

PROBLEM URAVNOTEŽAVANJA CENTRIFUGALNIH
SILA BRZOHODNIH EKSCENTARSKIH PRESA
PROMJENLJIVOG HODA

Edhem M. Šehović, dipl.ing.maš., glavni
 projektant u Istraživačko-razvojnem ce-
 ntru preduzeća „Jelšingrad“ - Banja Luka

1. Uvod

Jedan od najvećih problema u brzohodnih strojeva periodičnog dejstva su vibracije, koje nastaju zbog neuravnoteženosti pokretnih dijelova (sa određenim konstruktivnim svojstvima), odnosno zbog pojave slobodnih inercijalnih sila.

Poseban su problem vibracije izazvane elastičnim deformacijama pojedinih dijelova stroja (tijelo, vratilo), kao i cijelog obradnog sistema (stroj-alat), pri oblikovanju predmeta rada (obradjene u radovima /1/, /2/, /3/ i /4/).

Vibracije nikada ne mogu biti potpuno otklonjene primjenom različitih postupaka ili sredstava za izolaciju. Međutim, moguće je ublažiti vibracije, tako da se one ne prenose preko nosećih konstrukcija ili temelja na zgrade, susjednu opremu (precizne alatne mašine za završnu obradu, mjerne uređaje) i ljude.

Sa gledišta pouzdanosti (vibracije mogu biti pobudjivač loma) i trajnosti mašina (vibracije utiču na povećano habanje dijelova, a time i većih energetskih gubitaka, umanjujući koeficijent korisnog dejstva mašine), temelja, zgrada - vibracije treba svesti u „dozvoljene“ granice.

Mehaničke vibracije su izvršni pokazatelj tehničke ispravnosti i kvaliteta mašine.

Neuravnoteženost se ublažuje mogućim raspoređivanjem pokretnih masa ili „dodavanjem“, odnosno „oduzimanjem“, uravnotežavajućih masa (protivtegeva); čije se veličine i položaji određuju proračunom i eksperimentom, kako bi se u kretanju isključilo dejstvo slobodnih inercijalnih sila i momenata - uzročnika vibracija.

Uravnotežavanje postaje od sve većeg značaja porastom brzohodnosti mašina.

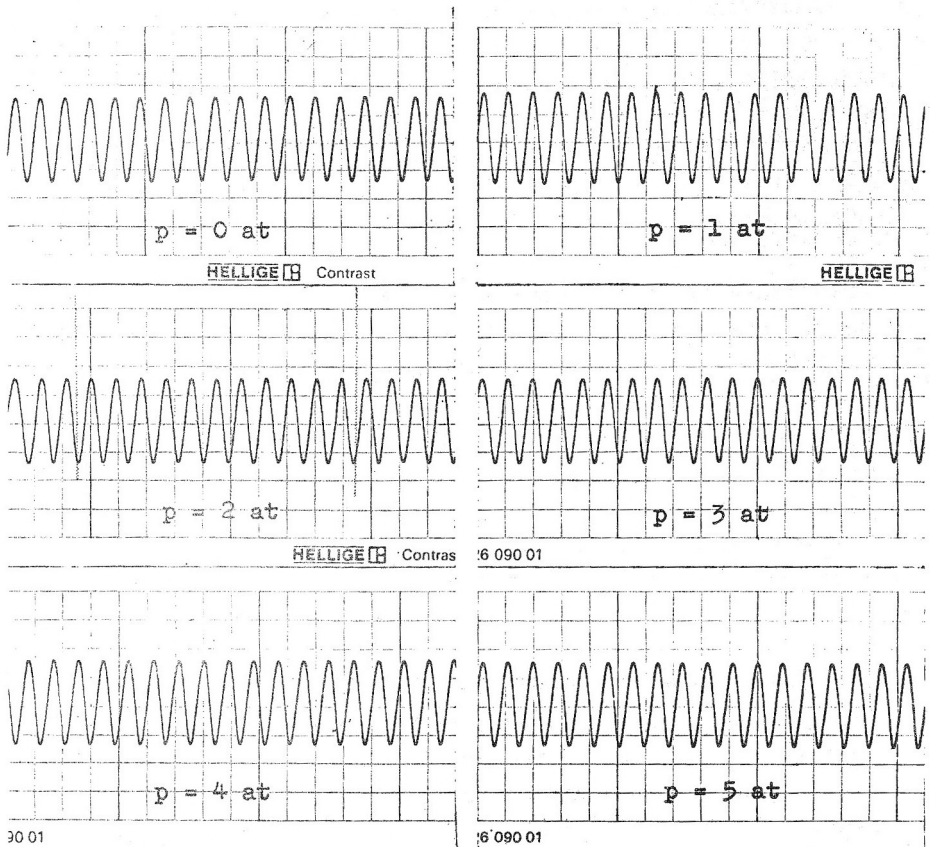
Otkako „Jelšingrad“ proizvodi brzohodne ekscentarske prese - automate, i do 2000 hodova u minuti, problem uravnotežavanja postao je aktuelan u Istraživačko-razvojnom centru ovog preduzeća.

- U brzohodnih presa - automata - vibracije izazivaju, i to:
- pritiskivač sa ostalim translatornim masama (klipovi i klipnjače pneumatskih uravnoteživača, gornji - pokretni dio alata);
 - ekscentarsko vratilo sa, ekscentričnom čaurom i ostalim elementima na ekscentru i
 - ojnica sa vijkom i elementima na njoj, koja ima složeno kretanje (translaciju i rotaciju).

U presa sa vertikalnim krivajnim mehanizmom, posmatrano u vertikalnoj ravni, normalnoj na osu vratila, vibracije se javljaju od:

- translatornih masa u vertikalnom pravcu;
- obrtnih masa u vertikalnoj ravni upravnoj na osu glavnog vratila, odnosno u vertikalnom i horizontalnom pravcu, ako se u toj ravni postavi Descartes-ov pravougli koordinatni sistem, tako da se ordinata poklapa sa vertikalnom osom izvršnog dijela mašine, a apscisa upravno na nju i osu glavnog vratila i
- mase ojnice, takodje u istoj ravni.

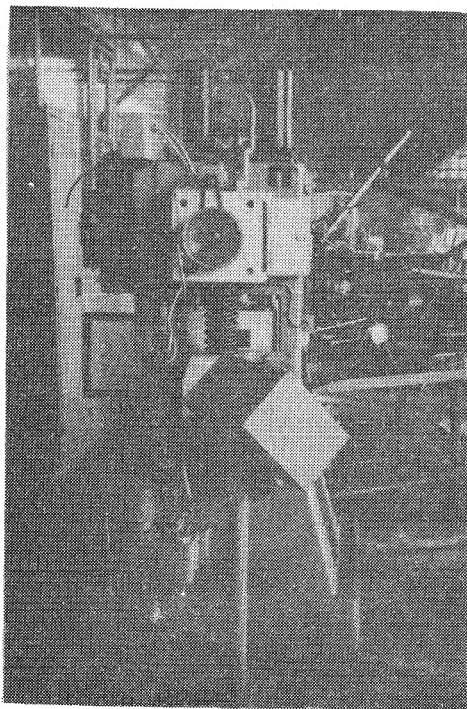
Translatorne mase, zbog složenosti, se obično ne uravnotežavaju. Pneumatski uravnoteživači samo neznatno ublažuju vibracije. To se može vidjeti iz relativnog odnosa amplituda vibracija na vibrogramima (sl. 1), koji su dobijeni pri ispitivanju prototipa brzohodne ekscentarske prese - automata (BPA 15), proizvodnje „Jel-šingrada“ iz Banje Luke; kada je, pri istoj veličini hoda ($H = 30$ mm) i istom broju hodova ($n = 600$ l/min.), vršena promjena početnog nadpritiska zraka u cilindrima (koji se mogu vidjeti na sl.2 i sl.3, snimljenog prototipa BPA 15, u stanju ispitivanja statičke krutosti).



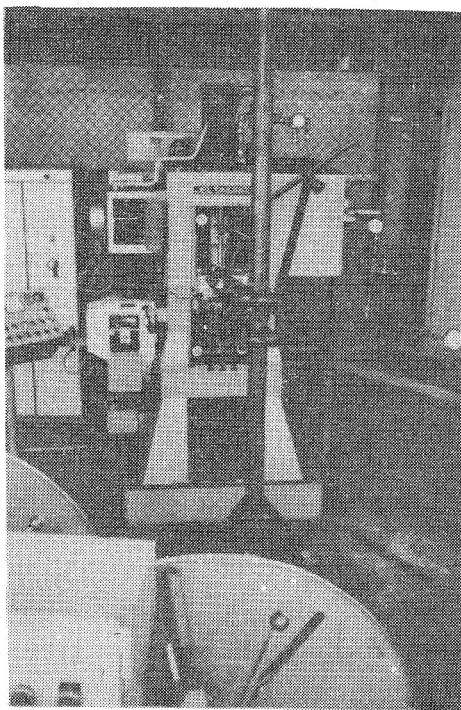
Slika 1

Osnovna uloga pneumatskih uravnoteživača, po autoru rada /5/, je slijedeća:

- rasterećenje pogonskog mehanizma;
- smanjenje gubitaka energije prese u povratnom hodu pritiskivača;
- poništavanje zazora reduktora, a što se manifestuje mirnijim radom prese i smanjenjem zvuka reduktora i
- obezbjedjenje rada, za slučaj loma veze pritiskivač - ojnica.



Slika 2



Slika 3

Na sreću, vertikalne vibracije su manji problem od horizontalnih. Horizontalne vibracije izazivaju:

- ljuljanje mašine;
- promjenu procijepa (zračnosti) u alatu u toku rada mašine zbog horizontalnih inercijalnih sila i zazora između po-

kretnih dijelova obradnog sistema, pa s tim u vezi bržeg zatupljenja alata;

- povećanje sila trenja u vodjicama alata i pritiskivača, pa samim tim i njihovog bržeg habanja;
- otežane kretanje trake u alatu, itd.

Sve se to odražava na kvalitet predmeta rada, kao i na trajnost mašine i alata.

Zato se pristupa uravnotežavanju rotacionih masa (vratilo sa elementima na vratilu), kao i jednog (redukevanog) dijela ojnice.

Tine se otklanjaju horizontalne, a djelimično i vertikalne vibracije.

2. Uravnotežavanje centrifugalnih sila

Nivo i karakter vibracija zavisi od parametara oscilovanja, odnosno od frekvencije i amplitude.

Kako je poznato, frekvencija prinudnih vibracija, zbog neuravnoteženosti masa, srazmjerna je obrtnoj brzini rotora. To znači da je broj oscilacija u minuti ili jednak broju obrtaja rotora ili je njemu proporcionalan (sl. 1). Faktor proporcionalnosti može biti veći ili manji od jedan.

Isto tako, i amplituda je srazmjerna intenzitetu neuravnoteženosti.

U nedostatku naših propisa dozvoljenih vibracija u mašinama, za sada se koriste preporuke VDI 2056 (koje je izdalo Udruženje njemačkih inženjera, na osnovi iskustvenog materijala).

Ruski inženjeri su konstruisali grafikon za procjenu intenziteta vibracije temelja mašina sa periodičnim dejstvom (sl. 4), na osnovi materijala ispitivanja.

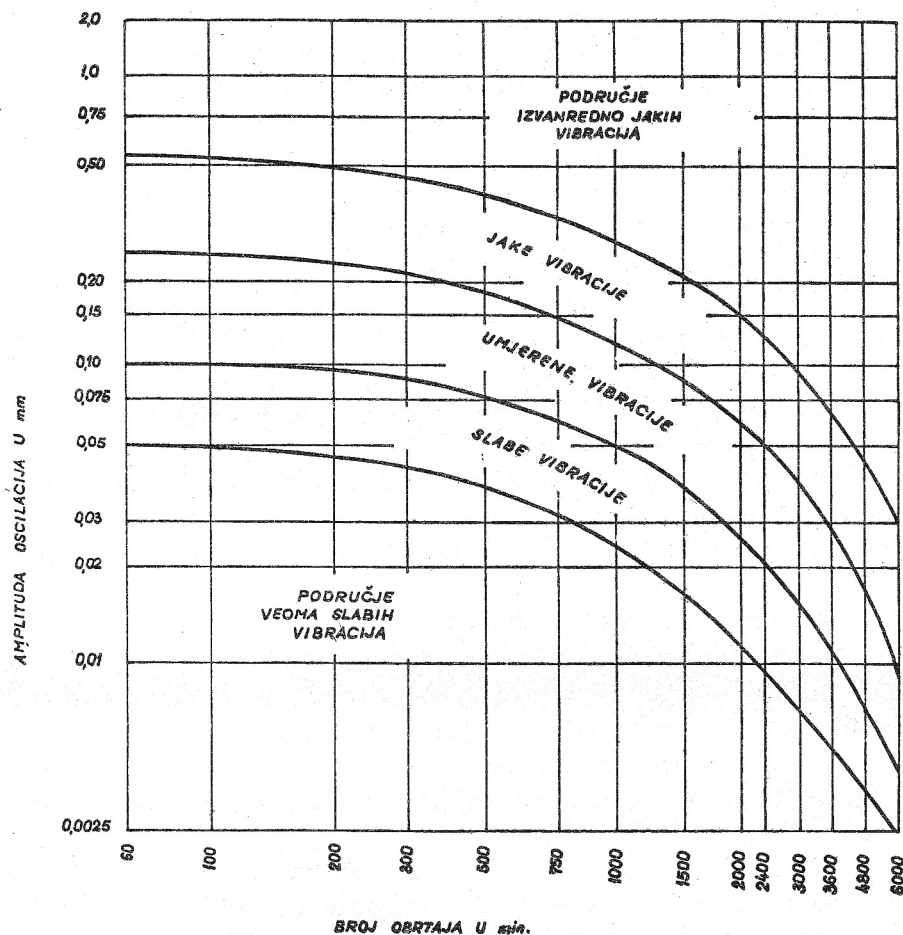
Neuravnoteženost rotora prouzrokuju ekscentrične rasporedjene mase u odnosu na osu rotacije (osa inercije se ne poklapa sa osom rotacije).

Periodične promjenljive udarne inercijalne sile, koje daju dopunsko opterećenje u ležištima, mogu se eliminisati jedino ako se osa inercije (težišna osa) dovede do poklapanja sa osom rotacije (prinudnom osom).

Neuravnoteženost se može smanjiti metodom uravnotežavanja u jednoj ravni u statičkim uslovima, dijametralno postavljenim masama. To se više odnosi na rotore manjih dužina.

Otklanjanje neuravnoteženosti krutog rotora veće dužine, sa masama koje su rasporedjene po dužini ose rotacije, dovoljno je i potrebne izvršiti korekciju masa u dve korekcijske ravni (ravni ispravljanja), koje su međusebno aksijalno pomjerene.

Koljenaste vratile se u principu tretira kao kruti roter, pa će se kao takve i ovdje posmatrati.



Slika 4

Kada je hod nepromjenljiv, tj. konstantnog ekscentra, uravnotežavanje se postiže na relativno jednostavan način (kao u klipnih mašina).

Kako postoje zahtjevi i za presama promjenljivog hoda pritiskivača, potrebno je riješiti i ovaj problem, koji je složeniji.

Neke firme ovaj problem rješavaju samo djelimično i za srednji hod. Na taj način, ograničava se promjenljivost hoda, pa se time umanjuje njihova prednost u odnosu na prese nepromjenljivog hoda.

Ukoliko bi se, ipak, koristile sve veličine hodova, za neke položaje dobio bi se suprotan efekt.

Problem je, dakle, u promjeni ekscentra, odnosno hoda, jer se time mijenjaju kako veličina tako i pravac centrifugalnih inercijalnih sila, što je vezano za postavljanje protuutega.

Potrebno je konstrukciju protuutega izvesti tako, da se pri promjeni ekscentra (okretanjem ekscentrične čaure na ekscentru vratila), odnosno hoda, mijenja položaj protuutega.

Prilikom obrade seminarskih radova iz predmeta „Teorija mehanizama“ i „Teorija vibracija“, na postdiplomskom studiju Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, došao sam na ideju uravnoteženja centrifugalnih sila i u presa promjenljivog hoda.

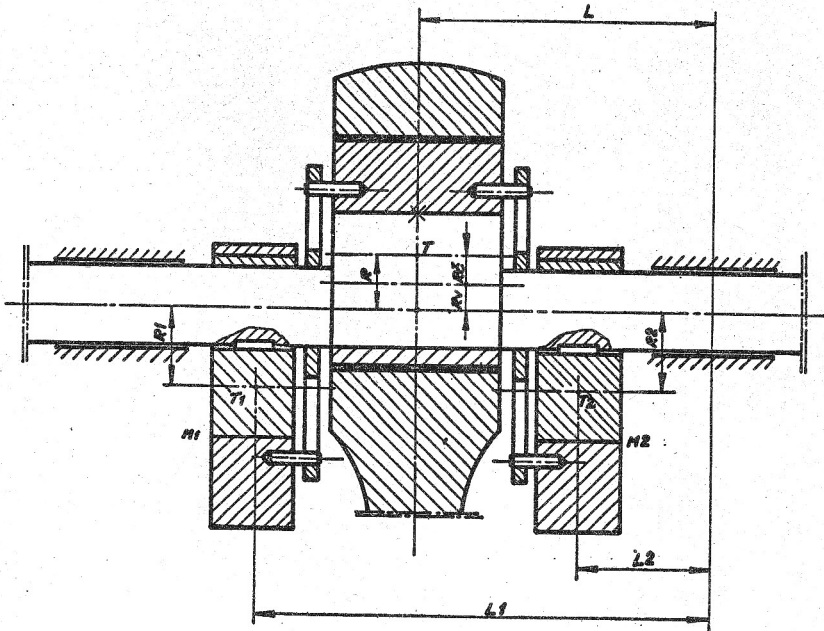
To je moguće izvesti kombinacijom dva ekscentrična protuutega, od kojih je jedan čvrsto vezan na vratilu a drugi okretan na prvom; tako da njihovo zajedničko težište mijenja položaj u odnosu na promjenu položaja zajedničkog težišta ekscentra vratila i ekscentrične čaure. Pri ovome je potrebno uzeti u obzir i dio ojnice koji pripada rotacionim masama.

Uprošćena konstrukcija uravnoteženja prikazana je na sl. 5 i sl. 6, u dva karakteristična položaja.

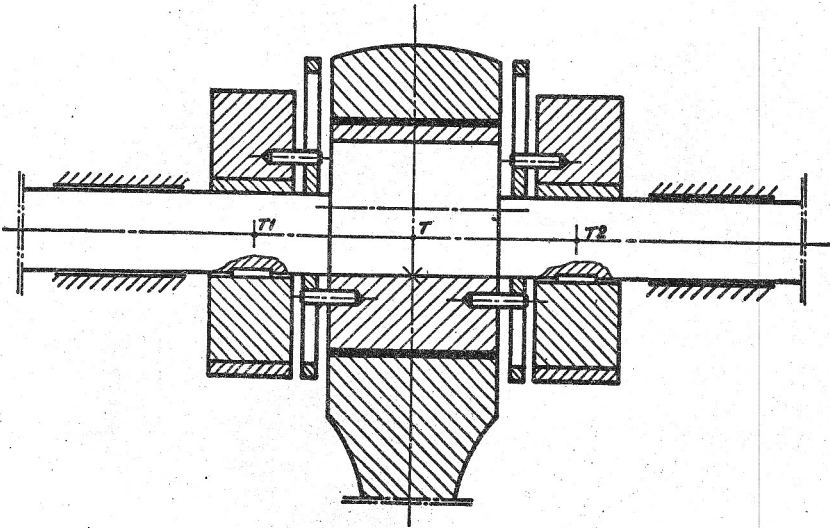
Da bi se obezbijedila dinamička ravnoteža, tj. da bi pritisci u ležajevima od centrifugalnih sila bili jednaki nuli, za jednu ojnicu su potrebna dva para tegova, po jedan sa obe strane ojnice.

U slučajevima gdje se koriste dvije ojnice, dovoljan je jedan par protuutega - između ojnica.

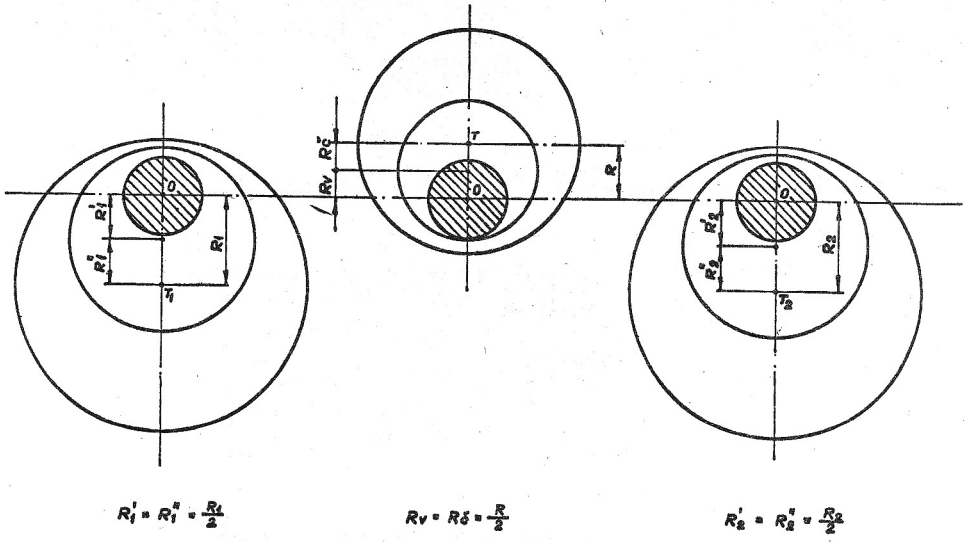
Ukoliko je prostor ograničen, kada se naknadno pristupa uravnotežavanju (na već postojećoj konstrukciji prese), može zadovoljiti i jedan par tegova (samo sa jedne strane ojnice); pri čemu ostaje neuravnotežen spreg centrifugalnih sila, te imamo takozvanu „statičku“ uravnoteženost. Medjutim, ovaj spreg je daleko manji od momenta koji bi se javio, kada ne bi bilo nikakvog protuutega.



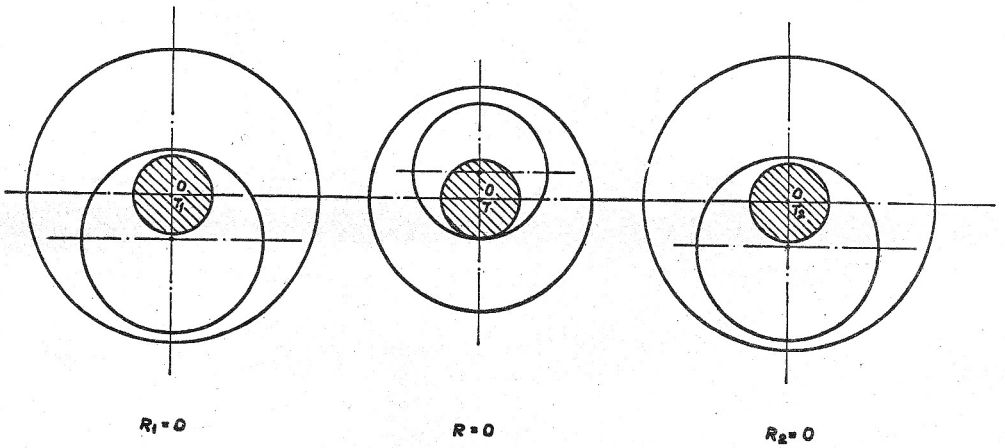
Slika 5a



Slika 5b

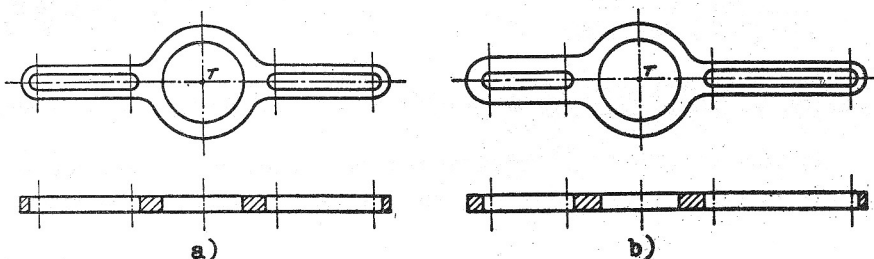


Slika 6a



Slika 6b

Istovremeno pomjeranje ekscentrične čaure i protuutega, postiže se pomoću okretnih viljuški; koje se konstruktivno rješavaju tako da im težište bude u osi obrtanja vratila, kako ne bi uticale na debalans (sl. 7).



Slika 7

Vezivanje ekscentrične čaure za vratilo, nakon podešavanja ekscentra, odnosno hoda, nije prikazano, a stvar je same konstrukcije; pri čemu se mora voditi računa da baza bude osa rotacije, tj. da se ne poremeti balans.

3. Odredjivanje protuutega

Sila inercije svake mase pri jednolikoj rotaciji usmjerena je radijalno i jednaka je:

$$\vec{F}_i = - m_i \cdot \vec{a}_i = - m_i \cdot \vec{r}_i \cdot \omega^2$$

Glavni je vektor sila inercije svih sila:

$$\vec{F} = \sum m_i \cdot \vec{r}_i \cdot \omega^2$$

Da sile inercije ne bi izazvale reakcije u ležištima, mora glavni vektor sila inercije biti jednak nuli:

$$\vec{F} = \sum m_i \cdot \vec{r}_i \cdot \omega^2 = 0 \Rightarrow \sum m_i \cdot \vec{r}_i = 0 \quad (1)$$

Jednačina (1) garantuje „statičku“ uravnoteženost, koja je moguća samo onda ako se središte masa nalazi na osi rotacije.

Da bi dinamičke reakcije u ležajevima bile jednake nuli, mora biti zadovoljen i uslov da je suma momenata svih inercijalnih sila jednaka nuli:

$$\sum \vec{M}_i = 0, \text{ odnosno}$$

$$\sum \vec{F}_i \cdot \vec{l}_i = 0 \Rightarrow \sum m_i \cdot \vec{r}_i \cdot \vec{l}_i = 0 \quad (2)$$

Jednačine (1) i (2) predstavljaju potreban i dovoljan uslov dinamičke ravnoteže, koje se mogu pisati u skalarnom obliku:

$$\sum m \cdot r \cdot \sin \alpha = 0 \quad (3)$$

$$\sum m \cdot r \cdot \cos \alpha = 0 \quad (4)$$

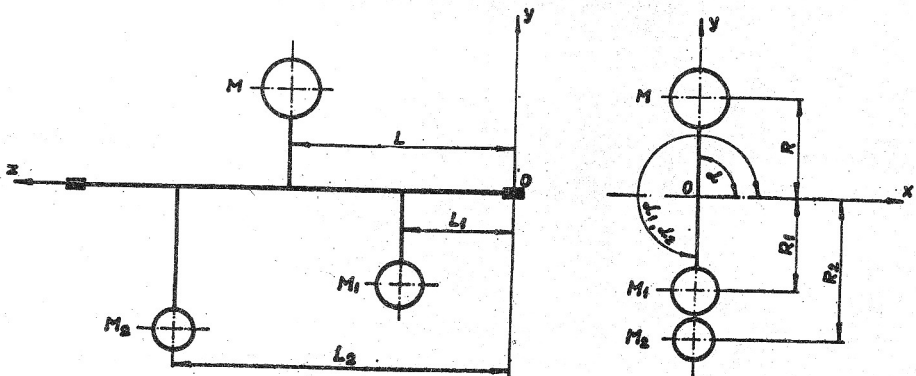
$$\sum m \cdot r \cdot l \cdot \sin \alpha = 0 \quad (5)$$

$$\sum m \cdot r \cdot l \cdot \cos \alpha = 0 \quad (6)$$

Prema sl. 5a (za maksimalni ekscentar), odnosno prema sl. 8, jednačine (3) - (6) mogu se svesti na dvije:

$$\sum m \cdot r \cdot \sin \alpha = 0 \quad (7)$$

$$\sum m \cdot r \cdot l \cdot \sin \alpha = 0 \quad (8)$$



Slika 8

Prema tome, konačne jednačine za određivanje protuutega imaju oblik, i to:

$$M \cdot R - M_1 \cdot R_1 - M_2 \cdot R_2 = 0 \quad (9)$$

$$M \cdot R \cdot L - M_1 \cdot R_1 \cdot L_1 - M_2 \cdot R_2 \cdot L_2 = 0 \quad (10)$$

gdje su: M_1, M_2 - mase parova protuutega;

R_1, R_2 - odstojanja težišta parova protuutega od ose obrtanja;

L_1, L_2 - odstojanja težišta tegova od ležišta;

M - masa ekscentrične čaure, ekscentričnog dijela vratila i redukovana masa ojnice;

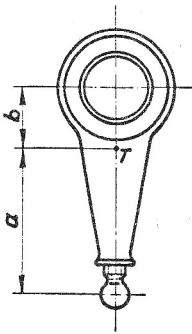
R - odstojanje zajedničkog težišta čaure i ekscentričnog dijela vratila od ose obrtanja, što je ujedno i maksimalni ekscentar i

L - odstojanje ose ojnice od ležišta.

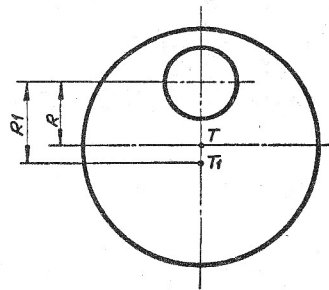
Redukovana masa ojnice se izračunava prema obrascu (11), s obzirom na sl. 9:

$$M_{or} = \frac{a}{a + b} \cdot M_0 \quad (11)$$

gdje je M_0 - masa ojnice.



Slika 9



Slika 10

Vrijednosti: $M_1, M_2, R_1, R_2, L_1, L_2$ - određuju se konstruktivno, prema raspoloživom prostoru.

Radi jednostavnijeg proračuna protutega, uzimaju se u obzir i pripadajući dijelovi vratila, kao da su protutezi puni, pri čemu se ne čini greška (sl. 10):

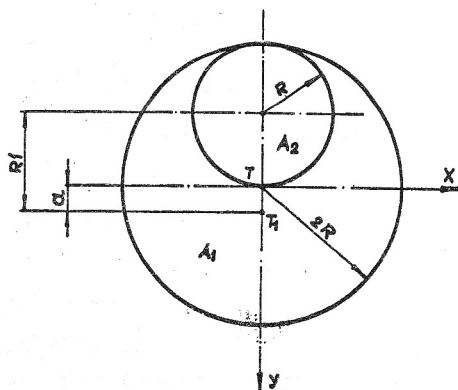
$$R_1 \cdot M_1 = R \cdot M$$

gdje su: M - masa punog tega;

M_1 - masa šupljeg tega;

R - ekscentar punog tega i

R_1 - ekscentar šupljeg tega.



Slika 11

Dokaz
Koristeći analogiju težišta površina, prema sl. 11, slijedi:

$$y_0 = \frac{\sum (A_n \cdot y_n)}{A} \Rightarrow a = \frac{(2R)^2 \pi \cdot 0 - R^2 \pi \cdot (-R)}{(2R)^2 \pi - R^2 \pi} = \frac{R}{3}$$

$$R_1 = R + a = R + \frac{R}{3}$$

$$R_1 = \frac{4}{3} R$$

$$R_1 \cdot A_1 = \frac{4}{3} R \left[(2R)^2 \pi - R^2 \pi \right] = \underline{4 \cdot R^3 \pi}$$

$$R \cdot (A_1 + A_2) = R \cdot (2R)^2 \pi = \underline{4 R^3 \pi}$$

$$\underline{R_1 \cdot A_1 = R \cdot (A_1 + A_2)} \Rightarrow R_1 \cdot M_1 = R \cdot (M_1 + M_2)$$

U prikazanom primjeru uravnotežavanja, minimalni ekscentar, odnosno hod, jednak je nuli (što je najčešći slučaj).

Kako postoji odnos:

$$R_v \geq R_{\zeta}$$

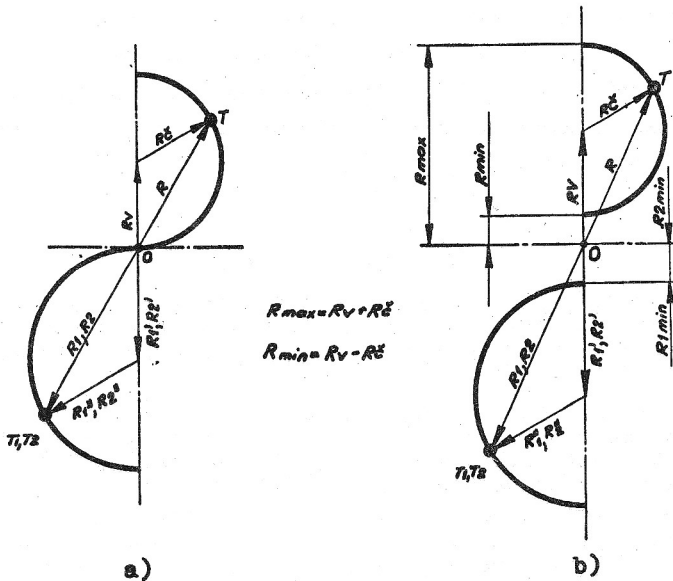
gdje su: R_v - ekscentar vratila,

R_{ζ} - ekscentar čaure,

minimalni ekscentar, odnosno hod, može biti veći od nule. U tom slučaju, minimalni ekscentri protuntega, također, treba da budu veći od nule. To se vidi iz prikazanih hodografa težišta, odnosno ekscentara, za obje varijante (sl. 12).

Važno je naglasiti da je potrebno obezbijediti odnos:

$$\frac{R_v}{R_{\zeta}} = \frac{R_1'}{R_1''} = \frac{R_2'}{R_2''}, \text{ kako bi težišta } (T, T_1, T_2) \text{ ležala u istoj ravni.}$$



Slika 12

4. Zaključak

Na osnovi svega što je izloženo, moguće je konstatovati slijedeće, i to:

1. U ekscentarskih presa konstantnog hoda, uravnoteženje centrifugalnih sila rješava se kao i u klipnih mašina.
2. U ekscentarskih presa promjenljivog hoda, uravnoteženje centrifugalnih sila je moguće za sve hodove pritiskivača.
3. Dodavanjem protuutega, povećavaju se obrtne mase, koje otežavaju startovanje i kočenje; ali to je daleko manji problem od posledica vibracija, koje bi imali zbog neuravnoteženosti.

U brzohodnih ekscentarskih presa ugao kočenja je, inače, veliki (najčešće preko jednog kruga). Zato, što se tiče zaštite alata, sasvim je isto da li je ugao kočenja jedan ili više krugova. Istina, energetski gubici su veći.

4. Kako je poznato, sve se veći značaj pridaje zaštiti čovjekove okoline, odnosno sredine. Borba protiv vibracija (u sklopu mjera za očuvanje čovjekove okoline) je također jedan vid zaštite čovjekove sredine, što nas još više navedi na opravdanost uravnotežavanja (makar pri tome oslabili neke druge parametre).

L i t e r a t u r a

- /1/ P.V.POPOVIĆ, Elastične deformacije tijela mehaničkih presa otvorene konstrukcije kao izvori pojave nepoželjnih inercijalnih sila, časopis TEHNIKA (Mašinstvo), Beograd, broj 9, 1968.
- /2/ P.V.POPOVIĆ, Oscilovanje obradnog sistema pri obradi materijala deformacijom i njihov odraz na njegove konstruktivno-tehnološke karakteristike, ZBORNİK RADOVA Stručno-naučnog skupa "Mašinstvo 1873 - 1973", Beograd, 1973.
- /3/ P.V.POPOVIĆ, Uticaj prednapregnutih vijaka na elastične deformacije mehaničkih presa otvorene konstrukcije i pojavu nepoželjnih inercijalnih sila, časopis TEHNIKA (Mašinstvo), Beograd, broj 2, 1974.
- /4/ P.V.POPOVIĆ, Uticaj vrste obrade materijala deformacijom na elastične deformacije obradnog sistema, ZBORNİK RADOVA BIAH '73, sveska 1, Zagreb, 1973.
- /5/ P.V.POPOVIĆ, Prilog rješavanju problema izbora tipa pneumatskog uravnoteživača pritiskivača mehaničkih presa, Saopštenje iz Fabrike mašina "Ivo Lola Ribar", Beograd, 1966.

- /6/ O.MUFTIĆ - K.DRAČA, Teorija mehanizama, Zagreb, 1974.
- /7/ J.P.DEN HARTOG, Mechanical Vibrations, New York, Toronto, London, 1956.
- /8/ HEINRICH MAKELT, Die mechanischen Pressen, München, 1961.
- /9/ O.A.SAVINOV, Sovremenie konstrukci fundamentov pod mašini i ih rasčet, Lenjingrad, Moskva, 1964.
- /10/ G.N.ROVINSKIJ - S.L.ZLOTNIKOV, Listočtanpoveočne mehaničeskie presi, Moskva, 1968.

NOV PROJEKTOVANJE IZ OBLASTI SKI MASINE

TEHNIČKI IZVEŠTAJ IZ OBLASTI SKI

IZ OBLASTI SKI IZ OBLASTI SKI

IZ OBLASTI SKI IZ OBLASTI SKI

U ovom izveštaju, koji je namenjen za potrebe naučnog i stručnog kruga, razmatra se problem konstrukcije i izrade mašina za obradu drveta. Problem je od izuzetne važnosti zbog povećane potražnje za ovakvim mašinama u poslednjih nekoliko godina. U ovom izveštaju su prikazane osnovne karakteristike i konstrukcijske rešenja ovakvih mašina. Takođe su prikazane i neke od najnovijih tehnoloških rešenja koja su omogućila značajno povećanje produktivnosti i smanjenje troškova izrade ovakvih mašina. U ovom izveštaju su takođe prikazane i neke od najnovijih tehnoloških rešenja koja su omogućila značajno povećanje produktivnosti i smanjenje troškova izrade ovakvih mašina.

ŠEHOVIĆ M.E.

PROBLEM URAVNOTEŽAVANJA CENTRIFUGALNIHSILA BRZOHODNIH EKSCENTARSKIH PRESAPROMJENLJIVOG HODAR e z i m e

S obzirom da su zahtjevi za povećani broj hodova u ekscentarskih presa sve češći, kako zbog produktivnosti, tako i zbog konkurencije medju firmama - proizvođačima presa, nameće se i problem uravnotežavanja pokretnih masa.

Poznate su teškoće uravnotežavanja translatornih masa u krivajnog mehanizma, što je i razlog da se rijetko rješava ovaj problem. Pored toga, inercijalne sile translatornih masa su u istom pravcu, za razliku od rotacionih - čije sile mijenjaju pravce u jednoj ravni, a time se remeti stabilnost mašine.

Zato se češće rješava problem uravnotežavanja rotacionih masa (klipne mašine).

U ekscentarskih presa promjenljivog hoda javlja se problem promjene ekscentra, što komplikuje rješavanje uravnoteženja.

U ovom radu je obradjen način rješavanja i tog problema.

PROBLEM DES BRINGENS INS GLEICHGEWICHT VONDER ZENTRIFUGALKRAFT DER SCHNELLLAUFENDEEXZENTERPRESSEN DES WECHSELNDES GANGESZ u s a m m e n f a s s u n g

Mit Rücksicht, dass die Forderungen für die grössere Anzahl des Ganges in den Exzenterpressen immer mehr, sowie wegen der Produktivität als auch wegen der Konkurrenz zwischen den Firmen - den Presseerzeugern, es drängt sich auch ein Problem des Bringens ins Gleichgewicht der Bewegungsmassen auf.

Es sind die Schwierigkeiten des Bringens ins Gleichgewicht von den Translormassen in dem Krümmungsmechanismus bekannt, was es auch der Grund ist, dass dieses Problem selten gelöst wird. Ausserdem, die Trägheitskräfte der Translormassen sind in dieselber Richtung zum Unterschied von den Rotationskräften, dessen Kräfte die Richtungen in einer Ebene wechseln, und damit wird die Stabilität der Maschine gestört.

Deshalb wird häufiger das Problem des Bringens ins Gleichgewicht von Rotationsmassen (der Kolbenmaschine) gelöst.

Bei den Exzenterpressen von dem veränderlichem Ganges wird das Problem der Veränderung des Exzenters erscheint, was die Lösung des Bringens ins Gleichgewicht kompliziert.

In dieser Arbeit ist auch die Weise der Lösung von diesem Problem bearbeitet.