

KOLEVKA

Cev oruđa treba u postupku navođenja na cilj da se okreće oko horizontalne ose u vertikalnoj ravni, a pri opaljenju da se trza oko svoje uzdužne ose. Ova kretanja cevi obezbeđuje svojom konstrukcijom **kolevka**. Okretanje cevi po visini vrši se oko ramena kolevke, koja su povezana sa ležištima na gornjem lafetu. Kretanje cevi pri trzanju i vraćanju vrši se po specijalnim vođicama kolevke. Kolevka spaja oscilujuće delove (delove pokretne po visini) sa gornjim lafetom.

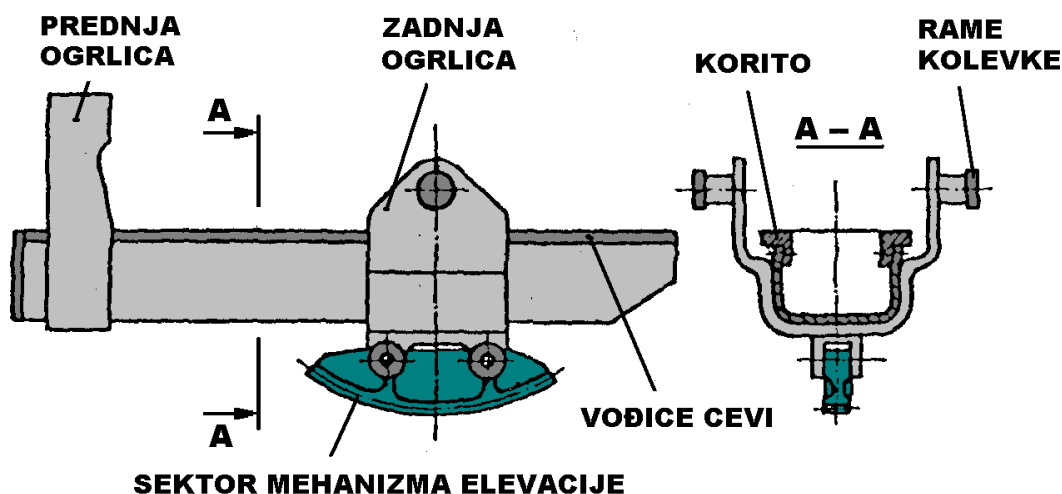
Za kolevku su vezani:

- klipnjače (ili cilindri) protivtrzajućeg uređaja,
- sektor mehanizma za pokretanje po visini (mehanizma elevacije),
- nosač nišanskih sprava,
- pokretni oslonac izravnjača,
- elementi za automatsko otvaranje zatvarača, punjača, regulatora dužine trzanja (eventualno)

Kod savremenih oruđa primenjuju se kolevke različite konfiguracije. Po načinu vođenja kretanja cevi kolevke se mogu podeliti na tri tipa:

- koritasta
- obujmna
- mešovita

KOLEVKA KORITASTOG TIPa prikazana je na slici 1. Za korito kolevke vezane su prednja i zadnja ogrlica i vođice cevi. Protivtrzajući uređaj je najčešće smešten unutar kolevke. Povratnik se vezuje za prednju ogrlicu, a kočnica trzanja je obično smeštena u koritu kolevke. Na zadnjoj ogrlici su ramena kolevke i sektor mehanizma za pokretanje po visini.



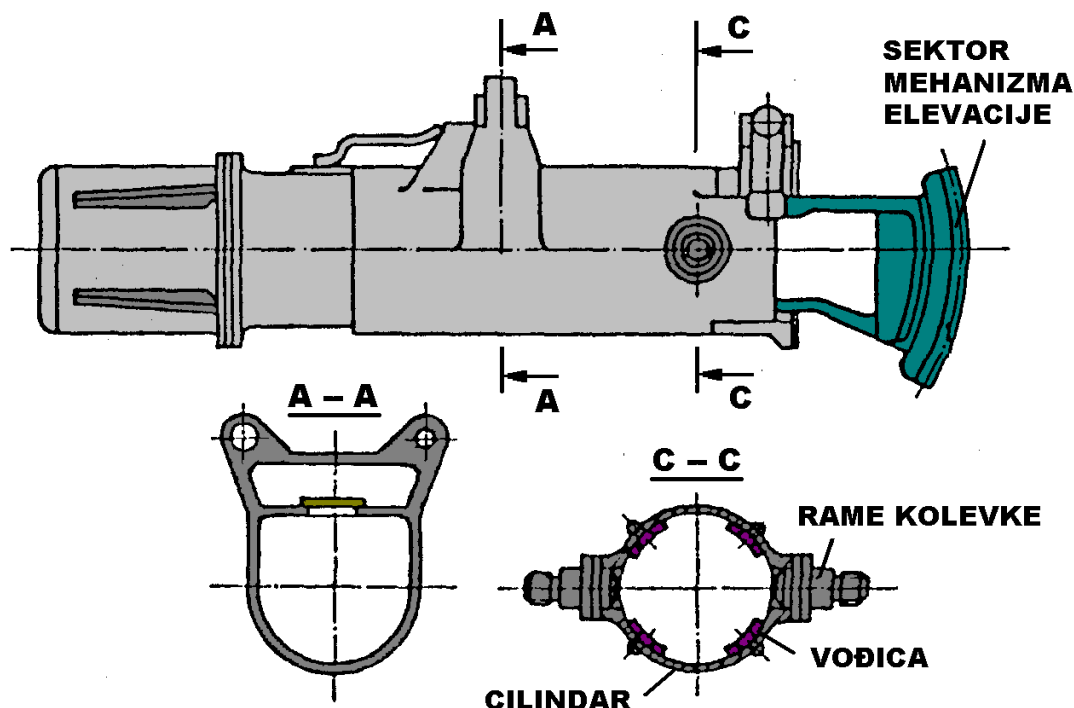
Sl 1. Kolevka koritastog tipa

Kolevka koritastog tipa obezbeđuje dobre uslove za kretanje trzajućih delova oruđa. Ovaj tip kolevke ne zahteva obradu velikih površina na cevi i kolevci; fino se obrađuju samo vođice kolevke i klizači cevi. Kolevka ovog tipa se uglavnom primenjuje kod vučnih artiljerijskih oruđa.

Kod oruđa sa koritastom kolevkom povećana je visina vatrena linije. Ovo je osnovni nedostatak koritaste kolevke, zbog smanjene stabilnosti oruđa.

KOLEVKA OBUJMNOG TIPA prikazana je na slici 2. To je obično *cilindar* unutar koga se kreće cev. Da bi se smanjilo habanje i trenje na unutrašnju stranu obujmica ugrađuju se bronzane vođice sa kanalima za podmazivanje.

Protivtrajući uređaj se vezuje za spoljne površine kulevke; kočnica trzanja i povratnik su često ugrađeni iznad kulevke. Na kulevcu su ugrađeni i ramena kulevke i sektor mehanizma elevacije za pokretanje po visini.



Sl 2. Kulevka obujmnog tipa

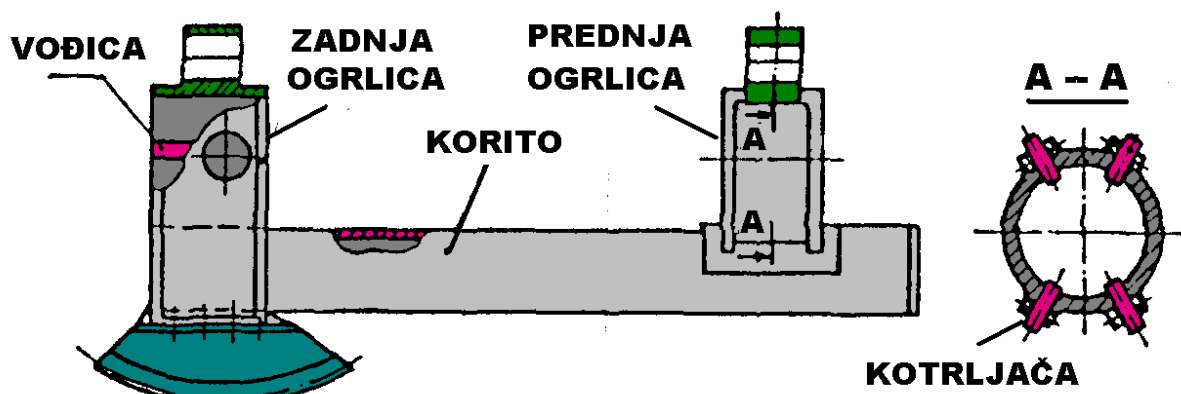
U poređenju sa koritastom kulevkom, kulevka obujmnog tipa je kompaktnija, ima veću krutost i tehnološki je lakša za izradu. Zato se ova kulevka danas široko primenjuje, pre svega kod tenkovskih topova i samohodnih oruđa.

Glavni nedostaci kulevke obujmnog tipa su pogoršani uslovi hlađenja cevi, kao i neophodnost kvalitetnije obrade i obilnog podmazivanja cevi. Pored toga, zazor između cevi i vođica je promenljiv i zavisi od temperature cevi i elastične deformacije zidova cevi pod dejstvom pritiska barutnih gasova. Određivanje potrebnog zazora između cevi i vođica kulevke je veoma važno za pravilno funkcionisanje cevi pri trzanju i klaćenje cevi posle opaljenja, koje pri velikom zazoru može da ograniči praktičnu brzinu gađanja.

KOLEVKA MEŠOVITOG TIPA ima elemente oba razmatrana tipa. Jedno od mogućih rešenja je prikazano na slici 3.

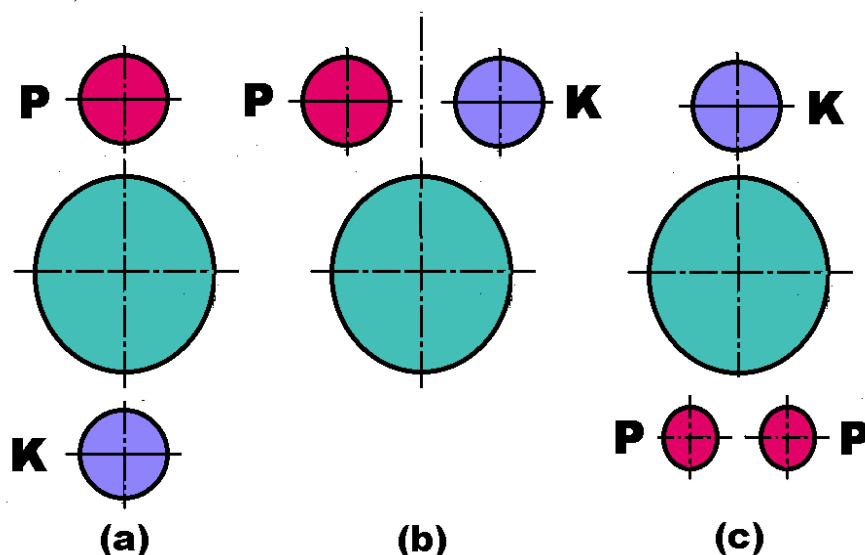
Osnovu kulevke čini korito za koje su vezane prednja i zadnja ogrlica. U zadnjoj ogrlici cev se vodi pomoću vođica, a u prednjoj ogrlici se kotrlja po kotrljačama sa kugličnim ležajima koje imaju mogućnost radijalnog podešavanja.

U postupku komponovanja oscilujućih delova oruđa važno je da se protivtrajući uređaj pravilno ugradi u odnosu na kulevku. Elementi protivtrajućeg uređaja treba da budu ugrađeni tako da sile koje dejstvuju tokom trzanja i vraćanja budu simetrično raspoređene u odnosu na vertikalnu ravan koja prolazi kroz osu cevi (sl. 4-a). U tom slučaju cev zadržava isti položaj pri opaljenju metka, pa se ne remeti tačnost gađanja, a smanjuju se i sile reakcije kulevke na trzajuće delove u ravni normalnoj na ravan gađanja.



Sl 3. Kolevka mešovitog tipa

Kod nekih oruđa protivtrzaјуći uređaj se ugrađuje iznad kolevke (sl. 4-b). Takav položaj smanjuje visinu vatrene linije i povećava stabilnost oruđa u periodu trzanja. Ako se projektuje uređaj sa dva povratnika, poželjno je da njihov raspored bude simetričan u odnosu na vertikalnu ravan (kao na sl. 4-c).

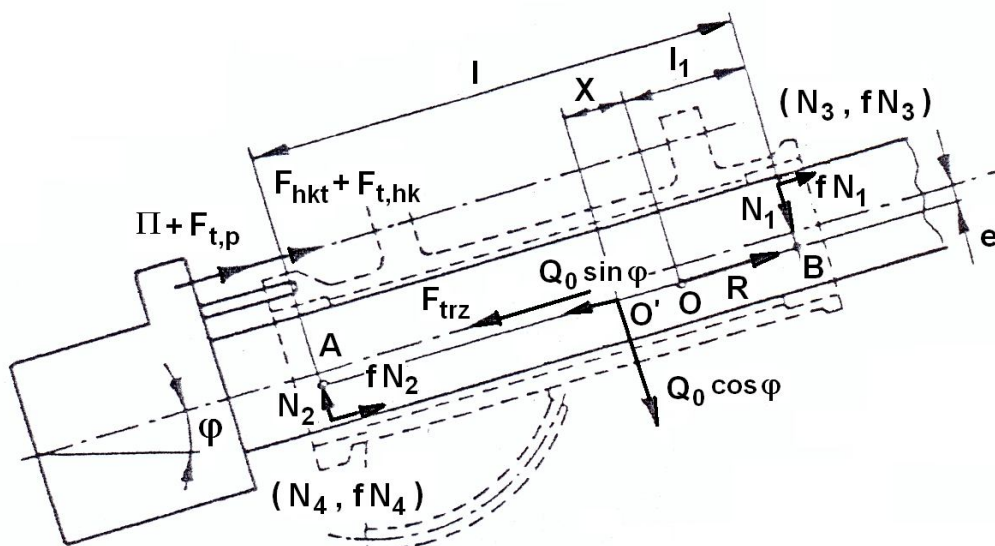


Sl 4. Varijante rasporeda ugradnje protivtrzaјуćeg uređaja
(K - kočnica trzanja, P - povratnik)

PRORAČUN KOLEVKE

Na kolevku deluju sile reakcije trzaјуćih delova, gornjeg lafeta, zupčanika elevacione osovine i izravnaјаča.

Da bi se odredile sile koje dejstvuju na kolevku kao reakcije trzaјуćih delova, razmotriće se uslovi ravnoteže trzaјуćih delova pri trzanju. Sile koje deluju na trzaјуće delove šematski su prikazane na slici 5.



Sl 5. Šema sile koje deluju na trzajuće delove pri trzanju

Π, F_{hkt}	- sila povratnika i kočnice trzanja
$F_{t,p}, F_{t,hkt}$	- sila trenja u zaptivačima povratnika i kočnice trzanja
$Q_0 \sin \varphi, Q_0 \cos \varphi$	- komponente sile težine trzajućih delova
N_1, N_2	- sile reakcije kolenke na trzajuće delove u ravni crteža
N_3, N_4	- sile reakcije kolenke na trzajuće delove u ravni normalnoj na ravan crteža
fN_1, fN_2, fN_3, fN_4	- sile trenja
F_{trz}	- sila trzanja (sila pritiska barutnih gasova na dno kanala cevi)

Sile $\Pi, F_{hkt}, F_{t,p}, F_{t,hkt}, Q_0 \sin \varphi, fN_1, fN_2, fN_3, fN_4$ treba zameniti rezultantom tih sila R , čija linija dejstva prolazi kroz središte masa trzajućih delova (O - do početka trzanja, O' - u toku trzanja).

Jednačine momenata u odnosu na tačku A i B daju:

$$\sum M_A = F_{trz} e - Q_0 (1 - l_1 - X) \cos \varphi - N_1 l = 0 \quad (1)$$

$$\sum M_B = F_{trz} e + Q_0 (l_1 + X) \cos \varphi - N_2 l = 0 \quad (2)$$

pa se iz njih dobijaju reakcije:

$$N_1 = \frac{F_{trz} e - Q_0 (1 - l_1 - X) \cos \varphi}{l} \quad (3)$$

$$N_2 = \frac{F_{trz} e + Q_0 (l_1 + X) \cos \varphi}{l} \quad (4)$$

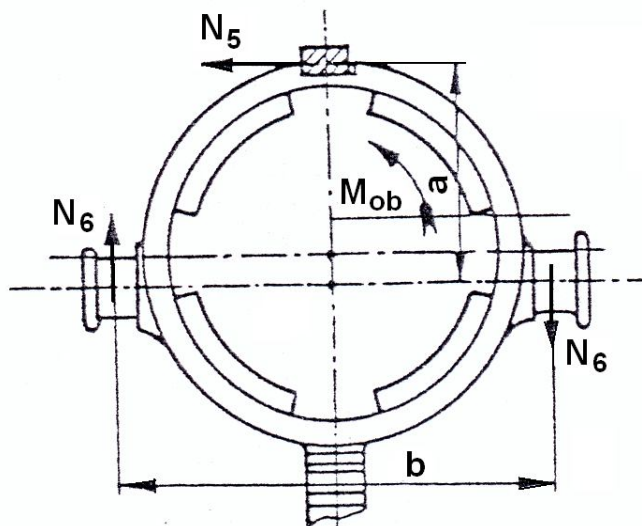
Da bi se odredile sile reakcije N_3 i N_4 treba razmotriti uslove ravnoteže u ravni koja prolazi kroz središte masa trzajućih delova paralelno osi kanala cevi i normalno na vertikalnu ravan. Ako središte masa trzajućih delova ne leži u vertikalnoj ravni simetrije trzajućih delova, na trzajuće delove će delovati bočne sile reakcije kolenke i sile trenja izazvane tim reakcijama (N_3, N_4, fN_3, fN_4). Ako središte masa leži na osi simetrije, ove sile reakcije mogu biti izazvane poprečnim oscilacijama cevi.

Pri razmatranju otpornosti klevke sile $\Pi + F_{t,p}, F_{hkt} + F_{t,hkt}, N_1, N_2, fN_1, fN_2, N_3, N_4, fN_3, fN_4$, prikazane na slici 5 treba uzeti sa obrnutim smerom dejstva.

Da bi se cev osigurala od obrtanja izazvanog dejstvom obrtnog momenta M_{ob} za vreme kretanja projektila u cevi i vreme rada automatike zatvarača, ugrađen je klin koji je fiksiran u zadnjaku. Na klevku deluje sila reakcije tog klina:

$$N_5 = \frac{M_{ob,max}}{a} \quad (5)$$

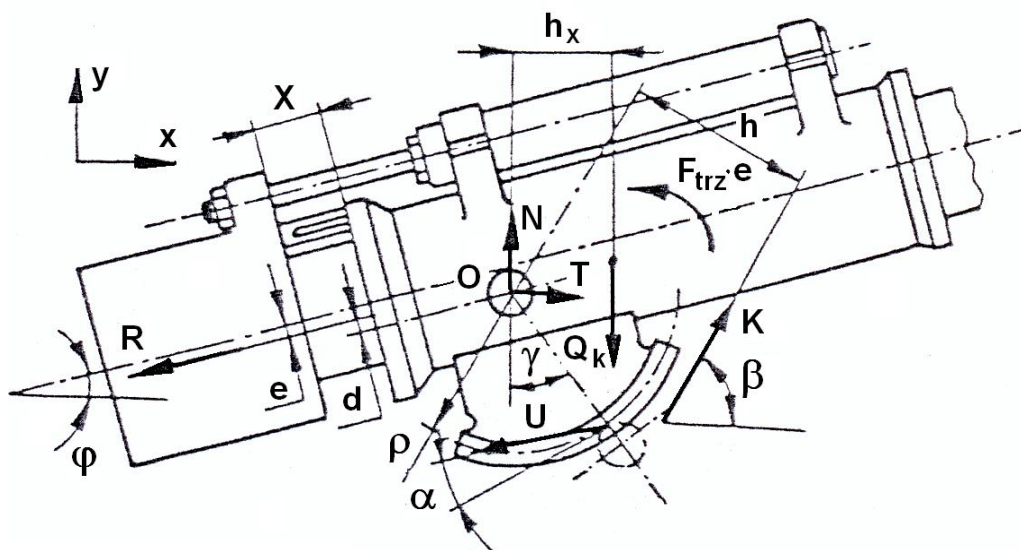
koja se uravnotežava silom reakcije gornjeg lafeta na ramena klevke (slika 6).



Sl 6. Šema sila koje deluju na klevku (pogled otpozadi)

$$N_6 = \frac{M_{ob,max}}{b} \quad (6)$$

Da bi se odredile sile koje deluju na klevku, a izazvane su njenom vezom sa gornjim lafetom, treba razmatrati jednačinu ravnoteže oscilirajućih delova oruđa (slika 7). Na slici je označeno:



Sl 7. Šema sila koje deluju na oscilirajuće delove oruđa

- N, T** - sile reakcije gornjeg lafeta na kolevku
U - sila reakcije zupčanika elevacione osovine na sektor kolevke
K - sila izravnjača
Q_k - sila težine oscilirajućih delova
α - ugao sprezanja (za evolventni profil je $\alpha = 20^\circ$)

Sve sile, osim reakcija **N**, **T** i **U** su poznate, pa se zadatak svodi na njihovo određivanje.

$$\left. \begin{aligned}
 \sum F_x &= T - R \cos \varphi - U \cos (\gamma - \alpha) + K \cos \beta = 0 \\
 \sum F_y &= N - R \sin \varphi - U \sin (\gamma - \alpha) + K \sin \beta - Q_k = 0 \\
 \sum M_O &= -U \rho \cos \alpha + F_{tr} e + R d + K h - Q_k h_x = 0
 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Ako se uvedu sledeće oznake:

- h₀** - krak sile **Q_k** pri $X = 0$
h_x - krak sile **Q_k** pri $X \neq 0$
 $\Delta M = K h - Q_k h_0$ - moment neuravnoteženja trzajućih delova
Q₀ - sila težine trzajućih delova
X - put trzanja

Pošto je $Q_k h_x = Q_k h_0 - Q_0 X \cos \varphi \rightarrow$

$$K h - Q_k h_x = K h - (Q_k h_0 - Q_0 X \cos \varphi) = \Delta M + Q_0 X \cos \varphi$$

pa se dobija:

$$U = \frac{F_{tr} e + R d + \Delta M + Q_0 X \cos \varphi}{\rho \cos \alpha} \quad (8)$$

$$N = R \sin \varphi + U \sin (\gamma - \alpha) - K \sin \beta + Q_k \quad (9)$$

$$T = R \cos \varphi + U \cos (\gamma - \alpha) - K \cos \beta \quad (10)$$

Jednačine ravnoteže oscilirajućih delova su bile postavljene za slučaj da su delovi gornjeg lafeta i kolevke apsolutno kruti i bez uticaja sila inercije oscilirajućih delova (ove sile smanjuju dejstvo aktivnih sila). Da bi se uzela u obzir elastičnost oscilirajućih delova neki autori predlažu da se u izraz (8) uvede koeficijent $\mu = 0.33 \div 0.25$, pa je:

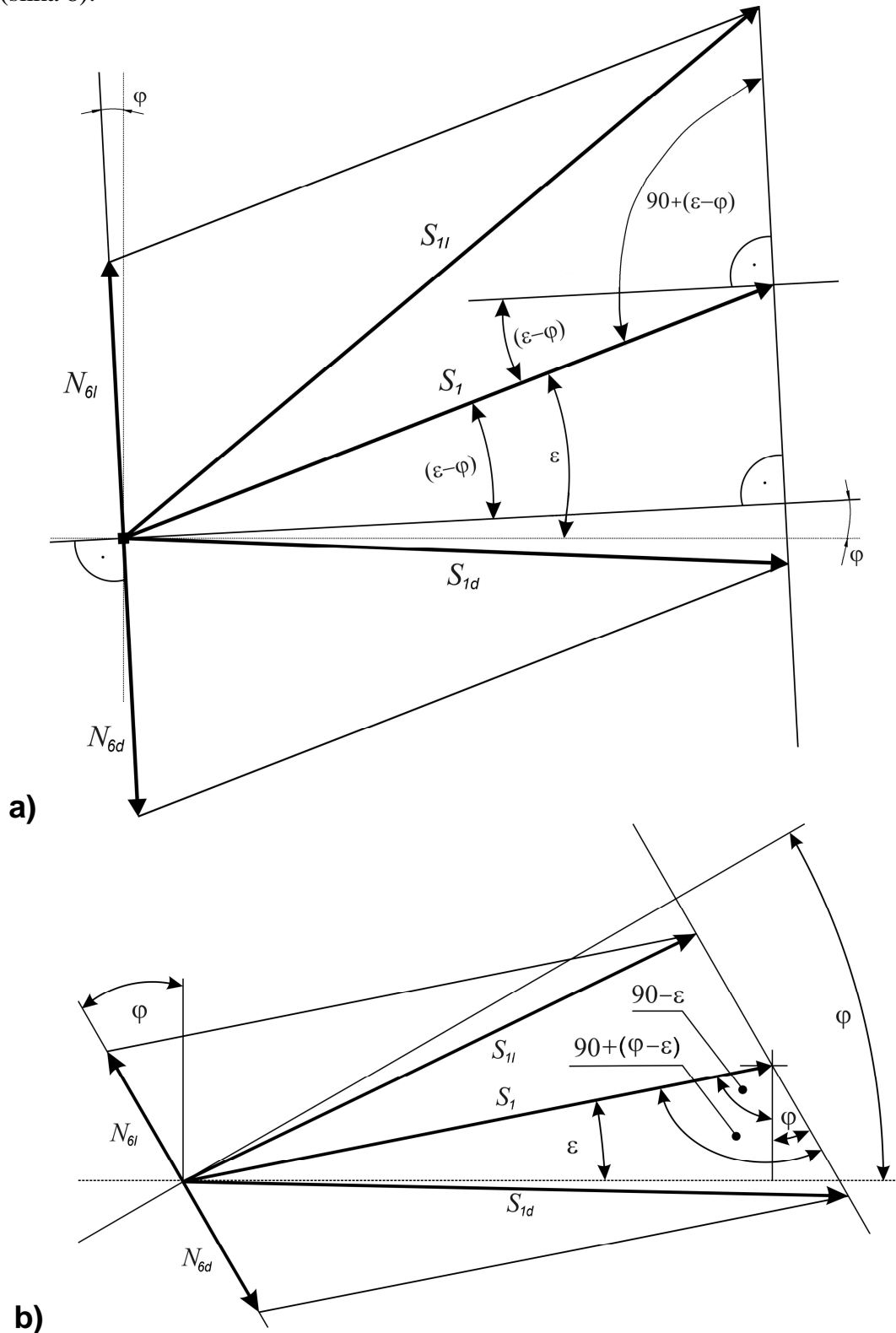
$$U = \frac{\mu F_{tr} e + R d + \Delta M + Q_0 X \cos \varphi}{\rho \cos \alpha} \quad (11)$$

Kada se znaju komponente **N** i **T** koje deluju na ramena kolevke može da se odredi ukupna sila reakcije i pravac njenog dejstva prema izrazima

$$S = \sqrt{N^2 + T^2} \quad (12)$$

$$\varepsilon = \arctg \frac{N}{T} \quad (13)$$

Na jedno rame klevke deluje sila reakcije $S_1 = S/2$. Pored toga, na svako rame (levo i desno), deluje dopunska sila reakcije gornjeg lafeta $N_{6,l} = N_{6,d} = N_6$. Pri tome su moguća dva slučaja (slika 8):



Sl 8. Šema sila koje deluju na levo i desno rame klevke u dva slučaja
a) $\varepsilon > \varphi$ i b) $\varepsilon < \varphi$

- 1°) ako je $\varepsilon > \varphi$ tada je $S_{1,l} > S_{1,d}$
 2°) ako je $\varepsilon < \varphi$ tada je $S_{1,d} > S_{1,l}$

Konačno, kada se stavi da je $S_1 = S/2$, dobija se:

$$1^\circ) \quad \varepsilon > \varphi \quad S_{1,l} = \sqrt{\frac{S^2}{4} + N_6^2 + S N_6 \sin(\varepsilon - \varphi)} \quad (14)$$

$$1^\circ) \quad \varepsilon < \varphi \quad S_{1,d} = \sqrt{\frac{S^2}{4} + N_6^2 + S N_6 \sin(\varphi - \varepsilon)} \quad (15)$$

Ramena kolevke se proračunavaju na savijanje, smicanje i pritisak pri dejstvu maksimalne sile $S_{1,l} (S_{1,d})$. Pri tome se opterećenje stavlja na kraj ramena kolevke.

Dozvoljena naprezanja su:

- na savijanje $\sigma_{s,doz} = 12 \cdot 10^7 \left[\frac{N}{m^2} \right]$ - za ugljenične čelike
 $\sigma_{s,doz} = 20 \cdot 10^7 \left[\frac{N}{m^2} \right]$ - za specijalne legirane čelike
- na pritisak $\sigma_{p,doz} = (2.5 \div 3) \cdot 10^7 \left[\frac{N}{m^2} \right]$
- na smicanje $\tau_{doz} = (4 \div 5) \cdot 10^7 \left[\frac{N}{m^2} \right]$

Pri konstruisanju se usvaja da je dužina ramena kolevke $l \approx 0.75 d$ (d - prečnik ramena).

Pri proračunu kolevke obujmnog tipa treba da se odredi zazor između cevi i vođica. Minimalno dozvoljen zazor (na jednoj strani) može da se odredi prema izrazu:

$$\Delta = r_2 \left(\frac{p_{max}}{E} \cdot \frac{2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} + \alpha t^\circ \right) \quad (16)$$

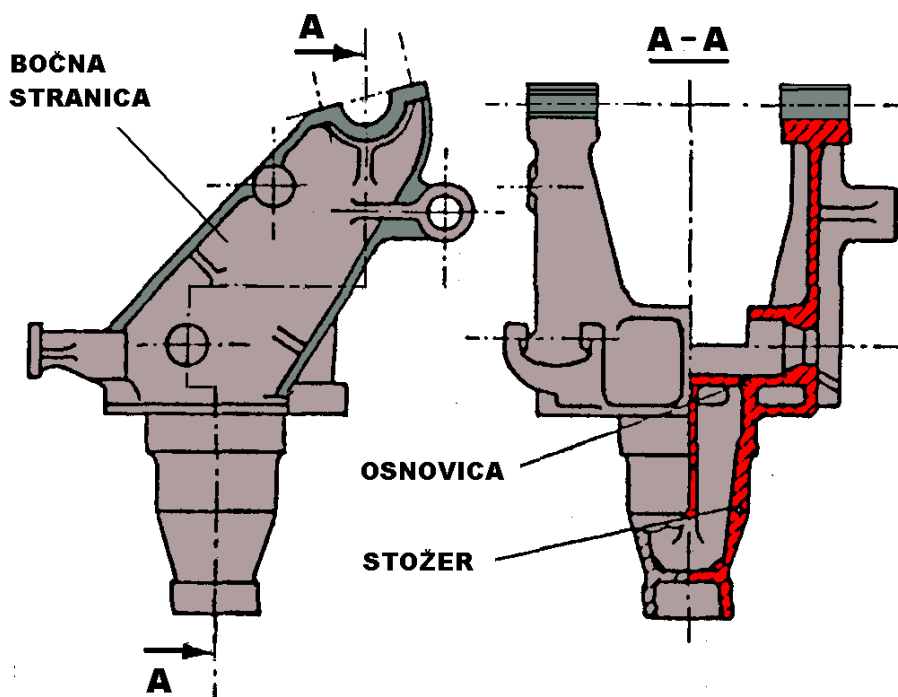
- r_1, r_2 - unutrašnji i spoljašnji poluprečnik cevi na mestu pod vođicama
 p_{max} - maksimalni pritisak barutnih gasova u cevi
 $\alpha = 1.2 \cdot 10^{-5} 1/^\circ$ - koeficijent linearnog širenja topovskog čelika

GORNJI LAFET

U procesu navođenja na cilj cev treba da ima mogućnost okretanja u horizontalnoj ravni oko vertikalne ose. Zato se oscilujuć delovi oruđa ugrađuju na specijalnu obrtnu osovinu. Kod vučnih oruđa zemaljske i protivavionske artiljerije funkciju nosača oscilujućih delova vrši **gornji lafet**, a kod tenkova i nekih samohodnih i brodskih oruđa funkciju nosača vrši **obrotna kupola**.

Gornji lafeti različitih oruđa mogu međusobno znatno da se razlikuju po spoljnom izgledu i načinu formiranja elemenata strukture, obliku ležišta za ramena klevke, načinu veze sa donjim lafetom i razmeštajem mehanizama koje na sebi nose.

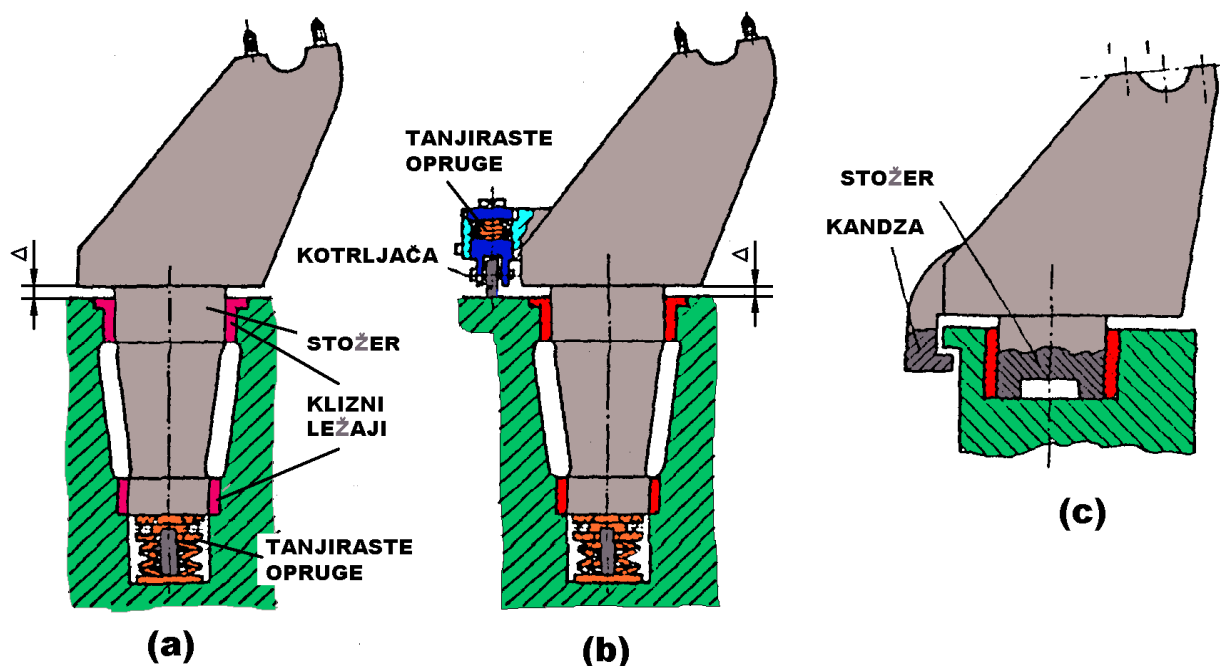
Gornji lafet je najčešće livena ili zavarena konstrukcija složenog oblika (sl. 9). Sastoji se od bočnih stranica koje su međusobno spojene osnovicom na kojoj se nalazi centralni stožer za vezu sa donjim lafetom.



Sl 9. Gornji lafet

Rastojanje između bočnih stranica gornjeg lafeta određuje se na osnovu dimenzija klevke, a visina bočnih stranica treba da obezbedi okretanje oscilujućih delova oko ose ramena klevke u krajnjem ugaonom opsegu dejstva po visini. U gornjem delu bočnih stranica nalaze se ležišta za ramena klevke.

Gornji lafeti se međusobno bitno razlikuju po konstrukcionom rešenju veze sa donjim lafetom. Šematski prikaz tipičnih i u praksi najčešće primenjenih rešenja gornjeg lafeta sa stožerom dat je na slici 10.



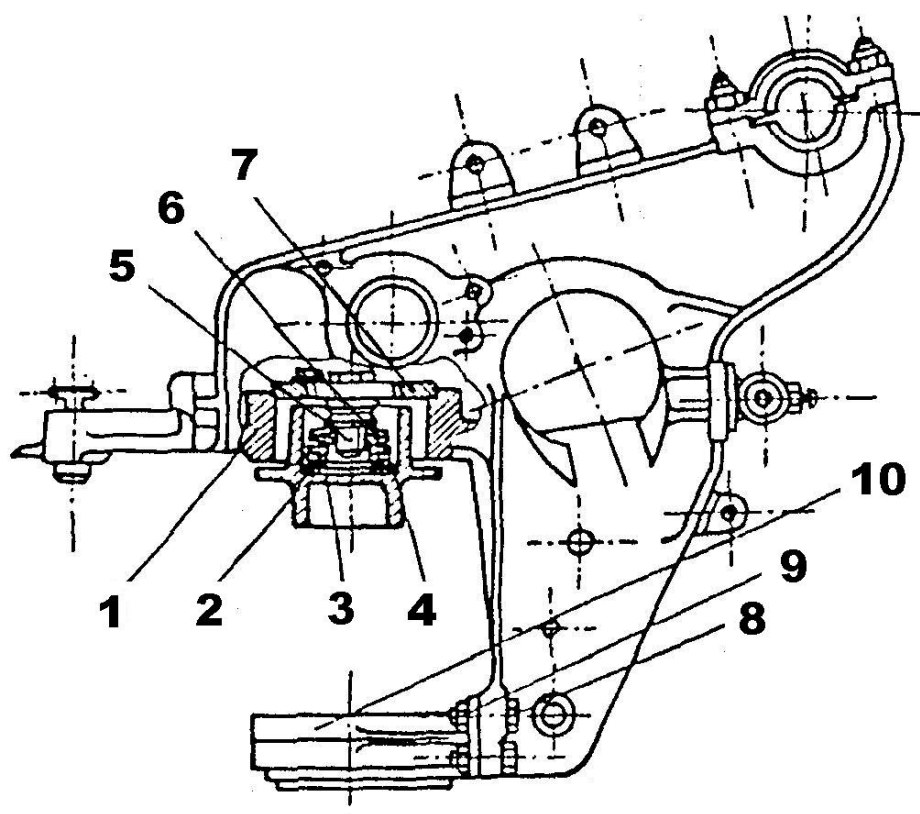
Sl 10. Veze gornjeg i donjeg lafeta (sa stožerom na gornjem lafetu)

Na slici 10.-a prikazano je rešenje gornjeg lafeta sa stožerom koji se centrira u kliznim ležajima na donjem lafetu i koji se oslanja na tanjiraste opruge, tako da se između površina gornjeg i donjeg lafeta formira zazor $\Delta = 0.1 \div 0.4$ mm, čime se obezbeđuje lako pokretanje cevi po pravcu. Pri opaljenju ovaj zazor se potpuno ili delimično poništava, što zavisi od ugla elevacije pod kojim je izvršeno opaljenje. Konstrukcijom mora da se obezbedi mogućnost regulisanja ovog zazora.

Na slici 10.-b prikazano je rešenje slično prethodnom, s tom razlikom što se umesto zazora gornji lafet oslanja na kliznu površinu donjeg lafeta preko nekoliko kotrljača koje su elastično uležištene pomoću tanjirastih opruga. Ovim kotrljačama je obezbeđeno ravnomerno naleganje gornjeg na donji lafet pri opaljenju u periodu trzanja i vraćanja pri svim uglovima elevacije. Na ovaj način stvoreni su uslovi za dobru preciznost gađanja. Ovakvo rešenje se uglavnom primenjuje kod lafeta sa kružnim dejstvom po pravcu.

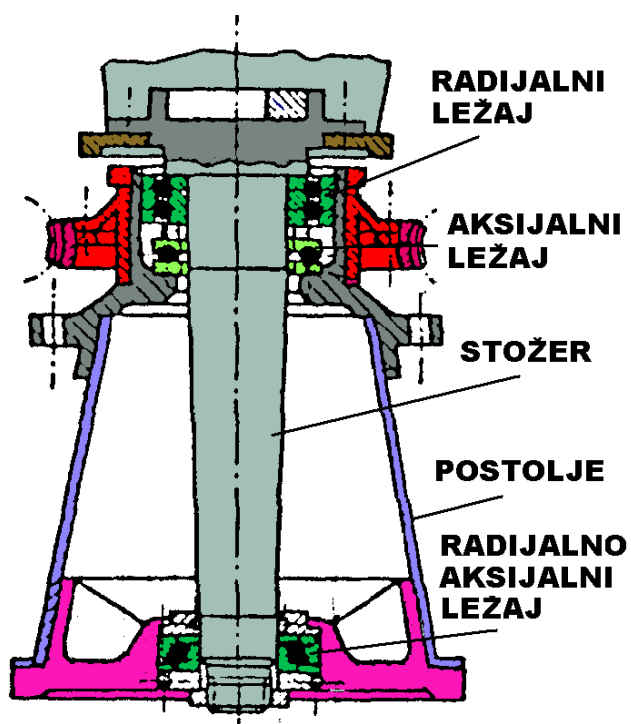
Kada je konstrukcijom uslovljeno rešenje gornjeg lafeta sa kratkim stožerom, neophodno je da se ugradi kandža koja obezbeđuje da se klimanje gornjeg lafeta zadrži u granicama prihvatljivog zazora. Na slici 10.-c prikazano je rešenje kada je kandža, koja ne dozvoljava razmicanje lafeta pri opaljenju, element gornjeg lafeta. Nedostatak ovakvog rešenja je povećani moment trenja između lafeta.

Rede se primenjuje rešenje veze gornjeg sa donjim lafetom kada donji lafet ima na sebi gornji i donji stožer. Takvo rešenje gornjeg lafeta prikazano je na slici 11. U osnovici tela gornjeg lafeta je cevna prirubnica (1), u čiji otvor ulazi gornji stožer donjeg lafeta. Na gornjem stožeru su aksijalni kuglični ležaj (2), čaura (3), tanjiraste opruge (4), potisni vijak (5) i oslonac (6) navrnut u poklopac (7). Na donji kraj tela lafeta je, sa čeine strane pomoću vijka (8) sa navrtkom (9), ugrađeno telo ležaja (10) za vezu gornjeg lafeta sa donjim stožerom donjeg lafeta. Pomoću tanjirastih opruga i drugih elemenata veze podešava se da zazor između gornjeg i donjeg lafeta bude u granicama $0.1 \div 0.3$ mm. Ovakvo rešenje omogućava isključivo sektorsko polje dejstva po pravcu.



Sl 11. Veze gornjeg i donjeg lafeta (sa stožerima na donjem lafetu)

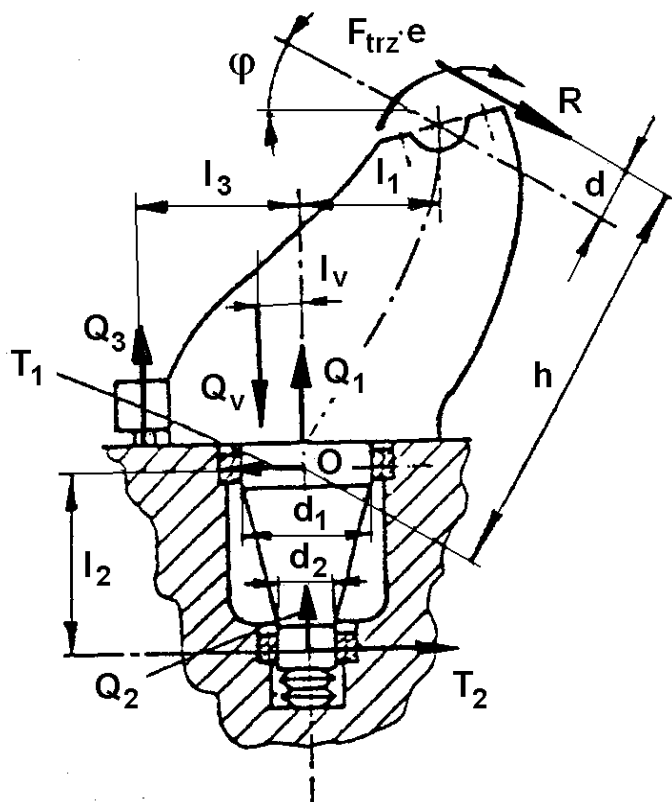
Konstrukciona rešenja prikazana na slikama 10 i 11 primenjena su na vučnim artiljerijskim oruđima. Kod stacionarnih oruđa, uglavnom obalskih i brodskih, primenjuje se veza gornjeg lafeta sa donjim lafetom prikazana na slici 12. Stožer gornjeg lafeta je preko radijalnog, aksijalnog i radijalno - aksijalnog ležaja uležišten u zvonasto postolje.



Sl 12. Veze gornjeg lafeta sa zvonastim postoljem stacionarnog oruđa

PRORAČUN GORNJEG LAFETA

Sile koje deluju na gornji lafet prikazane su na slici 13.



Sl 13. Sile koje deluju na gornji lafet pri opaljenju

- T_1, T_2 - sile reakcije ležaja gornjeg lafeta
- Q_1 - sila reakcije donjeg lafeta
- Q_2 - sila reakcije tanjirastih opruga amortizera
- Q_3 - sila reakcije donjeg lafeta na kotrljače
- Q_v - sila težine delova oruđa pokretnih po pravcu

Iz uslova ravnoteže sile koje deluju na gornji lafet:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_x &= T_2 - T_1 + R \cos \varphi = 0 \\ \sum F_y &= Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_v - R \sin \varphi = 0 \\ \sum M_O &= T_2 l_2 - F_{trz} e - R h + Q_v l_v - Q_3 l_3 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

dobijaju se sile reakcija

$$\left. \begin{aligned} T_2 &= \frac{F_{trz} e + R h + Q_3 l_3 - Q_v l_v}{l_2} \\ T_1 &= T_2 + R \cos \varphi \\ Q_1 &= R \sin \varphi + Q_v - Q_2 - Q_3 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Veličine sila reakcija Q_2 i Q_3 određuju se prema izrazu:

$$\left. \begin{aligned} Q_2 &= C_2 \Delta_2 \\ Q_3 &= C_3 \Delta_3 \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

gde su

C_2, C_3 - krutosti tanjirastih opruga amortizera i elastičnih kotrljača
 Δ_2, Δ_3 - odgovarajući ugibi sa uračunatim zazorom između gornjeg i donjeg lafeta

Najveća veličina sile $Q_{1,max}$ je pri najvećoj elevaciji φ_{max} . Sa tom silom se vrši proračun na pritisak gornjeg i donjeg lafeta, pri čemu je površina gnječenja jednaka kontaktnoj površini.

U preliminarnim proračunima stožera i ležaja se usvaja da su najveće vrednosti sila T_1 i T_2 pri uglu elevacije $\varphi = 0$. Pri konačnim proračunima najveće veličine reakcija se dobijaju računanjem za niz uglova elevacije pri putevima trzanja $X = X_m, X = X_r$ i $X = \lambda$.

Iz izraza za T_1 i T_2 se uočava da je u cilju smanjenja sila reakcija neophodno smanjiti krak h (smanjenjem dimenzija gornjeg lafeta), povećati dužinu stožera, pomeriti položaj središta masa delova pokretnih po pravcu napred prema oslonoj kotrljači. Pri tome treba imati u vidu da nije poželjna promena smera sile T_2 pri povećanju elevacije i u toku trzanja; promena smera sile reakcije T_2 izazvala bi klaćenje lafeta a to nepovoljno utiče na tačnost gađanja i na vek trajanja lafeta. Da sila T_2 ne bi menjala smer neophodno je da pre opaljenja pri $\varphi = 0$ bude $T_2 > 0$, pa iz izraza (18) sledi

$$T_2 = \frac{Q_3 l_3 - Q_v l_v}{l_2} > 0$$

odnosno

$$Q_3 > Q_v \frac{l_v}{l_3} \quad (20)$$

Nejednakost (20) izražava uslov stabilnosti gornjeg lafeta. Veličina l_v je promenljiva; u periodu trzanja smanjuje se zavisno od pomeranja središta masa u smeru trzanja, a smanjuje se i sa povećanjem ugla elevacije. Ako je uslov (20) ispunjen pri $\varphi = 0$, on će biti ispunjen pri $\varphi \neq 0$ i pri opaljenju metka. Ipak ne treba preko mere povećavati silu Q_3 , jer bi to povećalo opterećenje na mehanizmu za pokretanje po pravcu.

Proračun otpornosti bočnih stranica lafeta vrši se sa najvećom silom $S_{1,l}$ ili $S_{1,d}$ u više preseka normalno na neutralnu osu.

Konzolni podupirač izravnjača se proverava na savijanje i smicanje pod dejstvom sile $K_1 = K_{max}/2$, gde je K_{max} najveća sila izravnjača koji ima dva cilindra.

Stožer se proverava na savijanje, smicanje i pritisak.

IZRAVNJAČI

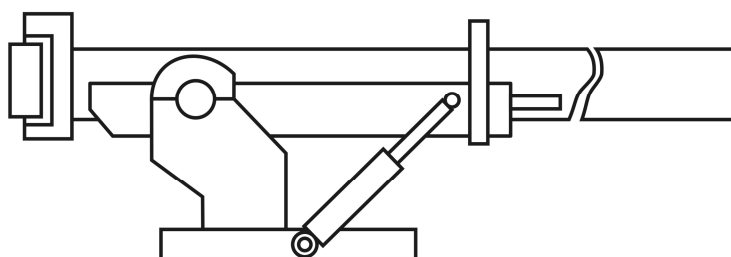
Izravnjaci se primenjuju sa ciljem da se mehanizam za pokretanje cevi oruđa po visini rastereti od dejstva momenta sile težine oscilirajućih delova oruđa. Ovaj moment se javlja zbog toga što se osa ramena kolevke ne poklapa sa položajem ose sredista mase oscilirajućih delova. Kod vučnih oruđa rastojanje ovih osa je sve veće ukoliko se iz taktičkih razloga zahteva da oruđe ima što nižu visinu vatrene linije.

Kod topova kupolne ugradnje (brodski i tenkovski topovi) primenjuje se često postupak statičkog uravnoteženja, tako što se povećava masa zadnjaka. Prema zahtevima otpornosti masa zadnjaka obično iznosi $17 \div 22$ % mase cevi, a zbog navedenog postupka statičkog uravnoteženja masa zadnjaka tenkovskog topa se povećava čak do 35 % mase cevi.

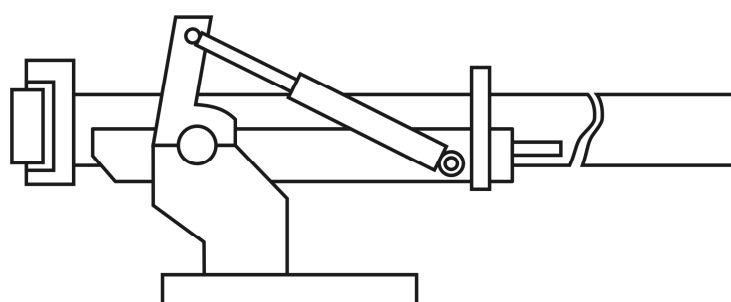
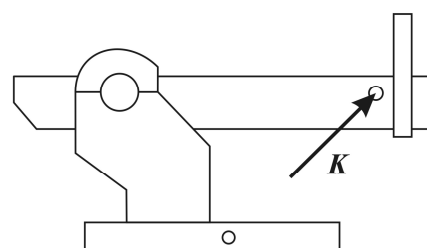
Izravnjač je uređaj sa ugrađenim elastičnim elementom, koji može da bude sabijena opruga (jedna ili više) ili sabijeni gas (azot ili vazduh) ili sabijeni gas sa oprugom (jednom ili dve) koja deluje na kraćem ili dužem putu rada izravnjača. Izravnjači, najčešće dva a izuzetno jedan, ugrađuju se između kolevke i lafeta.

Zavisno od smera dejstva sile u izravnjaču na oscilirajuće delove oruđa razlikuju se dva tipa izravnjaca:

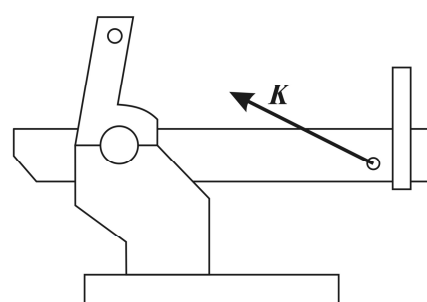
- **gurajući**
- **vukući.**



Sl. 14. Izravnjač gurajućeg tipa

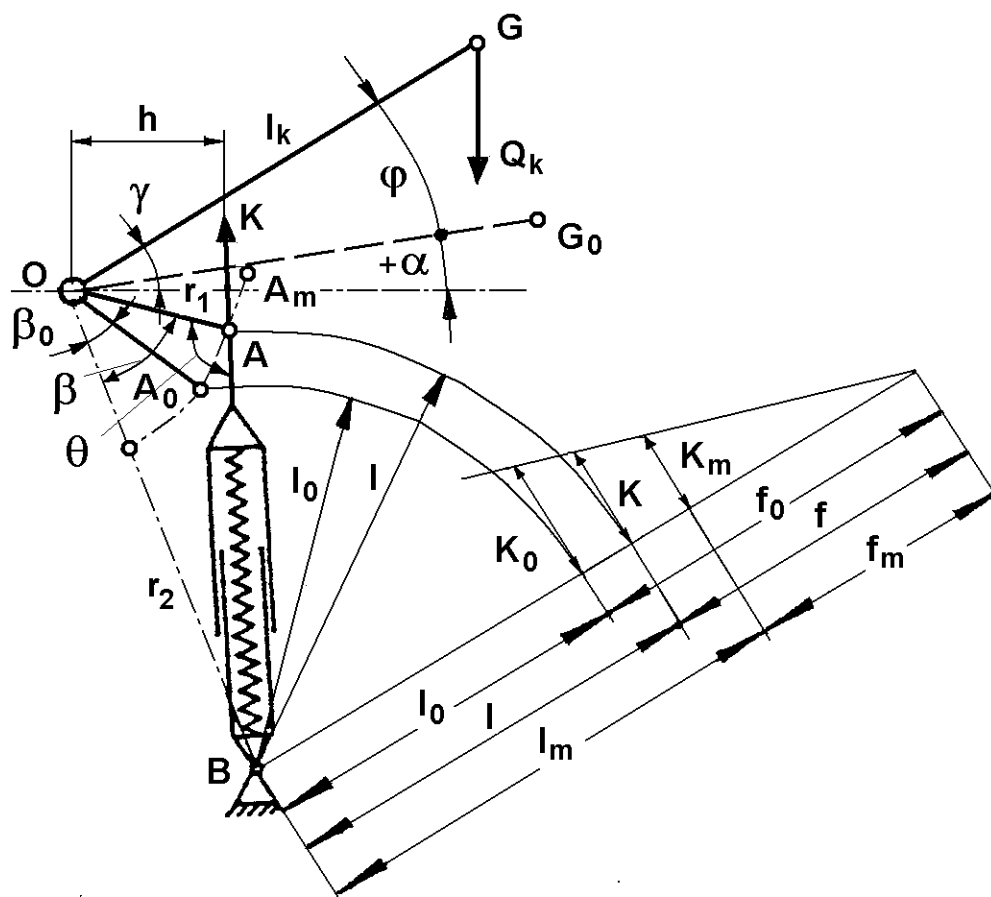


Sl. 15. Izravnjač vukućeg tipa



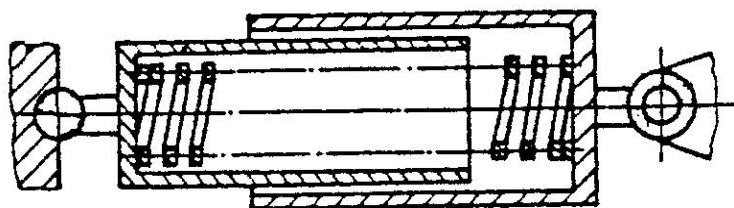
Izravnjači gurajućeg tipa

Na sl. 16 je šematski prikazan rad izravnjača gurajućeg tipa. Pri zaokretanju oscilirajućih delova centar **A** šarnirne veze izravnjača se sa kolevkom premešta po luku poluprecnika r_1 sa centrom u tački **O** kroz koju prolazi osa ramena kolevke. Druga šarnirna veza izravnjača **B** je na gornjem lafetu. Sila **K** izravnjača sa krakom **h** u odnosu na rame kolevke stvara moment uravnoteženja suprotnog smera od dejstva momenta težine oscilirajućih delova. Veličina kraka **h** se menja pri promeni elevacije cevi oruđa.



Sl. 16. Šema dejstva izravnjača gurajućeg tipa

Opružni izravnjač gurajućeg tipa je prikazan na slici 17. Zavisno od konstrukcije unutrašnji cilindar može da bude vezan za kolevku a spoljni za gornji lafet. Najčešće, opruga je podeljena na nekoliko sekcija; to pojednostavljuje izradu opruga i omogućava njeno pravilno uzdužno vođenje uz smanjeno trenje. U nekim izravnjačima se primenjuju opruge izrađene od žice pravougaonog preseka.



Sl. 17. Opružni izravnjač gurajućeg tipa

Izravnjač gurajućeg tipa, koji deluje na deo kolevke ispred ramena kolevke, ne obezbeđuje potpuno uravnoteženje pri svim uglovima elevacije. Da bi se postiglo što bolje uravnoteženje potrebno je da izravnjač bude tako ugrađen na oruđe da se njegov nepokretni šarnir nalazi na produžetku linije koja spaja tacke A_0 i A_m , koje odgovaraju položajima pokretnog šarnira pri elevaciji 0° i najvećoj elevaciji. Kada je ovaj uslov ispunjen dobija se potpuno uravnoteženje pri graničnim elevacijama i još pri jednoj međuelevaciji.

Pneumatski izravnjač gurajućeg tipa je prikazan na slici 18. Da bi se smanjile dimenzije izravnjača i šupljina klipa se koristi za smeštaj gasa. Zapremina i pritisak gasa pri najmanjem i najvećem uglu elevacije određuju se proračunom iz uslova potpunog uravnoteženja oscilirajućih delova oruđa (ili pri željenim uglovima elevacije). Da bi se postiglo što bolje uravnoteženje, položaj za ugradnju izravnjača na oruđe (ugao β sa sl. 16) se bira tako da se potpuno

uravnoteženje postigne na graničnim elevacijama i jednoj međuelevaciji. Taj uslov je ispunjen, ako je:

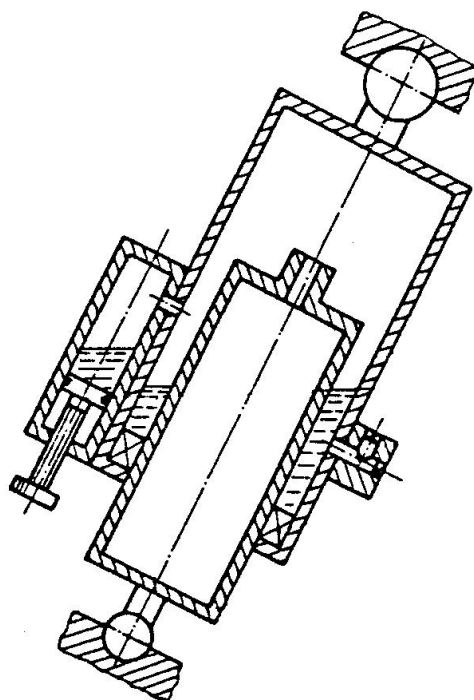
$$\theta \approx \frac{\pi}{2} + \frac{2}{3} \varphi_{\max} \quad \text{pri} \quad \frac{l_0}{r_1} \leq 2$$

odnosno

$$\theta \approx \frac{\pi}{2} + \frac{5}{6} \varphi_{\max} \quad \text{pri} \quad \frac{l_0}{r_1} > 2$$

gde su:

- l_0 - rastojanje između šarnirnih oslonaca izravnjača pri $\varphi = 0$
- r_1 - poluprečnik luka po kome se kreće pokretni šarnir izravnjača (A)

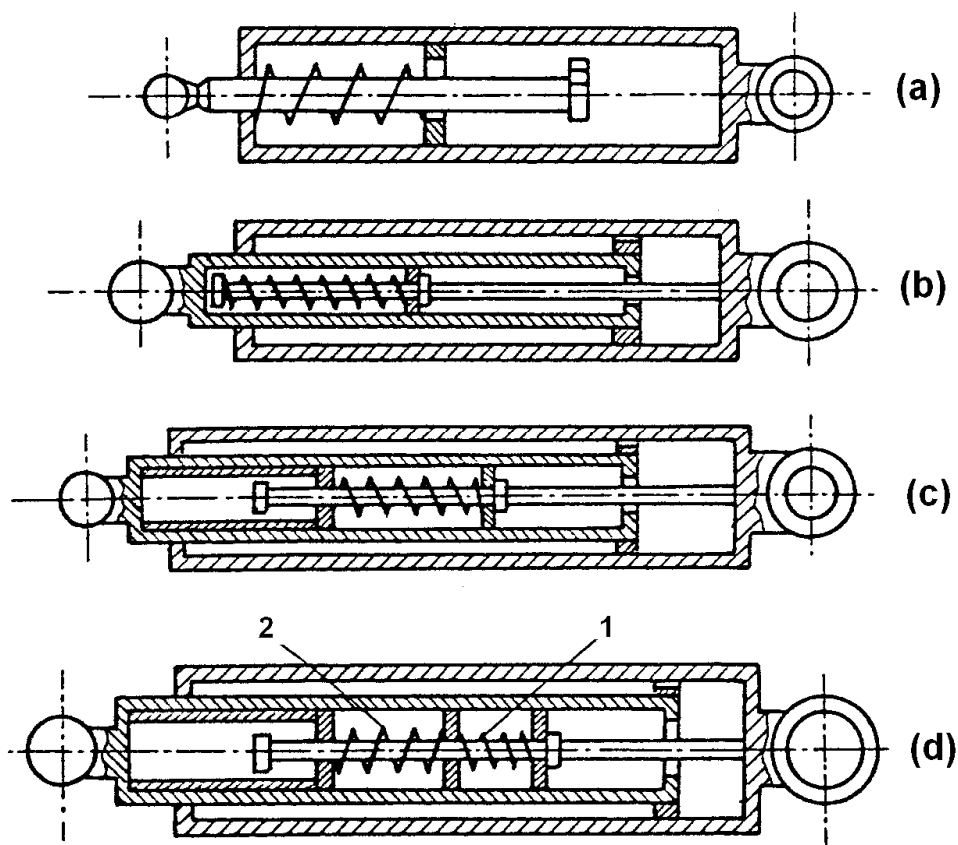


Sl. 18. Pneumatski izravnjač gurajućeg tipa

Pneumatski izravnjači su lakši i kompaktniji od opruznih, ali zato imaju sledeće nedostatke:

- Pritisak gasa zavisi od temperature okoline, pa to negativno utiče na tačnost uravnoteženja; zato je neophodan mehanizam (temperaturni regulator) kojim se podesava pritisak u izravnjaču.
- U zaptivnom sistemu izravnjača javljaju se značajna trenja koja ne mogu da se uravnoteže pri pokretanju oscilirajućih delova u suprotnim smerovima.
- Manje su pouzdani u eksploataciji.

Pomoću pneumatskih izravnjača može da se ostvari visoka tačnost uravnoteženja u relativno malom rasponu elevacionih uglova, ali je tada u preostalom intervalu neuravnoteženost veća. Zato se, po potrebi, u izravnjace ugrađuje jedna ili dve opruge. U najvećem broju slučajeva zadovoljavajući rezultat se postiže ugradnjom jedne kontraopruge, koja se sabija samo pri velikim elevacionim uglovima. Kontraopruga se smešta u cilindar (sl. 19-a) ili u šupljinu klipnjače (sl. 19-b).



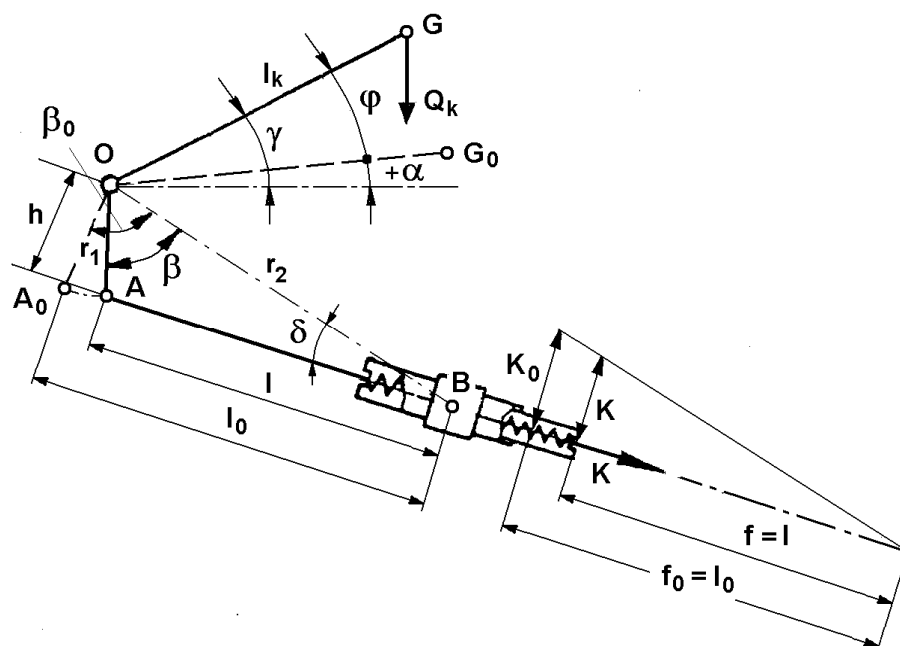
Sl 19. Pneumatsko opružni izravnjač

Odgovarajućim konstrukcionim rešenjem može da se obezbedi rad jedne iste opruge u početnom i krajnjem rasponu elevacionih uglova (sl. 19-c). Pri malim uglovima elevacije se pomoću opruge povećava sila pritiska gasa, a zatim, pri vecim elevacijama oprugom se smanjuje sila pritiska gasa. Radi bolje korekcije dijagrama promene sile u pneumatski izravnjač mogu da se stave dve opruge (sl. 19-d). Pri malim uglovima elevacije dejstvuje opruga male krutosti (2), dok opruga veće krutosti (1) skoro ne radi. U srednjem intervalu uglova elevacije opruge ne rade, a zatim delimicno kompenziraju dejstvo sabijenog gasa.

Izravnjačima gurajućeg tipa ne može potpuno da se uravnoteži moment sile težine oscilirajućih delova oruđa pri svim elevacionim uglovima. Taj nedostatak se utoliko jače ispoljava što je raspon uglova elevacije veći i što su veći momenti sile težine oscilirajućih delova. Pored toga postoje i konstrukciona ograničenja koja remete povoljnu ugradnju izravnjača na oruđe.

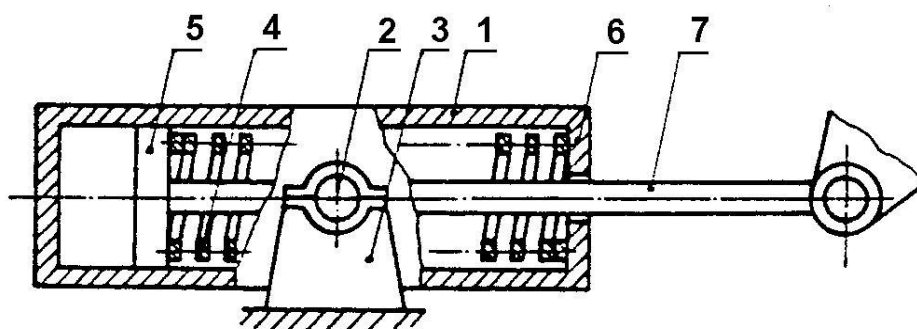
Izravnjači vukućeg tipa

Šema dejstva izravnjača vukućeg tipa, sa oscilirajucim cilindrom, prikazana je na slici 20. Sila opruge izravnjača K na rastojanju h u odnosu na osu ramena kolevke stvara moment koji može potpuno da uravnoteži moment sile težine oscilirajućih delova oruđa pri svim elevacijama, ukoliko su ispunjeni određeni uslovi.



Sl. 20. Šema dejstva izravnjača vukućeg tipa

Izravnjači ovog tipa su, zbog navedene pogodnosti potpunog uravnoteženja, uglavnom opružni. Na slici 21 je prikazan opružni izravnjač vukućeg tipa sa oscilirajućim cilindrom. Rame (2) cilindra (1) izravnjača je šarnirno vezano sa nosačem (3) gornjeg lafeta. Sabijena opruga (4) se jednim krajem oslanja na klip (5) klipnjače, a drugim krajem na dno cilindra na kome je otvor za izlaz klipnjače (7), čiji je kraj šarnirno vezan za kolevku.

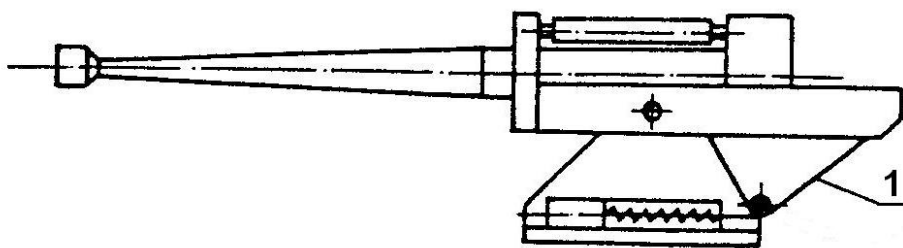


Slika 21. Opružni izravnjač vukućeg tipa sa oscilirajućim cilindrom

Nedostaci izravnjača ovog tipa su:

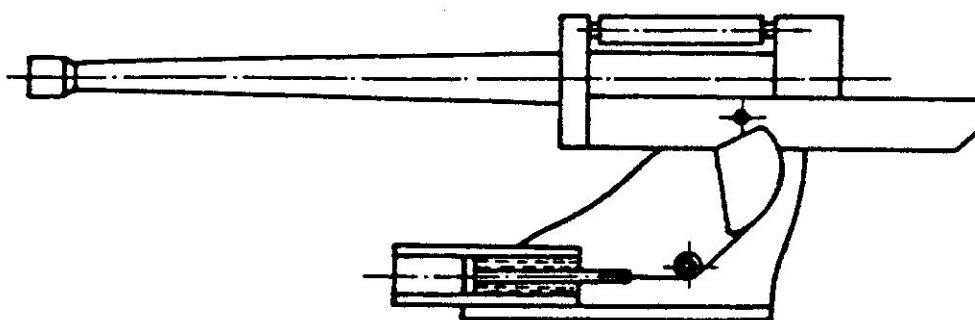
- Pri projektovanju oruđa treba obezbediti slobodan prostor za zakretanje oscilirajućeg cilindra.
- Moment sile težine samog izravnjača u odnosu na osu ramena kolevke negativno utiče na tačnost uravnoteženja oscilirajućih delova oruđa.

Opružni izravnjači velikih dimenzija i masa mogu da se izvedu sa cilindrom koji je nepokretno vezan za gornji lafet (slika 22). Sila opruge se prenosi na oscilirajuće delove oruđa pomoću lanca ili sajle (1).



Sl. 22. Opružni izravnjač vukućeg tipa sa nepokretnim cilindrom

Korišćenje pneumatskih izravnjača vukućeg tipa pogodno je zbog manjih dimenzija i mase cilindra, ali je sa njim otežano uravnoteženje oscilirajućih delova uz prihvatljivu tačnost. Dobro uravnoteženje može da se postigne ugradnjom bregaste ploče, preko koje se ostvaruje veza sajle sa kolevkom (slika 23). Profil bregaste ploče može tako da se odabere da pri zakretanju oscilirajućih delova oruđa sila izravnjača i krak njenog dejstva se menjaju zavisno od promene momenta sile težine oscilirajućih delova.



Sl. 23. Pneumatski izravnjač vukućeg tipa sa bregastom pločom

Pri konstrukciji opružnih i pneumatskih izravnjača treba obavezno da se predvidi mogućnost njihovog podešavanja u toku eksploatacije. To je potrebno bilo zbog grešaka u izradi opruga i njihovog "starenja" tokom vremena, bilo zbog promene zapremine ili pritiska gasa. Podešavanje sile opruge se vrši njenim pritezanjem, a sile pritiska promenom zapremine gasa pomoću klipa (5) u dopunskom cilindru (vidi sliku 18).

Proračun izravnjača

Da bi se uz prihvatljivu visinu vatrene linije (a pri projektovanju zbog povećanja stabilnosti oruđa i taktičkog zahteva da silueta oruđa bude što manja teži se da ona bude što niža) obezbedilo gađanje pri velikim elevacionim uglovima, sa potrebnim prostorom iza zadnjaka za trzanje cevi oruđa, osa ramena kolevke se kod vučnih oruđa pomera ka zadnjaku, pa se zbog toga javlja moment sile težine oscilirajućih delova u odnosu na osu ramena kolevke (slika 24).

$$M_k = Q_k l_k \cos \gamma \quad (21)$$

gde su:

- Q_k - sila težine oscilirajućih delova oruđa
- l_k - rastojanje od ose ramena kolevke do središta masa oscilirajućih delova oruđa
- γ - ugao između horizonta i prave na kojoj je središte mase oscilirajućih delova

Sa slike 24 se vidi da je

$$\gamma = \varphi \pm \alpha \quad (22)$$

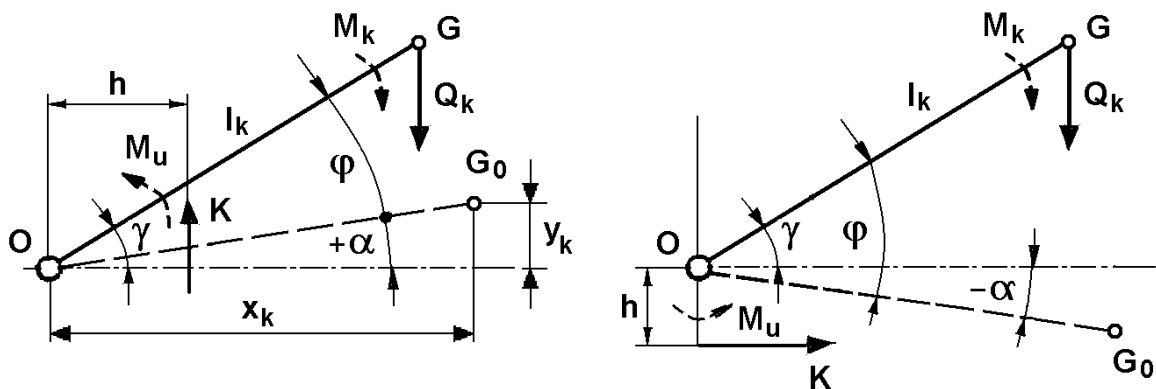
gde je:

φ - ugao elevacije

α - ugao između horizonta i prave na kojoj je središte mase oscilirajućih delova pri $\varphi=0$

Obično se položaj središta mase G_0 zadaje koordinatama

$$\left. \begin{aligned} l_k &= \sqrt{x_k^2 + y_k^2} \\ \alpha &= \arctg \frac{y_k}{x_k} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$



Sl. 24. Šema za određivanje momenta M_k , M_u i ugla γ

Izravnjač treba da je tako ugrađen da sila u izravnjaču stvara moment uravnoteženja M_u

$$M_u = K h \quad (24)$$

suprotnog smera od momenta M_k .

a) Proračun opružnih izravnjača

Razmotrimo slučaj opružnog izravnjača vukućeg tipa, čija je šema dejstva data na slici 20. Pokazaće se da je moguće obezbediti potpuno uravnoteženje oscilirajućih delova oruđa pri bilo kom uglu elevacije φ , odnosno treba dokazati da je

$$K h = Q_k l_k \cos \gamma \quad (25)$$

Krak h treba da se izrazi konstrukcionim veličinama izravnjača. Iz trougla OAB na slici 20 sledi:

$$h = r_2 \sin \delta \quad \text{i} \quad \sin \delta = \frac{r_1}{l} \sin \beta$$

pa je

$$h = \frac{r_1 r_2}{l} \sin \beta \quad (26)$$

gde je

$$l = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2 r_1 r_2 \cos \beta} \quad (27)$$

Sila opruge K je promenljiva i zavisi od krutosti C i ugiba f

$$K = C f \quad (28)$$

Izraz (25) može se, tako, napisati u obliku

$$C \frac{f}{l} r_1 r_2 \sin \beta = Q_k l_k \cos \gamma \quad (29)$$

Analizom ovog izraza može se zaključiti da je moguće potpuno uravnoteženje oscilirajućih delova ako su ispunjeni sledeći uslovi:

$$\left. \begin{array}{l} (1) \quad C r_1 r_2 = Q_k l_k \\ (2) \quad \frac{f}{l} = 1 \\ (3) \quad \sin \beta = \cos \gamma \end{array} \right\} \quad (30)$$

Iz prvog uslova sledi da krutost opruge treba da bude

$$C = \frac{Q_k l_k}{r_1 r_2} \quad (31)$$

Drugi uslov traži da ugib opruge bude jednak rastojanju između tacaka A i B:

$$f = l \quad (32)$$

a to može da se realizuje.

Da bi bio ispunjen treći uslov neophodna je jednakost uglova

$$\beta = 90^\circ - \gamma = 90^\circ - (\varphi \pm \alpha) \quad (33)$$

U početnom položaju izravnjača, pri $\varphi=0$, biće

1°) kada je G_0 iznad horizonta ($\alpha > 0$):

$$\gamma_o = \alpha \quad \beta_o = 90 - \alpha \quad (34)$$

2°) kada je G_0 ispod horizonta ($\alpha < 0$):

$$\gamma_o = -\alpha \quad \beta_o = 90 + \alpha \quad (35)$$

Sa slike 20 se vidi da i ovaj treći uslov može da bude ispunjen.

Uravnoteženje ne zavisi od položaja izravnjača u odnosu na osu ramena kolevke. Međutim, pri projektovanju izravnjača neophodno je da se poštuje sledeći redosled u izboru i proračunu uticajnih parametara:

- 1) Utvrditi znak i veličinu ugla α , a iz izraza (34) ili (35) odrediti ugao β_0
- 2) Konstrukcijom odrediti velicine r_1 i r_2
- 3) Odrediti ugib opruge pri $\varphi=0$:

$$f_0 = l_0 = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2 r_1 r_2 \cos \beta_0} = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 \mp 2 r_1 r_2 \sin \alpha} \quad (36)$$

pri čemu se znak “-“ uzima kada je $\alpha > 0$, a “+” kada je $\alpha < 0$

4) Odrediti krutost opruge prema formuli (31)

5) Odrediti silu opruge pri $\varphi=0$

$$K_0 = C f_0 \quad (37)$$

6) Odrediti krak h_0

$$h_0 = \frac{r_1 r_2}{l_0} \sin \beta_0 \quad (38)$$

7) Proveriti da li je moment uravnoteženja jednak momentu sile težine oscilirajućih delova oruđa

$$K_0 h_0 = Q_k l_k \cos \gamma_0 \quad (39)$$

Ukoliko se, radi simetričnog dejstva na kolevku, predviđa ugradnja dva izravnjača, krutost opruge je

$$C_1 = \frac{C}{2}$$

a shodno tome sila opruge jednog izravnjača je

$$K_1 = \frac{K}{2}$$

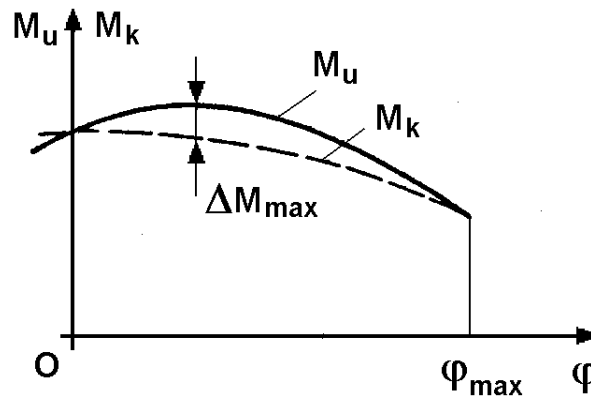
Praktično je teško da se obezbedi potpuno uravnoteženje zbog tolerancija izrade delova izravnjača i krutosti opruge. Osim toga, pri proračunu nisu uzeta u obzir trenja i promene krutosti opruga u toku eksploatacije. Na uravnoteženje utiče i to da li je metak u cevi ili ne. Stoga se pri uravnoteženju teži da preteže zadnji deo cevi. U tom slučaju sile koje deluju na delove izravnjača imaju isti znak kako pri porastu elevacionih uglova tako i pri trzanju, što povoljno utiče na tačnost gađanja.

Razmotrimo da li opružni izravnjač gurajućeg tipa, čija je šema dejstva data na slici 16, može da obezbedi potpuno uravnoteženje oscilirajućih delova pri svim elevacijama. Očigledno je da drugi uslov u izrazu (30) ne može da bude izpunjen, jer se pri povećanju elevacije povećava dužina izravnjača, a smanjuje ugib opruge ($l \neq f$, $l \nearrow$, $f \searrow$), pa ne može da se obezbedi potpuno uravnoteženje pri svim elevacijama.

Kako je to već rečeno, primenom izravnjača gurajućeg tipa može da se obezbedi jednakost momenata M_k i M_u u dve ili tri tačke na celom rasponu elevacionih uglova. U svim drugim tačkama postoji moment neuravnoteženja prema izrazu

$$\Delta M = M_u - M_k = K h - Q_k l_k \cos \gamma \quad (40)$$

Proračun uravnoteženja u dve tačke (slika 25) treba da se vrši po sledećem redosledu:



Sl. 25. Dijagram momenata M_u i M_k pri uravnoteženju u dve tačke

- 1) Utvrditi znak i veličinu ugla α i grafički β_0 i β_m , a takođe i $\gamma_0 = \pm \alpha$ i $\gamma_m = \varphi_{\max} \pm \alpha$.
- 2) Utvrditi pri kojim uglovima elevacije se želi potpuno uravnoteženje; neka to bude pri $\varphi = 0$ i $\varphi = \varphi_{\max}$
- 3) Konstrukcijom odrediti veličine r_1 i r_2
- 4) Po formulama (26) i (27) ili grafički odrediti h_0 , h_m , l_0 i l_m
- 5) Odrediti potrebnu silu opruge pri $\varphi = 0$ i pri $\varphi = \varphi_{\max}$

$$K_0 = \frac{Q_k l_k \cos \gamma_0}{n h_0} \quad \text{i} \quad K_m = \frac{Q_k l_k \cos \gamma_m}{n h_m}$$

gde je n - broj izravnjača na oruđu

- 6) Odrediti krutost opruge

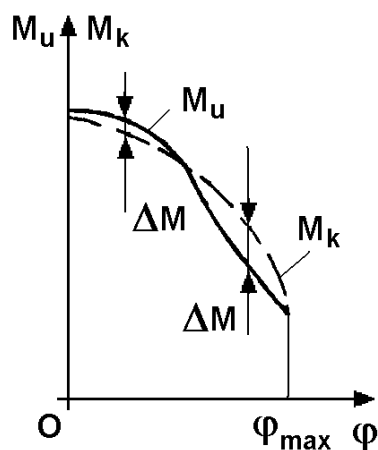
$$C = \frac{K_0 - K_m}{l_m - l_0}$$

- 7) Nacrtati dijagram $M_u(\varphi)$ i $M_k(\varphi)$ za $\Delta\varphi = 5 \div 10^\circ$ i odrediti moment neuravnoteženosti $\Delta M = f(\varphi)$, na osnovu koga će se odrediti sila na ručici točka mehanizma za pokretanje po visini. Ako sila na ručici prelazi dopuštenu vrednost, neophodno je da se variranjem konstrukcionih veličina i promenom položaja izravnjača ponovo proračuna uravnoteženje.

Uravnoteženje u dve tačke dopušta da se dobije, u osnovnom rasponu elevacionih uglova, moment neuravnoteženja istog znaka uz stalno pretezanje zadnjeg dela cevi ($M_u > M_k$)

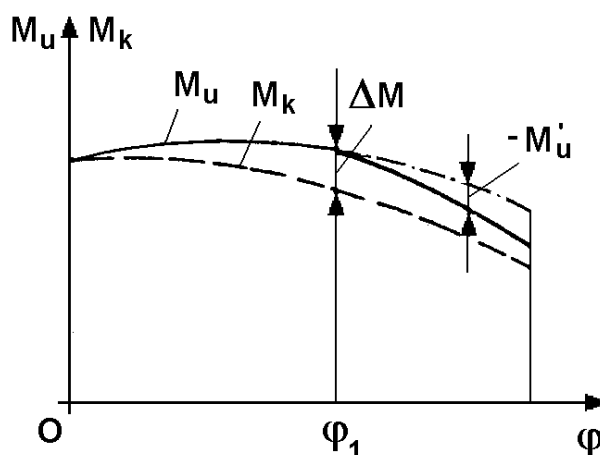
Pri uravnoteženju u tri tačke (slika 26) moment neuravnoteženja ΔM sa promenom ugla elevacije menja svoj znak, a to je značajan nedostatak takvog uravnoteženja, jer ne može da se obezbedi stalno pretezanje zadnjeg dela cevi. Pri ovakvom uravnoteženju se ipak dobija relativno mala vrednost ΔM i mala sila na ručici točka mehanizma za pokretanje po visini.

Proračun uravnoteženja u tri tačke se vrši po istom redosledu kao i u dve tačke, a u svojstvu nepoznate veličine ostaje ugao β_0 , u odnosu na koga se formiraju sve jednačine.



Sl. 26. Dijagram momenta M_u i M_k pri uravnoteženju u tri tačke

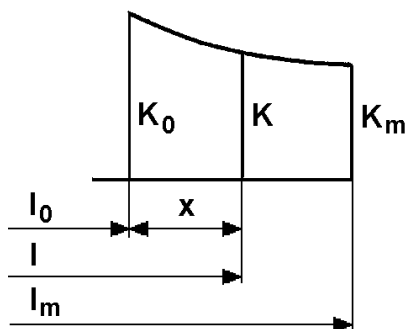
Uravnoteženje sa pretezanjem zadnjeg dela cevi ($M_u > M_k$) može da se ostvari ugradnjom dopunskih opruga (slika 27). Pri povećanju ugla elevacije raste moment neuravnoteženja, koji počev od ugla φ_1 prelazi dopuštenu vrednost. Od te tačke stupaju u rad dopunske opruge sa negativnim momentom M'_u koji smanjuje pretezanje zadnjeg dela cevi.



Sl. 27. Dijagram momenta M_u i M_k pri primeni dopunskih opruga

b) Proračun pneumatskih izravnjača

Razmotrimo pneumatski izravnjač čije dejstvo odgovara šemi na slici 16. Sila K se ostvaruje pritiskom gasa u cilindru izravnjača i menja se prema dijagramu na slici 28.



Sl. 28. Dijagram promene sile u pneumatskom izravnjaču

Promena pritiska gasa u cilindru se vrši po zakonu politrope

$$pW^n = p_0W_0^n = p_mW_m^n = \text{const.} \quad (41)$$

gde su:

p, W	- tekuće vrednosti pritiska i zapremine,
p_0, W_0	- vrednosti pritiska i zapremine pri $\varphi = 0$
p_m, W_m	- vrednosti pritiska i zapremine pri $\varphi = \varphi_{\max}$
$n = 1,05 \div 1,10$	- eksponent politrope

Iz jednakosti (41) se dobija

$$p = p_0 \left(\frac{W_0}{W} \right)^n \quad (42)$$

Tekuća vrednost zapremine gasa (slika 28) je

$$W = W_0 + A_i \cdot x \quad (43)$$

gde je A_i - radna površina cilindra izravnjaca.

Smenom u jednačinu (42) dobija se

$$p = p_0 \left(\frac{W_0}{W_0 + A_i x} \right)^n = p_0 \left(\frac{S_0}{S_0 + x} \right)^n \quad (44)$$

gde je $S_0 = \frac{W_0}{A_i}$ - uslovna dužina početne zapremine

pa se sila izravnjača K menja po zakonu

$$K = p A_i = K_0 \left(\frac{S_0}{S_0 + x} \right)^n \quad (45)$$

Imajući u vidu da se u zaptivnom sistemu izravnjača javlja sila trenja T , stvarna sila izravnjača kojom on deluje na oscilirajuće delove oruđa je:

- kada se podiže cev oruđa (raste ugao elevacije)

$$K_s = K - T \quad (46)$$

- kada se spušta cev oruđa (opada ugao elevacije)

$$K_s = K + T \quad (47)$$

Pritisak u pneumatskom izravnjaču pri najvećoj elevaciji je obično u granicama od 30 do 60 bara. Ukoliko je velika masa oscilirajućih delova oruđa, a položaj izravnjača na malom kraku od ose ramena kolevke, umesto jednog ugrađuju se dva izravnjača sa simetričnim dejstvom na kolevku.