

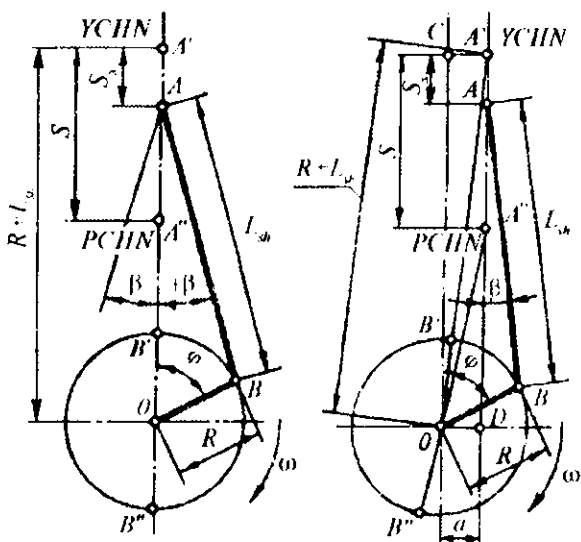
## 14-bob. KRIVOSHIP-SHATUN MEXANIZMI DINAMIKASI

### 1- §. Krivoship-shatun mexanizmi kinematikasi

Ichki yonuv motorlarida porshenning ilgari lama-qaytma harakati krivoship-shatun mexanizmi vositasida tirsakli valning aylanma harakatiga aylanadi.

Krivoship-shatun mexanizmi markaziy (bunda tirsakli val va silindrlar o'qlari bir tekislikda yotadi, 14.1-rasm, *a*) yoki dezaksial (bunda tirsakli val va silindrlar o'qlari har xil tekisliklarda yotadi, 14.1-rasm, *b*) bo'lishi mumkin. Porshen barmog'ining o'qi siljirilishi hisobiga ham dezaksial mexanizm hosil bo'lishi mumkin.

Dezaksial krivoship-shatun mexanizimli motorda silindr o'qi tirsakli val o'qiga nisbatan uning aylanishi yo'nalishida  $e$  (dezaksaj) masofaga siljigan bo'ladi. Bu siljish porshen yo'lining 10% dan katta bo'lmaydi.



14.1-rasm. Krivoship-shatun mexanizmlari sxemalari:  
*a* — markaziy; *b* — dezaksial

Dezaksaj kiritilishi natijasida:

– ishchi yoʻl paytida porshening silindr devoriga bosimi kamayadi va bu bosim siqish yoʻlida ortadi, natijada silindrning yeyilishi bir tekisda boʻlishga yaqinlashadi;

– porshen yoʻli biroz ortadi, natijada motorning ishchi hajmi, demak quvvati ham biroz koʻpayadi;

– YCHN yaqinida porshen tezligi kamayadi, natijada (deyarli oʻzgarmas hajmda) yonish jarayoni yaxshilanadi;

– tirsakli val taqsimlash vallari orasidagi masofa kattalashadi, natijada shatun quyi kallagi toʻsiqsiz aylanishi uchun zarur boʻlgan joy kengayadi.

Motorlar aylanishlar chastotalari ortib borgani sari yuqorida qayd etilgan afzalliklardan baʼzilarining ahamiyati kamayib boradi, chunki ishqalanish ishi, asosan, inersiya kuchi bilan aniqlana boshlanadi, u esa dezaksajga deyarli bogʻliq boʻlmaydi.

Porshen barmogʻi porshen oʻqiga nisbatan siljigan krivoship-shatun mexanizmlı motorlar ham dezaksial krivoship-shatun mexanizmlı motorlar ega boʻlgan afzalliklarga ega boʻladilar. Bunday motorlar tobora koʻproq qoʻllanmoqda. Bu motorlardagi dezaksaj taxminan  $0,02 \cdot R$  boʻladi.

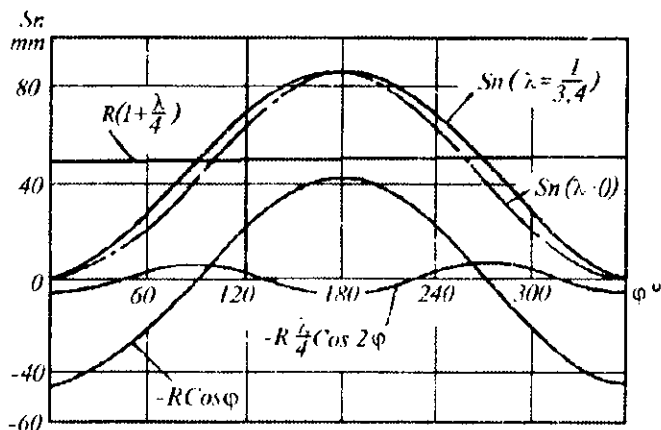
Porshen dezaksaji kichik boʻlganligi tufayli dezaksial krivoship-shatun mexanizmining kinematik hisobini markaziy krivoship-shatun mexanizmi formulalari boʻyicha bajarish mumkin.

14.1-*a* rasmda markaziy krivoship-shatun mexanizmining asosiy belgilanishlari keltirilgan:  $\varphi$  — krivoshipning burilish burchagi;  $\beta$  — shatun oʻqining silindr oʻqiga nisbatan ogʻish burchagi;  $R = OB$  — krivoship radiusi;  $L_{sh} = AB$  — shatun uzunligi;  $\lambda = R/L_{sh}$  — krivoship radiusining shatun uzunligiga nisbati;  $R + L_{sh} = A'O$  — tirsakli val oʻqidan YCHN ( $A'$  nuqta) gacha boʻlgan masofa;  $S_v$  — porshen (porshen barmogʻi oʻqi —  $A$  nuqta)ning joriy siljishi.

Motorda taʼsir qiluvchi inersiya kuchlarining qiymatlari yuqorida qayd etilgan oʻlehamlar va ularning nisbatlariga bogʻliq.

Nisbat  $\lambda = R/L_{sh}$  kamayishi bilan ( $L_{sh}$  kattalashishi hisobiga) inersiya va normal kuchlar kamayib boradi, lekin bunda motor balandligi va massasi ortadi. Avtomobil va traktor motorlarida  $\lambda = 0,23-0,30$  qabul qilingan.

Krivoship-shatun mexanizmi koʻrilganda, odatda, tirsakli valning burchak tezligi oʻzgarmas deb, yaʼni uning burilish burchagi vaqtga



14.2-rasm. Porshen siljishi grafigi

proporsional deb qabul qilinadi. Amalda esa valning burchak tezligi o'zgaruvchi bo'ladi, sababi — valning burovchi momenti barqaror bo'lmaydi. Motor ishining barqaror rejimlarida tirsakli valning aylanishlar chastotasi juda kam oraliqda o'zgaradi. Faqat dinamikaning maxsus masalalari, xususan, tirsakli val tizimining tebranishlari ko'rilganda burchak tezlik o'zgarishlari hisobga olinadi.

Krivoship-shatun mexanizmi kinematikasining hisobi porshen yo'li (siljishi), tezligi va tezlanishini aniqlashga keltiriladi.

Hisoblashda porshen kinematikasi faqat burchak  $\varphi$  funksiyasi bo'lgan ifodadan foydalanish qulay.

14.2-rasmda porshenning siljishi va bu siljish tashkil etuvchilarining grafiklari keltirilgan.

Dezakstial krivoship-shatun mexanizmida porshenning siljishi:

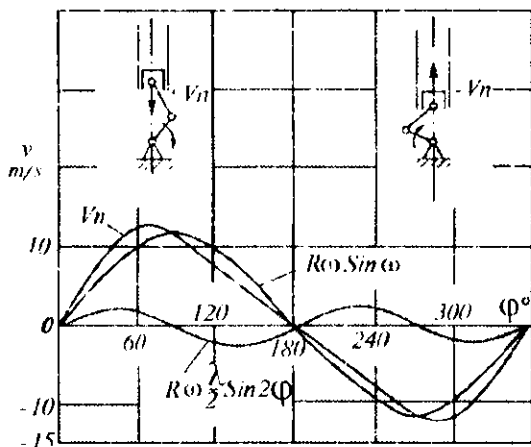
$$S_x = R \left[ (1 - \cos \varphi) + \left( \frac{\lambda}{4} \right) (1 - \cos 2\varphi) - k\lambda \sin \varphi \right],$$

bu yerda:  $k = e/R = 0,05-0,15$  — nisbiy dezakstiallik koeffitsienti.

**Porshen tezligi va tezlanishi.** Porshenning o'rtacha tezligi tasnifiy parametr bo'lib, u motorlar o'xshashlik nazariyasiga asos qilib olingan: u bo'yicha motorlar tezyurarligi qiyoslanadi; u motordagi mexanik yo'qotishlarga va natijada motorning effektiv ko'rsatkichlariga ta'sir qiladi.

Porshenning o'rtacha tezligi:

$$v_{p.o'r} = S_n/30 = 2\omega R/\pi$$

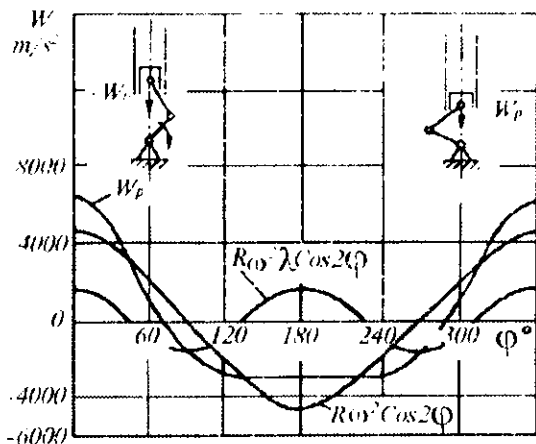


14.3-rasm. Porshen tezligi grafigi

Krivoship qaysi tarafga aylanishidan qat'i nazar, porshen YCHN da bo'lganida tezlanishi musbat, PCHN da bo'lganida esa, manfiy bo'ladi. Shatun va krivoship orasidagi burchak  $90^\circ$  ga teng bo'lganida tezlanish nolga teng bo'ladi.

Dezakial krivoship-shatun mexanizmidagi porshen tezlanishi:

$$j_n = R\omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi + k \lambda \sin \varphi)$$



14.4-rasm. Porshen tezlanishi grafigi

## 2-§. Krivoship-shatun mexanizmi dinamikasi

Krivoship-shatun mexanizmining dinamik hisobida gaz bosimi va inersiya kuchlaridan vujudga keladigan umumiy kuch va momentlar aniqlanadi. Bu kuchlar bo'yicha detallar mustahkamlikka va yeyilishga hisoblanadi hamda buroqchi moment notekisligi va motor yo'lining noravonligi darajasi aniqlanadi. Ishlayotgan motorda krivoship-shatun mexanizmi detallariga silindrdagi gaz bosimi kuchlari, harakatlanayotgan massalarning inersiya kuchlari, karter bo'shlig'i tomonidan (taxminan atmosfera bosimiga teng) bosim va og'irlik kuchlari (og'irlik kuchlari kichik bo'lganligi sababli dinamik hisobda, odatda, hisobga olinmaydi) ta'sir qiladi.

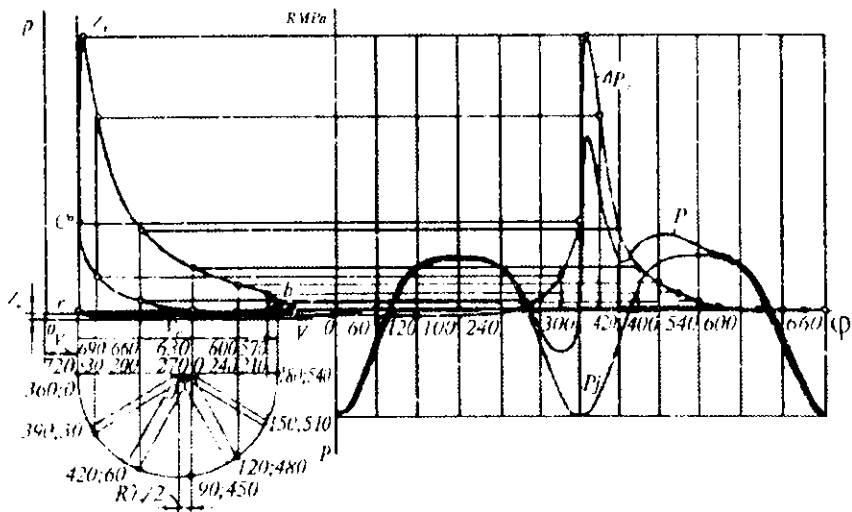
Motorda ta'sir qilayotgan hamma kuchlarni tirsakli valdagi foydali qarshiliklar, ishqalanish kuchlari va motor tayanchlari o'ziga qabul qiladi.

Har bir ishchi sikl (to'rt taktli motor uchun  $720^\circ$ , ikki taktli motor uchun esa  $360^\circ$ ) davomida krivoship-shatun mexanizmiga ta'sir qiluvchi kuchlar qiymati va yo'nalishi bo'yicha uzluksiz o'zgarib turadi. Shu sababli bu kuchlarning tirsakli val burilishi burchagi bo'yicha o'zgarishining xarakterini aniqlash uchun ularning qiymatlari tirsakli valning har  $10-30^\circ$  burilishida aniqlanadi. Dinamik hisob natijalari jadvalga yoziladi.

**Gaz bosimi kuchlari.** Dinamik hisobni soddalashtirish maqsadida porshen yuzasiga ta'sir qiluvchi kuchlarni silindr o'qi bo'ylab yo'nalgan va porshen barmog'i o'qiga qo'yilgan bitta kuch bilan almashtirishadi. Uni vaqtning har bir oni ( $\varphi$  burchak) uchun motordan olingan haqiqiy indikator diagramma yoki (odatda, nominal quvvat va tirsakli valning unga mos aylanishlar chastotasi uchun bajarilgan) issiqlik hisobi asosida qurilgan indikator diagramma bo'yicha aniqlashadi.

KSHMining dinamik yuklanganligi gaz bosimi kuchlari  $P_x$  ning vaqtga (tirsakli valning burilish burchagi  $\varphi$  ga) bog'liqligi bilan baholanadi.

Indikator diagrammani tirsakli val burilishi burchagi bo'yicha yoyilgan diagrammaga qayta qurish uchun indikator diagramma ostida  $R - S/2$  radiusli yordamchi yarim aylana chiziladi (14.5-rasm). So'ngra yarim aylana markazi  $O$  nuqtadan PCHN tarafga  $R\lambda/2$  ga teng tuzatish qo'yiladi va  $O'$  nuqta olinadi. Yarim aylana  $O$  markazdan nurlar bilan bir necha teng bo'laklarga bo'linadi, so'ngra  $O'$  nuqtadan bu nurlarga parallel chiziqlar o'tkaziladi. Yarim aylana hosil bo'lgan nuqtalar



14.5-rasm. Indikator diagrammani  $r-\varphi$  koordinatalarga yoyish

ma'lum  $\varphi$  burchaklarga mos keladi. Bu nuqtalardan indikator diagramma chiziqlari bilan kesishguncha vertikal chiziqlar o'tkaziladi va bosinning olingan qiymatlari mos  $\varphi$  burchaklaridan vertikal bo'ylab qo'yiladi. Indikator diagrammani yoyish sikl boshlanishi  $r$  nuqtadan boshlanadi. Shuni nazarda tutish lozimki, indikator diagrammada bosim absolut noldan o'lchanadi, yoyilgan diagrammada esa porshen ustidagi ortiqcha bosim  $\Delta P_k = P_k - P_0$  ko'rsatiladi. Demak, motor silindridagi atmosfera bosimidan kam bo'lgan bosim yoyilgan diagrammada manfiy bo'ladi, tirsakli val o'qi tarafiga yo'nalgan gaz bosimi kuchlari musbat, tirsakli val o'qidan teskari tarafga yo'nalganlari esa, manfiy bo'ladi.

Porshenga ta'sir qiladigan gaz bosimi kuchi:

$$r_g = (r_c - r_p) \cdot F_p \cdot MN,$$

bu yerda:  $F_p$  — porshen yuzasi,  $m^2$ ;  $P_k$  va  $P_0$  — gaz bosimi va atmosfera bosimi, MPa.

Tenglamadan shu narsa ko'rinadiki, tirsakli val buralishi burchagi bo'vicha gaz bosimi kuchlarining o'zgarishi gaz bosimi  $\Delta P_k$  o'zgarishi tavsifiga ega bo'ladi.

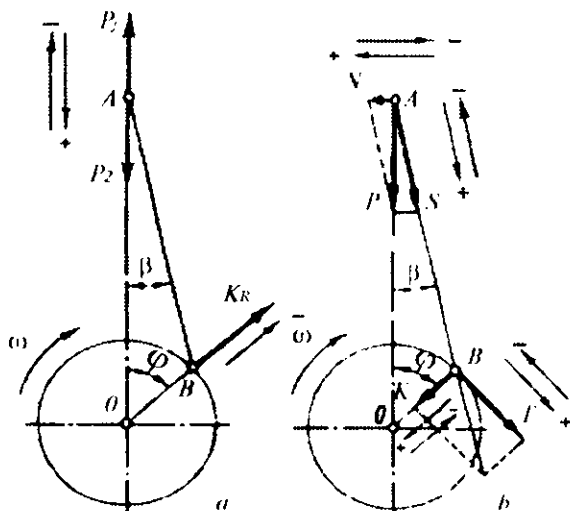
Yoyilgan diagrammadan gaz bosimi kuchlari  $P_k$  ni hisoblash uchun zarur bo'lgan masshtab koefitsienti:

$$\mu_R = \mu_r \cdot F_p, \text{ MN/mm}$$

**Inersiya kuchlari.** Krivoship-shatun mexanizmidagi ta'sir qiluvchi inersiya kuchlarini keltirilgan massalar harakatining tavsifi bo'yicha ilgari qaytma harakatlanuvchi massalarning inersiya kuchi  $P_i$  va aylanma harakatlanayotgan massalarning markazdan qochma inersiya kuchi  $K_R$  ga ajratishadi (14.6-rasm).

Ilgari qaytma harakatlanayotgan massalarning inersiya kuchlari:

$$P_i = P_{ii} + P_{iu} = -(m_i R \omega^2 \cos \varphi + m_j R \omega^2 \lambda \cos 2\varphi).$$



14.6-rasm. Krivoship-shatun mexanizmidagi ta'sir qiluvchi kuchlar sxemasi:

a — inersiya va gaz kuchlari; b — yig'indi kuchlar

Ilgari qaytma harakatlanuvchi massalar inersiya kuchi silindri o'qi bo'ylab yo'naladi va gaz bosimi kuchlari kabi, agar tirsakli val o'qi tomon yo'nalgan bo'lsa musbat va agar tirsakli valdan teskari tomonga yo'nalgan bo'lsa manfiy bo'ladi.

Krivoship ( $\varphi$  burchak)ning qaysi holatlari uchun  $\Delta P_R$  va  $P_g$  aniqlangan bo'lsa, o'sha holatlar uchun  $P$  hisoblanadi.

Aylanma harakatlanuvchi massalarning markazdan qochma inersiya kuchi

$$K_R = -m_R R \omega^2$$

( $\omega = \text{const}$  da) qiymati bo'yicha o'zgarimas bo'lib, krivoship radiusi bo'yicha ta'sir qiladi va tirsakli val o'qidan tashqariga yo'naladi.

Silindr o'qiga perpendikular ta'sir qilayotgan kuch  $N$  normal kuch deyiladi va u silindr devorlari tomonidan qabul qilinadi:

$$N = P \operatorname{tg} \beta, \text{ kN}$$

Agar  $N$  kuch tirsakli val o'qiga nisbatan hosil qilayotgan moment yo'nalishi val aylanishi yo'nalishiga qarama-qarshi bo'lsa, u musbat hisoblanadi.

Shatun bo'ylab yo'nalgan kuch  $S$  krivoshipga uzatiladi. Bu kuch shatunni siqsa — musbat, cho'zsa manfiy hisoblanadi:

$$S = P(1/\cos \beta), \text{ kN}$$

Shatun bo'ylab ta'sir qilayotgan  $S$  kuchdan tirsakli valning shatun bo'yinida ikkita tashkil qiluvchi kuchlar vujudga keladi:

krivoship radiusi bo'ylab yo'nalgan kuch:

$$K = P \cdot \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta, \text{ kN}$$

va krivoship radiusi aylanasiga urinma yo'nalgan tangensial kuch:

$$T = P \cdot \sin(\varphi + \beta) / \cos \beta, \text{ kN}$$

Agar  $K$  kuchi tirsak chekkalarini siqsa, u musbat hisoblanadi.  $T$  kuchidan hosil bo'layotgan moment yo'nalishi tirsakli val aylanish yo'nalishi bilan mos bo'lsa,  $T$  kuch musbat hisoblanadi.

$T_{\omega r}$  qiymati  $T$  egri chizig'i ostidagi yuzadan grafik ravishda (14.7-rasm) aniqlanadi:

$$T_{\omega r} = (\Sigma f_1 - \Sigma f_2) \mu_p / OB,$$

bu yerda:  $\Sigma f_1$  va  $\Sigma f_2 = T$  egri chizig'i ostidagi mos ravishda musbat va manfiy yuzalar,  $\text{mm}^2$ ;  $\mu_p$  — to'liq kuchlar masshtab koeffitsienti,  $\text{MN/mm}$ ;  $OB$  — diagramma asosi uzunligi,  $\text{mm}$ .

Hisoblar va  $T$  kuchi egri chizig'ini qurish aniqligini quyidagi tenglama yordamida aniqlashadi:

$$T_{\omega r} = 2\rho_1 F_p / (\tau n).$$

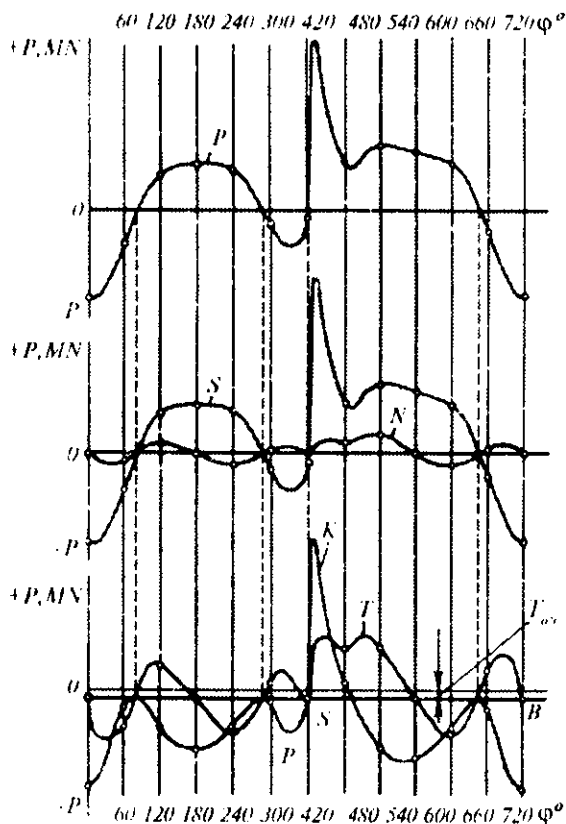


bu yerda:  $T_{av}$  — tangensial kuchning bir sikldagi o'rtacha qiymati, MN;  $r_f$  — o'rtacha indikator bosimi, MPa;  $F_p$  — porshen yuzasi,  $m^2$ ;  $\tau$  — motor taktligi.

$T$  qiymati bo'yicha bir silindrda hosil bo'ladigan buruvchi moment aniqlanadi:

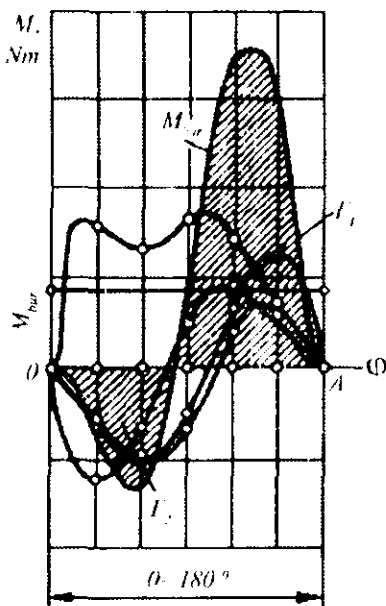
$$M_{burp} = TR, MN \cdot m$$

$T$  kuchining  $\varphi$  bo'yicha o'zgarishi grafigi  $\mu_M = \mu_p R$  ( $MN \cdot m/mm$ ) masshtabda  $M_{burp}$  o'zgarishining grafigi ham bo'ladi.



14.7-rasm. Tirsakli val burilishi burchagi bo'yicha  $P$ ,  $N$ ,  $S$ ,  $K$  va  $T$  kuchlar grafigilarini qurish

**Tirsakli valning shatun bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar.** Motor shatun bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar analitik usulda yoki qurish yo'li bilan aniqlanadi (14.8-rasm).



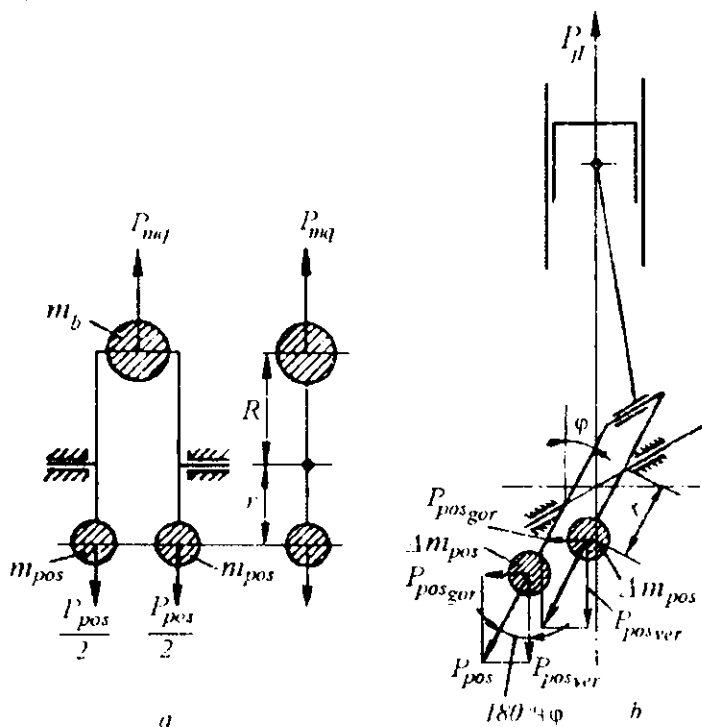
14.8-rasm. To'rt silindrli, to'rt takli motorning yig'indi burovchi moment grafigini chizish

### 3-§. Motorni muvozanatlash

Motorni muvozanatlash deganda, undagi burovchi momentdan tashqari barcha kuchlar va momentlarni muvozanatlashtirish tushuniladi. Bunda porshen guruhi detallarining massasi, shatunlarning massasi va og'irlik markazlarining joylashishi teng bo'lishi hamda tirsakli val statik va dinamik muvozanatlashgan bo'lishi talab etiladi. Motorning titrashi faqat uning muvozanatlanganlik darajasiga emas, balki alohida silindrlardagi burovchi momentning o'zgarishiga ham bog'liq. Shuning uchun uning barcha silindrlarida ishehi jarayonning kechishi (aralashma tarkibi, yonishni yoki yonilg'ini purkashni ilgariylash burchagi, silindrning to'lishi, issiqlik tartibi, aralashmaning taqsimlanishi) bir xil bo'lishiga erishish zarur.

**Bir silindrlı motorlarda** barcha inersiya kuchlari va reaktiv moment muvozanatlashmagan bo'ladi.

Markazdan qochirma inersiya kuchi  $P_{mq}$  juda oson muvozanatlanadi. Buning uchun krivoship jag'iga ikkita posangi o'rnatiladi (14.9-rasm, a).



14.9-rasm. Bir silindrlı motorni muvozanatlash:

a — markazdan qochirma kuchlarni muvozanatlash;

b — birinchi tartibli inersiya kuchlarini qisman muvozanatlash

Posangilar massasi ular hosil qiladigan markazdan qochirma kuchni krivoshipning muvozanatlanmagan massalari markazdan qochirma kuchiga teng bo'lishidan kelib chiqib tanlanadi:

$$P_{pos} = -P_{mq} \text{ yoki } 2m_{pos}r\omega^2 = -m_b R\omega^2.$$

bu yerda:  $r$  — posangi massalar og'irlik markazidan tirsakli val o'qigacha bo'lgan masofa.

Bitta posangi massasi va uning og'irlik markazining aylanish radiusi:

$$m_{\text{pos}} = m_b R / 2r \quad \text{va} \quad r = m_b R / 2m_{\text{pos}}$$

Birinchi tartibli mersiya kuchlari faqat uchlarida to'rtta posangisi bo'lgan ikkita qo'shimcha val o'rnatish bilan to'liq muvozanatlanishi mumkin. Odatda, bir silindrlı motorlarda birinchi tartibli inersiya kuchlarini qisman muvozanatlash bilan chegaralanadi. Shu maqsadda markazdan qochirma kuchlarni muvozanatlayotgan posangilar massasi  $m_{\text{pos}}$  ga yana qo'shimcha massa  $\Delta m_{\text{pos}}$  o'rnatiladi (14.9-rasm, b):

$$2P_{\text{pos}} = 2\Delta m_{\text{pos}} r \omega^2$$

Bu kuchni gorizontaal va vertikal ikki tashkil etuvchiga ajratamiz:

$$2P_{\text{pos,vert}} = 2\Delta m_{\text{pos}} r \omega^2 \sin(180 + \varphi) = +2\Delta m_{\text{pos}} r \omega^2 \sin \varphi$$

$$2P_{\text{pos,gor}} = 2\Delta m_{\text{pos}} r \omega^2 \cos(180 + \varphi) = +2\Delta m_{\text{pos}} r \omega^2 \cos \varphi$$

Shunday qilib, qo'shimcha posangilar markazdan qochirma kuchining vertikal tashkil etuvchisi birinchi tartibli inersiya kuchlari qonuni bo'yicha o'zgaradi, lekin unga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi. Shu sababli tegishli tarzda  $\Delta m_{\text{pos}}$  massani tanlab birinchi tartibli inersiya kuchlarini to'liq yoki qisman muvozanatlash mumkin. Lekin bunda muvozanatlashmagan o'zgaruvchan gorizontaal kuch  $2P_{\text{pos,gor}}$  bosil bo'ladi, ya'ni amaliy jihatdan birinchi tartibli inersiya kuchlari faza bo'yicha  $90^\circ$  ga siljib gorizontaal tekislikka ko'chadi.

Ko'pincha  $\Delta m_{\text{pos}}$  massa kattaligini  $P_{\text{il}}$  kuchining yarmi muvozanatlashadigan qilib tanlanadi. Bu holda:

$$2P_{\text{pos}} = 2\Delta m_{\text{pos}} r \omega^2 = -0,5 m_A R \omega^2$$

$$\text{bundan} \quad \Delta m_{\text{pos}} = 0,5 \frac{m_A R}{2r} = \frac{m_A R}{4r}$$

Har bir posangining to'liq massasi:

$$m_{\text{pos}} = m_{\text{pos,mq}} + \Delta m_{\text{pos}} = (m_b + 0,5 m_A) \frac{R}{2r}$$

Shunday qilib, bir silindrlı motorlarda faqat markazdan qochirma kuchlar to'liq muvozanatlanadi, birinchi tartibli inersiya kuchlari esa ko'pincha faza bo'yicha siljib qisman gorizontaal tekislikka ko'chiriladi. Ikkinchi tartibli inersiya kuchlari muvozanatlanmaydi va tayanchlar bilan to'liq qabul qilinadi.

Zamonaviy traktor va avtomobillarda, asosan, to'rt hamda olti silindrli to'rt taktli motorlar qo'llaniladi. Muvozanatlashni o'rganish va muvozanatlash uslubi barcha motorlar uchun umumiy ekanligini hisobga olib shu ikki turdagi motorlarni ko'rib chiqish bilan cheklanamiz.

**To'rt taktli, to'rt silindrli motorlarda** tirsakli val krivoship bo'yinlari bir tekislikda (krivoshiplar orsidagi burchak  $180^\circ$ ) simmetrik joylashgan bo'ladi (14.10-rasm). Silindrlar ish tartibi 1-2-4-3 yoki 1-3-4-2 bo'lishi mumkin. Inersiya kuchlari va ularning momentini ko'rib chiqamiz.

Birinchi tartibli inersiya kuchlarining yig'indisi:

$$\begin{aligned} \sum P_{ji} = P_{ji}^I + P_{ji}^{II} + P_{ji}^{III} + P_{ji}^{IV} = & -m_A R \omega^2 \cos \varphi - m_A R \omega^2 \cos(180^\circ + \varphi) - \\ & - m_A R \omega^2 \cos(540^\circ + \varphi) - m_A R \omega^2 \cos(360^\circ + \varphi) - \\ & = -m_A R \omega^2 (\cos \varphi - \cos \varphi + \cos \varphi - \cos \varphi) = 0 \end{aligned}$$

Ikkinchi tartibli inersiya kuchlari yig'indisi:

$$\begin{aligned} \sum P_{ji} = P_{ji}^I + P_{ji}^{II} + P_{ji}^{III} + P_{ji}^{IV} = & -m_A R \omega^2 \cos 2\varphi - m_A R \omega^2 \cos 2(180^\circ + \varphi) - \\ & - m_A R \omega^2 \cos 2(540^\circ + \varphi) - m_A R \omega^2 \cos 2(360^\circ + \varphi) = \\ & = -m_A R \omega^2 (\cos 2\varphi + \cos 2\varphi + \cos 2\varphi - \cos 2\varphi) = -4m_A R \omega^2 \cos 2\varphi \end{aligned}$$

Markazdan qochirma kuchlar yig'indisi:

$$\sum P_{mi} = P_{s1} - P_{s2} - P_{s3} + P_{s4} = 0$$

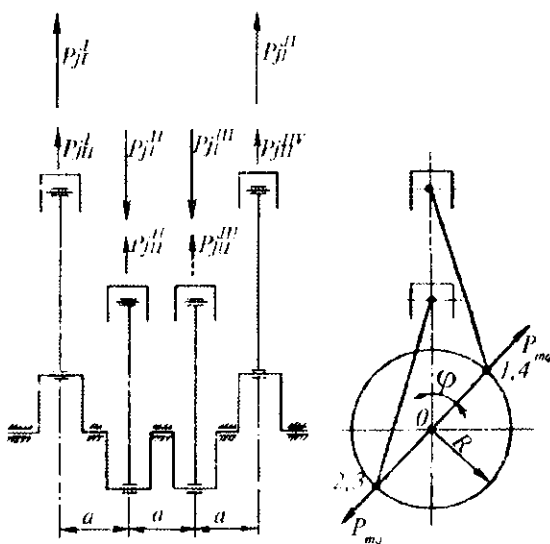
Barcha inersiya kuchlarining momentlari yig'indisi val simmetrikligi uchun nolga teng bo'ladi, ya'ni:

$$\sum M_{ji} = \sum M_{jII} = \sum M_{mi} = 0$$

Shunday qilib, yassi simmetrik valli to'rt silindrli, to'rt taktli motorlarda faqat ikkinchi tartibli inersiya kuchlari muvozanatlanmay qoladi, ularning teng ta'sir etuvchisi bu kuchlarning barcha silindrlar uchun yig'indisiga teng. Bunday motorlarda ikkinchi tartibli inersiya kuchlarini tayanchlar qabul qiladi.

**To'rt taktli, olti silindrli motorlarda** tirsakli valning krivoship bo'yinlari burchak ostida joylashgan (14.11-rasm). Silindrlarning keng tarqalgan ishlash tartibi 1-5-3-6-2-4.

Birinchi tartibli inersiya kuchlari yig'indisi:



14.10-rasm. To'rt taktili, bir qatorli to'rt silindri  
motorni muvozanatlash

$$\begin{aligned} \sum P_{ji} &= -m_A R \omega^2 \cos \varphi - m_A R \omega^2 \cos(240^\circ + \varphi) - m_A R \omega^2 \cos(120^\circ + \varphi) - \\ &- m_A R \omega^2 \cos(120^\circ + \varphi) - m_A R \omega^2 \cos(240^\circ + \varphi) - m_A R \omega^2 \cos(360^\circ + \varphi) = \\ &= -2m_A R \omega^2 \left[ \cos \varphi + \cos(120^\circ + \varphi) + \cos(240^\circ + \varphi) \right] = 0 \end{aligned}$$

Ikkinchi tartibli inersiya kuchlari yig'indisi:

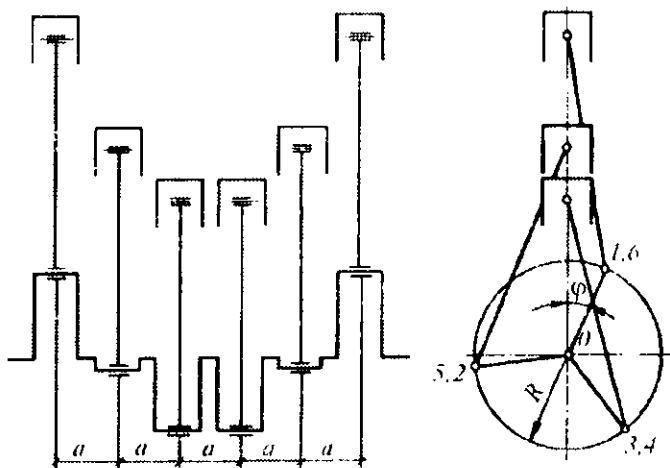
$$\sum P_{ji} = -2m_A R \omega^2 \left[ \cos 2\varphi + \cos 2(120^\circ + \varphi) + \cos 2(240^\circ + \varphi) \right] = 0$$

Markazdan qochirma kuchlar yig'indisi:

$$\begin{aligned} \sum P_{m_{iq}} &= -m_B R \omega^2 - m_B R \omega^2 \cos 120^\circ - m_B R \omega^2 \cos 240^\circ = \\ &= -m_B R \omega^2 + \frac{1}{2} m_B R \omega^2 + \frac{1}{2} m_B R \omega^2 = 0 \end{aligned}$$

Val simmetrik bo'lgani uchun inersiya kuchlarining momentlari yig'indisi:

$$\sum M_{ji} = \sum M_{ij} = \sum M_{m_{iq}} = 0$$



14.11-rasm. Olti silindrli, to'rt taktli motorni muvozanatlash

Demak, to'rt taktli, olti silindrli motor birinchi va ikkinchi tartibli inersiya kuchlaridan hamda markazdan qochirma kuchlardan, shuningdek, ularning momentlaridan to'liq muvozanatlangan. Shunga qaramay ba'zan olti silindrli motorlarda, to'rt silindrli motordagi kabi krivoship jag'iga posangilar qo'yiladi. Bunday posangilarning vazifasi tirsakli valning o'zak bo'yinlariga markazdan qochirma kuchlar ta'sirini yengillashtirishdir, motorni muvozanatlashtirishga ular ta'sir ko'rsatmaydi.

**Nazorat savollari**

1. Krivoship-shatun mexanizmiga qanday kuchlar ta'sir etadi?
2. Motorni muvozanatlash nima uchun kerak?
3. Dezarsaj kiritishdan maqsad nima?
4. Birinchi va ikkinchi tartibli inersiya kuchlari qanday yo'qotiladi?
5. Tirsakli valga posangilar nima maqsadda qo'yiladi?