellarning muvozanatlanganlik sharti 342
2.3. Markazdan qochma inersiya kuchlarini va ularning momentlarini muvozanatlash tamoyillari 346
2.4. «Fazoviy» tirsakli vallarni muvozanatlash 349
2.5. Qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi massalarning inersiya kuchlarini muvozanatlash tamoyillari 351
2.6. Silindrlari bir qator joylashgan dvigatellarning muvozanatlanganligini tahlil qilish tamoyili 353
2.7. V simon dvigatellarning muvozanatlanganligini tahlil qilish tamoyili 355
2.8. EHM da IYOD larning muvozanatlanganligini tahlil qilishning uslubiy asoslari 359
2.8.1. EHM da dvigatelning muvozanatlanganligini hisoblashning o'ziga xosligi 359
2.8.2. Markazdan qochma inersiya kuchlar va ularning momentlari bo'yicha dvigatelning muvozanatlanmaganligini hisoblash ... 359
2.8.3. Qaytma-ilgarilanma harakatlanuvchi massalarning inersiya kuchlari va ularning momentlari bo'yicha dvigatelning muvozanatlanmaganligini hisoblash 361
2.9. Dvigatel ishlashining ravonligi 362
2.9.1. Burovchi momentning noravonligi 362
2.9.2. Dvigatel ishlashining ravonligi 363
2.10. Osmada dvigatel tebranishlarining amortizatsiyasi va tahlil asoslari 366

2.10.1. Osmada porshenli IYOD ning tebranishlarini keltirib chiqaradigan kuch omillari ... 366
2.10.2. Osmada tebranadigan dvigatelni hisoblash sxemasi ... 366
2.10.3. Bog'langan tebranishlar to'g'risida tushuncha ... 368
***III bob.* Konstruksiyalash asoslari va dvigatel detallarini mustahkamlikka hisoblash zaminlari** ... 371
3.1. Loyihalashtirilayotgan dvigatelga qo'yiladigan ekspluatatsiya talablari ... 371
3.2. Dvigatel turini va uning asosiy konstruktiv parametrlarini tanlash ... 371
3.3. Hisoblash yuklamalarini va rejimlarini aniqlash ... 373
3.4. O'zgaruvchan yuklamalarni e'tiborga olgan holda dvigatel detallarini mustahkamlikka hisoblash ... 374
***IV bob.* Silindr guruhi va karterlar** ... 377
4.1. Suyuqlik bilan sovitiladigan dvigatellarning korpus elementlari ... 378
4.2. Havo bilan sovitiladigan dvigatellarning silindrlari va karterlari ... 386
4.3. Gaz sizadigan chok elementlarining zo'riqish holatini hisobli baholash ... 388
***V bob.* Porshen guruhi** ... 393
5.1. Porshen ... 394
5.1.1. Porshen asosiy elementlarining konstruktiv parametrlari ... 395
5.1.2 Porshen va silindr elementlari orasidagi tirqishlar ... 399
5.1.3. Mustahkamlikni va uzoqqa chidamlilikni orttirish bo'yicha konstruktiv tadbirlar ... 402
5.1.4. Porshenlarning ashyolari va tayyorlash texnologiyasi ... 407
5.2. Porshen barmog'i ... 409
5.3. Porshen halqalari ... 410
5.4. Porshen hisobi ... 414
5.5. Porshen barmog'ining hisobi ... 419
5.6. Porshen halqasining hisobi ... 422
***VI bob.* Shatun guruhi** ... 424
6.1. Konstruksiyalar bo'yicha sharh ... 424
6.2. Shatun elementlarini mustahkamlikka hisoblash ... 431
***VII bob.* Tirsakli val** ... 437
7.1. Konstruksiyalar bo'yicha sharh ... 437
7.2. Tirsakli valni mustahkamlikka hisoblash ... 442
7.3. Tirsakli vallarni mustahkamlash usullari ... 450
***VIII bob.* Tirsakli vallarning tebranishi** ... 452
8.1. Buralma tebranishlar to'g'risida asosiy ma'lumotlar ... 452
8.2. Ekvivalent buralma tizimning harakatlanish tenglamasi ... 454
8.3. Ekvivalent buralma tizimning parametrlarini aniqlash ... 455
8.4. Burovchi momentlarning garmonik tahlili ... 459
8.5. Alohida krivoshiplarda burovchi momentlarning fazaviy diagrammalari ... 461

8.6. Buralma tizimning xususiy tebranishi 465
8.7. Buralma tizimning tebranma shakli 467
8.8. Chastotaviy diagramma 468
8.9. Tebranishlarda energiyaning yo'qolishi 469
8.10. Uyg'otuvchi moment va qarshilik kuchlari momentining ishi 471
8.11. Buralma tizim «motorli» massalarining burchakli siljish amplitudalarini aniqlash 472
8.12. Buralma tebranishlardan val elementlaridagi kuchlanishlarni aniqlash 473
8.13. Buralma tebranishlardan val konstruksiyasidagi kuchlanishlarni kamaytirish usullari 473
8.14. Tirsakli vallarning egilish tebranishlari to'g'risida asosiy ma'lumot 475
***IX bob.* Gaz taqsimlash mexanizmi** 479
9.1. Konstruksiyalar bo'yicha sharh 479
9.2. Gaz taqsimlash mexanizmining elementlari 484
9.3. Gaz taqsimlash mexanizmining asosiy parametrlarini aniqlash 494
9.3.1. Gaz taqsimlash mexanizmi klapanining o'tish kesimini aniqlash 494
9.3.2. Kulachoklarni profillash 497
9.3.3. Klapan mexanizmiga ta'sir qiluvchi kuchlar 505
9.3.4. Klapan prujinasining hisobi 508
9.3.5. Klapan prujinasining o'lchamlarini aniqlash 509
***X bob.* Moylash tizimi** 512
10.1. Motor moylariga qo'yiladigan talablar 512
10.2. Silindrik podshipnikning hisobi 514
10.3. Moylash tizimlarining sxemalari 521
10.4. Moylash tizimining agregatlari. Moy nasoslari 522
***XI bob.* Sovitish tizimi** 528
11.1. Suyuqlikli sovitish tizimi 528
11.2. Radiatorlarning konstruksiyalari 530
11.3. Radiatorlarning issiqlik va aerodinamik tavsiflari 533
11.4. Suyuqlik nasoslari 535
11.5. Ventilatorlar 536
11.6. Suyuqlikli sovitish tizimining hisobi 537
11.6.1. Hisoblashga dastlabki shartlar 537
11.6.2. Suyuqlik radiatorining hisobi 540
11.6.3. Ventilatorning hisobi 543
11.6.4. Suyuqlik nasosining hisobi 544
11.7. Havoli sovitish tizimi 546
***XII bob.* Havo bilan ta'minlash tizimi** 549
12.1. Havo tozalagichlar 549
12.2. Nadduvli dvigatellarning havo bilan ta'minlash agregatlari (kompressorlar, turbokompressorlar) 557
***XIII bob.* Chiqarish tizimi** 561

13.1. Chiqarish shovqinini so'ndirgichlar 562
13.2. Ishlatilgan gazlarni neytrallagichlar 568
XIV bob. **Dvigatellarni ishga tushirish tizimi** 574
14.1. Dvigatellarni ishga tushirish usullari 574
14.2. Ishga tushirish energetikasi 576
14.3. Dvigatelning ishga tushishini osonlashtiradigan vositalar 577
XV bob. **IYOD ning nazorat-diagnostik operatsiyalarining asoslari** 582
15.1. Nazorat-diagnostik operatsiyalari dvigatellarning ishonchliligini ta'minlash vositasi sifatida 582
15.2. Dvigatel diagnostik parametrlarini shakllantirish 584
15.3. Texnik diagnostikalash tizimlarini tuzish tamoyillari 590
XVI bob. **Transport vositalari uchun IYOD tanlash tamoyillari** .. 593
Adabiyot 600

Tarjimonlar:
M.M.Fayziyev, M.M.Miryunusov,
M.M.Orifjonov, B.I.Bozorov

ICHKI YONUV DVIGATELLARI

ISHCHI JARAYONLAR NAZARIYASI DINAMIKA VA KONSTRUKSIYALASH

«TURON-IQBOL» nashriyoti - 2007

Muharrir *X. Po'latxo'jayev*
Badiiy muharrir *J. Gurova*
Tex. muharrir *T. Smirnova*
Musahhihlar: *S. Abdunabiyeva, H. Zokirova*
Kompyuterda tayyorlovchilar: *E. Muratov, G. Otaskevich, Z. Boltayev*

Terishga berildi 28.09.06. Bosishga ruxsat etildi 11.06.07 .
«Tayms» garniturasida ofset usulida chop etildi.
O'lchami 60×90¹/₁₆. Shartli b.t. 38,0. Nashr t. 43,11.
Adadi 1000 nusxa. Buyurtma № 118 .

«Toshkent tezkor bosmaxonasi»MCHJda chop etildi.
Toshkent sh., Radial tor ko'chasi, 10-uy.