

Modeliranje i dinamička analiza procesa transportovanja suve zemljišne mase pomoću vibracione oscilatorne platforme

Goran Mihajlović¹, prof. strukovnih studija

¹ Visoka tehnička mašinska škola strukovnih studija, 37240 Trstenik, Radoja Krstića 19, Srbija

U cilju optimizacije radnih parametara vibracionih oscilatornih platformi, najpre je oformljen odgovarajući mehanički model koji adekvatno prikazuje proces transporta čvrste mase na platformi. Drugim rečima, ovaj rad predstavlja jedan od razvijenih modela čiji je cilj da prikaže proces transporta čvrste mase u funkciji vremena. Razvijeni model eksperimentalno je proveren na vibracionoj oscilatornoj platformi koja je realizovana kao deo prihvatnog sistema kombajna za ubiranje povrtarskih kultura, a koji je isproban na Tehničkom fakultetu u Čačku.

Ključne reči: vibraciona oscilatorna platforma, transport čvrste mase, modeliranje, dinamička analiza, optimizacija.

0. UVOD

U svakodnevnom životu i u različitim oblastima tehnike kao što su: procesna industrija, poljoprivredna mehanizacija, građevinarstvo, rudarstvo i slično, susreću se različite mašine i mašinski i tehnološki sistemi kojima se vrši transport, odnosno razbijanje i separacija zemljišne ili nekakve druge čvrste mase. Primera za ovo ima dosta: recimo u poljoprivredi kod mnogih žetelačkih mašina uz pomoć kojih se iz zemlje izdvajaju krtolasti plodovi (krompir, luk, repa, mrkva), zatim u građevinarstvu gde se kroz spe-cijalna sita prosejava pesak za potrebe niskogradnje ili visoko-gradnje, a takođe i u rudarstvu gde se zavisno od fizičkih i geoloških uslova nalazišta primenjuju različite metode eksploatacije koje u sebi uvek sadrže spomenute procese razbijanja i separacije transportovane mase.

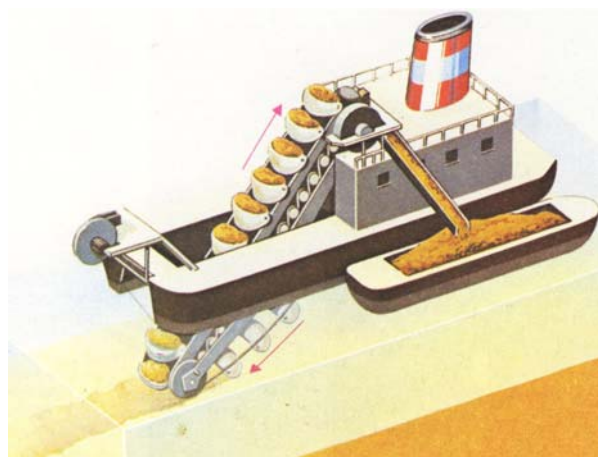
Razbijanje (usitnjavanje) je mehanički postupak kojim se usitnjavaju krupniji komadi transportovane mase, pri čemu se princip usitnjavanja zasniva na dovodu spoljašnje energije potrebne za savladavanje kohezivnih i adhezivnih sila kojima se čestice supstance drže zajedno. Pri tome se samo (3÷5)% dovedene energije potroši za savladavanje spomenutih sila, dok se sav ostatak energije (i do 97%) izgubi, tj. pretvara se u toplotu (usled trenja), akustičku energiju (zvučne talase) i druge štetne - disipativne oblike energije [6].

Separacija (odvajanje) je fizički ili hemijski proces obrade materijala pri kome se odstranjuju neke manje značajne komponente (tzv. „jalovina“), a sam materijal se pri tome obogaćuje vrednijim sastojcima kako bi se dalje mogao efikasno koristiti u tehničkom ili ekonomskom pogledu.

1. SPECIFIČNOSTI TRANSPORTA, RAZBIJANJA I SEPARACIJE ZEMLJIŠNE MASE POMOĆU MAŠINA SA OSCILATORNIM PLATFORMAMA

Zemljišna ili nekakva druga čvrsta masa se potkopava pomoću raonika i zatim nabacuje na platformu, ili se pak direktno (kao što je na primer slučaj na sl. 1.) iz nekakvog levka postavljenog iznad platforme izručuje na samu platformu, što zavisi od vrste i konstrukcije konkretne plat-

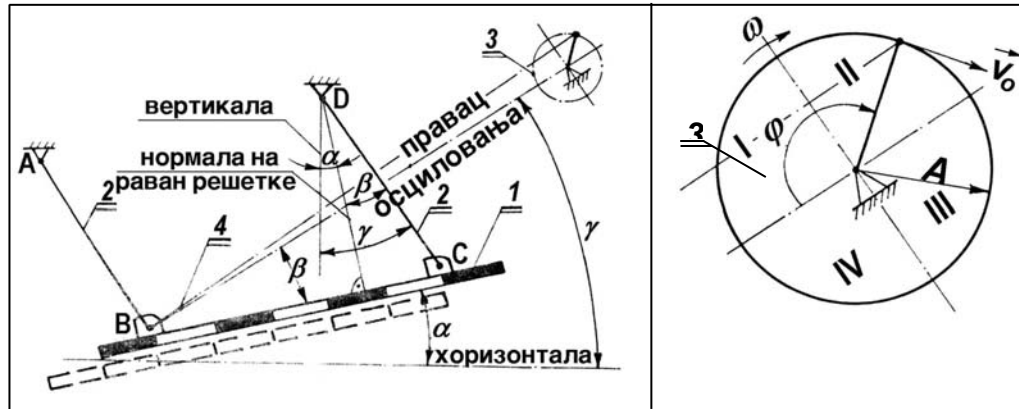
formske mašine. Na platformi se masa razbija usled dinamičkog udara o nju i propada (prosejava se) kroz rešetku ugrađenu u samoj platformi.



Sl. 1. Primer primene vibracione oscilatorne platforme kod tehnološkog sistema za separaciju i prosejavanje peska iz rečnog korita

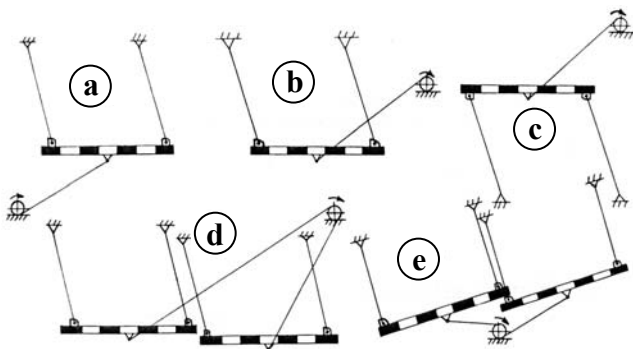
Opšta šema sa nazivima karakterističnih delova i parametara vibracione oscilatorne platforme, data je na slici 2. Platforme se međusobno razlikuju prema većem broju različitih kriterijuma. Najpre prema broju sita (rešetki), gde se razlikuju jednosite (jednorešetkaste) i dvosite (dvo-rešetkaste) platforme. Jednosite vibracione oscilatorne platforme najčešće se susreću u praksi i kod njih su prisutna visoka dinamička opterećenja u radu proistekla usled dejstva inercionih sila.

Za razliku od njih, dvosite platforme rade sa dva sita istovremeno, po pravilu imaju veći radni učinak (produktivnost) od jednositih, a inercione sile na sitima međusobno se poništavaju (uravnotežavaju) jer su ubrzanja na sitima uvek usmerena u suprotne strane. Stoga, kad god je to moguće, prednost u radu treba davati ovakvim dvositim platformama, bez obzira na njihovu nešto složeniju konstrukciju i višu cenu u odnosu na jednosite platforme.



Sl. 2. Opšta šema vibracione oscilatorne platforme (1-platforma; 2-vešanje; 3-ekscentar; 4-pogonska poluga; A-amplituda oscilovanja platforme (poluprečnik ekscentra); φ -faza oscilovanja platforme; α, β, γ -uticajni uglovi platforme; A, B, C, D -oslone tačke platforme)

Platforme se takođe razlikuju i po lokaciji-mestu na kome je smešteno vratilo ekscentra, pa tako postoje platforme kod kojih je vratilo ekscentra smešteno ispod rešetke (sl. 3a, 3e) i platforme kod kojih je ekscentarsko vratilo smešteno iznad rešetke (sl. 3b, 3c, 3d). Najzad, postoji razlika i u načinu vešanja. Platforme mogu biti sa gornjim načinom vešanja (svi slučajevi na sli-ci 3 osim slučaja 3c) i sa donjim načinom vešanja (sl. 3c). Imajući u vidu celokupan tehnološki proces, došlo se do zaključka da je za praksu najprikladnija dvosita (dvorešetkasta) platforma kod koje je ekscentar izbačen iza rešetke onoliko daleko koliko je to maksimalno moguće (sl. 3d). Ista takva platforma biće još bolje uravnotežena ukoliko se ekscentar postavi između sita (sl. 3e). Sve pobrojane varijante platformi šematski su prikazane na slici 3.



Sl. 3. Razne vrste vibracionih oscilatornih platformi

2. KINEMATSKI PARAMETRI KOJI UTIČU NA RAD OSCILATORNIH PLATFORMI

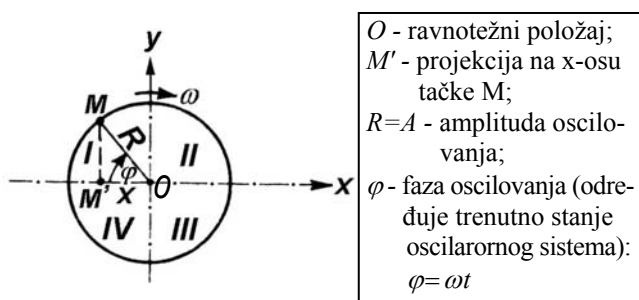
Da bi se moglo otpočeti sa bilo kakvom analizom parametara koji utiču na rad oscilatornih platformi, potrebno je najpre definisati sve veličine koje karakterišu oscilatorno kretanje platforme.

U tehnici su veoma rasprostranjena kretanja kod kojih se sistem naizmenično pomera tamo-amo u odnosu na svoj ravnotežni položaj, da bi se posle izvesnog vremenskog

perioda ponovo vratio u taj isti položaj. Taj se period naziva PERIODOM OSCILOVANJA (T), a samo kretanje OSCILATORNIM KRETANJEM, dok se za procese koji se ponavljaju u istim vremenskim intervalima kaže da su PERIODIČNI. Da bi moglo da dođe do nastanka oscilatornog kretanja bitan preduslov jeste postojanje, tj. dejstvo sile i to RESTITUCIONE-ELASTIČNE SILE, koja u svakom momentu ima smer suprotan od smera kretanja tela (u tom slučaju reč je o tzv. *slobodnim oscilacijama*), ili pak neke SPOLJAŠNJE-POREMEĆAJNE SILE kojom se sistem održava u stanju oscilovanja (tada se radi o tzv. *prinudnim oscilacijama*). Pri delovanju ovih sila neprestano se vrši transformacija energije iz jednog oblika u drugi (kinetičke u potencijalnu i obrnuto), pa stoga sila i energija predstavljaju *dinamičke veličine* koje karakterišu oscilatorni sistem. Za razliku od njih *kinematske veličine* karakterišu kretanje sa geometrijskog aspekta, a najznačajnije od njih su:

- PERIOD OSCILOVANJA (T) koji je već spomenut, a predstavlja vreme potrebno za izvršenje jedne pune oscilacije;
- FREKVENCIJA-UČESTANOST (f) definiše se kao broj oscilacija u jednoj sekundi: $f=1/T$, ili $f=n/60$, ukoliko se ista iskazuje preko minutnog broja obrtaja n . Jedinica za frekvenciju jeste HERZ [Hz], tj. jedna puna oscilacija u jednoj sekundi;
- KRUŽNA FREKVENCIJA (ω) koja sa frekvencijom f stoji u sledećem odnosu: $\omega=2\pi f$ [s^{-1}], ili: $\omega=2\pi/T$ [s^{-1}];
- ELONGANCIJA je ma koje (proizvoljno) udaljenje od ravnotežnog položaja u posmatranom vremenskom trenutku;
- AMPLITUDA (A) je maksimalno moguća elongancija, tj. maksimalno udaljenje od ravnotežnog položaja.

Da bi se definisali brzina v i ubrzanje a pri oscilatornom kretanju, može se posmatrati kretanje materijalne tačke M po kružnici poluprečnika R konstantnom ugaonom brzinom ω i to u smeru kretanja kazaljke na satu (sl. 4).



Sl. 4. Kinematske karakteristike oscilatornog kretanja materijalne tačke

Sa slike 4 zapaža se da projekcija M' na x-osu tačke M vrši harmonijske oscilacije oko ravnotežnog položaja O , pa se stoga *elongancija* x može predstaviti sledećom jednačinom:

$$x = -R \cdot \cos \varphi = -A \cdot \cos \omega t \quad (1)$$

Smenom prethodno definisanih relacija u jednačinu za x dobija se:

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(-A \cdot \cos \omega t) = \omega A \cdot \sin \omega t \quad (2)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(\omega A \cdot \sin \omega t) = \omega^2 A \cdot \cos \omega t \quad (3)$$

Brzina kretanja pri oscilovanju je, kao što se iz jednačine (2) zapaža, promenljiva veličina i ima ekstremne vrednosti u slučajevima:

a) $v = v_{max}$ za $\sin \omega t = 1$, odnosno pri ravnotežnom položaju;

b) $v = v_{min}$ za $\sin \omega t = 0$, odnosno pri amplitudnom položaju.

Pošto je brzina oscilovanja promenljiva veličina ($v \neq const$) javlja se i *ubrzanje*, koje prema jednačini (3) ima ekstremne vrednosti u slučajevima:

c) $a = a_{max}$ za $\cos \omega t = 1$, tj. pri amplitudnom položaju;

d) $a = a_{min}$ za $\cos \omega t = 0$, tj. pri ravnotežnom položaju.

Ubrzanje a je kod oscilatornog kretanja uvek usmereno ka ravnotežnom položaju, odnosno suprotno od smera kretanja (suprotno od koordinate x). Usled toga će se kod oscilatornih platformi uvek javljati snažna *inerciona sila* F^m koja je usmerena suprotno od smera ubrzanja platforme a i koju je stoga potrebno na odgovarajući način uravnotežiti. Međutim, ta ista inerciona sila je od velike koristi pri radu platforme, jer u određenom momentu (kada ubrzanje postane dovoljno veliko) ista deluje na čestice transportovane mase i primorava ih da klize „naviše” tj. uz platformu u periodu u toku koga je ubrzanje platforme usmereno „naniže”, a pri još većem ubrzanju (pri još oštrijim dinamičkim režimima

oscilovanja) vrši otrgnuće čestica od rešetke platforme i primorava ih na slobodan let u smeru transportovanja materijala i to prema *zakonitostima kosog hica*. Na taj način se transportovanje materijala (odnosno proizvodnost platforme) znatno uvećavaju. Pri daljim uvećanjima amplituda ili frekvencija oscilovanja, teoretski bi se mogli dostići takvi režimi rada platforme pri kojima bi vreme leta čestica bilo jednako vremenima: jednoga, dva, tri, ..., itd. obrtaja ekscentarske krivaje. Na taj bi se način omogućilo *potpuno razbijanje čvrste mase*, a znatno bi se poboljšao i efekat separacije. Pri takvim „oštrim” dinamičkim režimima platforme moraju zasnovati svoj rad u stvarnim, tj. realnim uslovima eksploatacije.

3. OPIS, RAD I IZGLED OSCILATORNIH PLATFORMSKIH MAŠINA

Vibracione platformske mašine moguće je koristiti u raznim granama i oblastima tehnike (poljoprivreda, rudarstvo, građevinarstvo i slično). U praksi postoji dosta različitih tipova platformskih mašina i iste se međusobno razlikuju u nizu konstrukcijskih detalja. Međutim, princip njihovog rada kada su u pitanju razbijanje i separacija transportovane mase istovetan je za sve slučajeve. To znači da se ovi procesi mogu izučavati na jednom tačno i precizno definisanom tipu platforme, koja bi se zatim u istovetnoj konstrukcijskoj izvedbi mogla primeniti na više različitih tipova mašina koje obavljaju različite poslove. Time je, dakle, moguće izvršiti generalizaciju dobijenih teorijskih i praktičnih rezultata istraživanja, čime bi oni postali relevantni i imali bi veliku upotrebnu vrednost kod projektovanja sličnih, ili čak i novih mašina i tehnoloških sistema koji bi u svom radu koristili iste takve platforme.

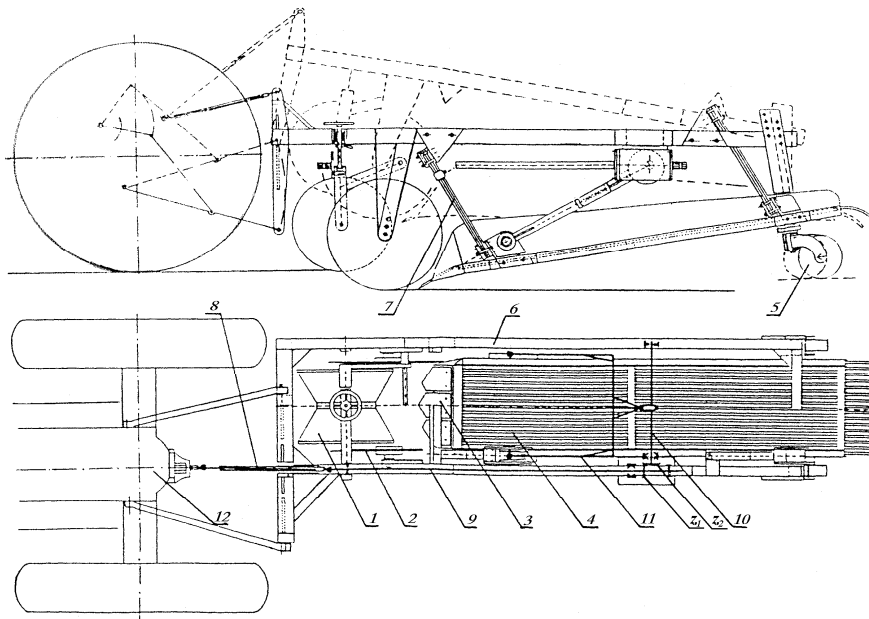
U daljem tekstu dat je šematski prikaz (sl. 5) i kratak opis rada jedne vibracione platformske mašine koja se koristi u poljoprivredi kao *žetelačka mašina za vađenje krompira*, uz napomenu da je rad platformskog dela mašine (pozicija 4 na sl. 5) istovetan i kod drugih tipova platformskih mašina.

Vadilica se priključuje na poteznicu hidraulika traktora (12) koji joj istovremeno mora obezbediti potrebnu pogonsku snagu u opsegu $(5 \div 10) kW$, a takođe i smeštaj i podizanje prednjeg dela vadilice, što se postiže priključenjem na izlazno ožlebljeno vratilo traktora koje preko sistema transmisije daje pogon oscilovanju, tj. vibriranju platforme. Transmisija se u ovom slučaju sastoji od: teleskopskog kardanskog vratila (8) dužine 1 metar, transmisionog vratila (9) koje preko para konusnih zupčanika ($z_1 - z_2$) prenosi kretanje na ekscentarsko vratilo (10), a ovo dalje na pogonsku polugu (11) koja direktno pokreće platformu (4) tamo-amo. Frekvencija oscilovanja platforme zavisi od broja obrtaja na izlaznom vratilu traktora i od prenosnog odnosa (z_2 / z_1) konusnog zupčastog para i iznosi $f = 10,8 Hz$ kod *sporohode varijante* ($n = 540 min^{-1}$ na izlaznom vratilu traktora) ili $f = 20,7 Hz$ kod *brzohode varijante* ($n = 1000 min^{-1}$ na izlaznom vratilu traktora). Amplituda oscilovanja (A) zavisi od poluprečnika-radijusa ekscentarske krivaje.

Regulacija dubine potkopavanja krompira vrši se okretanjem navojnog vretena na dobošu – valjku (1) koji se obrće usled sopstvenog trenja i koji ujedno gnječi zelenu masu (vrežu krompira i travu). Noževima – crtalima (2),

koji se takođe obrću usled sopstvenog trenja, vrši se odvajanje mase koja se potkopava od okoline, čime se znatno olakšava proces separacije (pri tome se dubina zasecanja noževa reguliše premeštanjem osovinice noža u nove otvore). Spomenuta čvrsta masa (zemlja sa primesama i krtolama krompira, vreža, trava i dr.) potkopava se uz pomoć tri raonika (3) putem visokofrekventnih vibracija, pri čemu vrh raonika izvodi složeno kretanje. Raonici su čvrsto vezani sa vibraciono-oscilatornom platformom (4), što znači da raonik i platforma izvode kretanje tj. oscilovanje sa istom frekvencijom i sa istom amplitudom (imaju istu brzinu oscilovanja).

Potkopanu masu prihvata platforma (4) rešetkastog tipa na kojoj se ostvaruje ne samo klizanje čvrste mase uz platformu, već i odbacivanje mase po principu kosog hica na dužinu od (3 ± 10) santimetara.



LEGENDA:

- 1-DOBOŠ;
- 2-NOŽ (CRTALO);
- 3-VIBRACIONI RAONIK;
- 4-OSCILATORNA PLATFORMA;
- 5-OBRTNI TOČAK;
- 6-NOSEĆI RAM (SKELET);
- 7-VEŠANJE PLATFORME (LISNATA OPRUGA);
- 8-TELESKOPSKO VRATILO;
- 9-TRANSMISIONO VRATILO;
- 10-EKSCENTARSKO VRATILO;
- 11-POGONSKA POLUGA EKSCENTRA;
- 12-TRAKTOR;
- Z1-Z2 -KONUSNI ZUPČASTI PAR.

Sl. 5. Šematski prikaz eksperimentalne oscilatorne platforme ugrađene na vibracionoj vadilici krompira tipa VWK-10

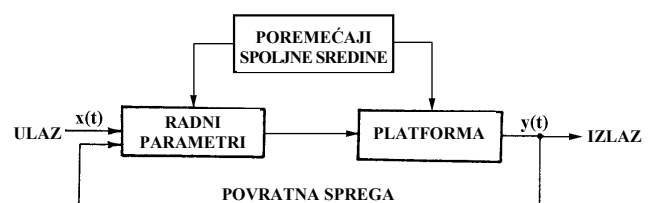
Time se veoma uspešno ostvaruje i razbijanje čvrste zemljane mase, a znatan je i protok mase koja propada kroz rešetku (sito) platforme. Ostatak mase (krompir, vreža i drugi čvrsti ostaci) padaju sa platforme na zemlju u već obrađenu vrstu (iza platforme). Visina padanja može se regulisati pomoću zadnjih obrtnih točkova (5) i obično iznosi (20 ± 30) santimetara. Sama platforma postavlja se na čvrstu ramnu konstrukciju – skelet (6), a ovešena je na četiri lisnate opruge (7) čija se krutost može podešavati pomoću specijalnog regulatora ugrađenog direktno na samim oprugama. Akumulacijom potencijalne energije u ovim oprugama ostvaruje se uravnoteženje vibracionih masa koje je veoma bitno za pravilan rad platforme, kao i za smanjenje potrebne pogonske snage.

Vadilica ovakvog tipa obično se kreće brzinom od 1 do 2 metra/sekundi, što joj omogućuje veliki protok čvrste mase, uz malu brzinu udara pri padu krompira na zemlju, čime se ne oštećuju površine krtola kao kod klasičnih dobošastih vadilica.

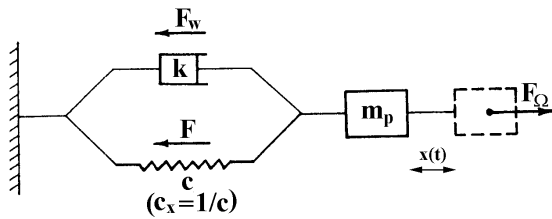
Vadilica ima visoku proizvodnost koja se obično kreće u granicama od 0,3 do 0,6 hektara / po času, u zavisnosti od sastava i vrste zemljišta. Suvo zemljište iz koga se

4. MEHANIČKI MODEL TRANSPORTA ČVRSTE MASE POMOĆU VIBRACIONE OSCILATORNE PLATFORME

Za potrebe analize konkretnog problema-transporta čvrste mase pomoću vibracione oscilatorne platforme, potrebno je posmatrati sistem: SPOLJNA SREDINA-PLATFORMA-RADNI PARAMETRI (SS-P-RP), koji je prikazan na slici 6. Na osnovu ovako definisanog sistema, moguće je dalje oformiti mehanički model prinudnog kretanja platforme u realnom vremenu (slika 7).



Sl. 6. Šematski prikaz sistema: spoljna sredina (SS)-platforma (P) - radni parametri (RP)



Sl. 7. Mehanički model platforme koja izvodi oscilatorno kretanje

Pojedine oznake prikazane na slikama 6 i 7 imaju sledeće značenje:

$x(t)$ – ulazna veličina sistema → željeno kretanje radnog organa platforme, kako bi se postigao optimalni transport čvrste mase;

$y(t)$ – izlazna veličina sistema → stvarno kretanje radnog organa platforme, u realnim radnim uslovima;

m_p – masa platforme (u toku oscilatornog kretanja);

k – prigušni element platforme (u toku oscilatornog kretanja);

c – elastični element platforme (u toku oscilatornog kretanja);

F_Q – spoljašnja poremećajna sila (prinudna sila);

F – elastična (restitucionna) sila koja se suprotstavlja deformaciji, a usmerena je uvek ka ravnotežnom položaju;

F_w – otporna sila.

Mehanički model procesa transportovanja čvrste mase na vibracionoj oscilatornoj platformi koji je prikazan na slici 7 moguće je opisati pomoću sledeće diferencijalne jednačine drugog reda, koja predstavlja matematički model spomenutog procesa iskazan u funkciji vremena (t):

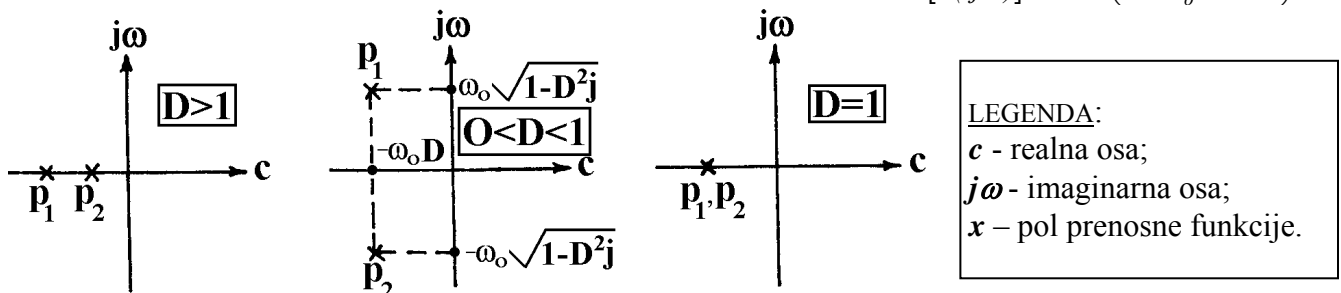
$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2D\omega_o \frac{dy}{dt} + \omega_o^2 y = c_x \cdot \omega_o^2 \cdot x(t) \quad (4)$$

D – koeficijent relativnog prigušenja;

ω_o – frekventna karakteristika oscilatornog sistema ($\omega_o = 1/T_v$);

T_v – vremenska (inerciona) konstanta platforme;

c_x – faktor pojačanja sistema ($c_x = 1/c$).



Sl. 8. "PN–dijagrami" sistema: SS–P–RP

5. DINAMIČKO PONAŠANJE SISTEMA: SPOLJNA SREDINA–PLATFORMA–RADNI PARAMETRI (SS–P–RP)

♦ Prenosna funkcija sistema:

$$G(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{c_x \cdot \omega_o^2}{p^2 + 2 \cdot D \cdot \omega_o \cdot p + \omega_o^2} \quad (5)$$

♦ Karakteristična jednačina sistema:

$$N(p) = p^2 + 2 \cdot D \cdot \omega_o \cdot p + \omega_o^2 \quad (6)$$

♦ Rešenja karakteristične jednačine sistema:

$$\begin{aligned} p_{1,2} &= \frac{-2 \cdot D \cdot \omega_o \pm \sqrt{4 \cdot D^2 \cdot \omega_o^2 - 4 \cdot \omega_o^2}}{2} = \\ &= \frac{-2 \cdot D \cdot \omega_o \pm 2 \cdot \omega_o \cdot \sqrt{D^2 - 1}}{2} = \\ &= -\omega_o \cdot (D \pm \sqrt{D^2 - 1}) \end{aligned} \quad (7)$$

• Za $D > 1$: $p_{1,2} = -\omega_o \cdot (D \pm \sqrt{D^2 - 1})$ (8)

• Za $0 < D < 1$: $p_{1,2} = -\omega_o \cdot D \pm \omega_o \cdot \sqrt{1 - D^2} \cdot j$ (9)

• Za $D = 1$: $p_1 = p_2 = -\omega_o$ (10)

Odgovarajući "PN–dijagrami" sistema SS–P–RP za sva tri prethodno navedena slučaja (u kompleksnoj ravni $p = c + j\omega$), prikazani su na slici 8.

♦ Frekventna karakteristika sistema:

$$\begin{aligned} G(j\omega) &= \frac{c_x \cdot \omega_o^2 \cdot (\omega_o^2 - \omega^2)}{(\omega_o^2 - \omega^2)^2 + 4 \cdot D^2 \cdot \omega_o^2 \cdot \omega^2} - \\ &- \frac{2 \cdot c_x \cdot D \cdot \omega_o^3 \cdot \omega}{(\omega_o^2 - \omega^2)^2 + 4 \cdot D^2 \cdot \omega_o^2 \cdot \omega^2} \cdot j \end{aligned} \quad (11)$$

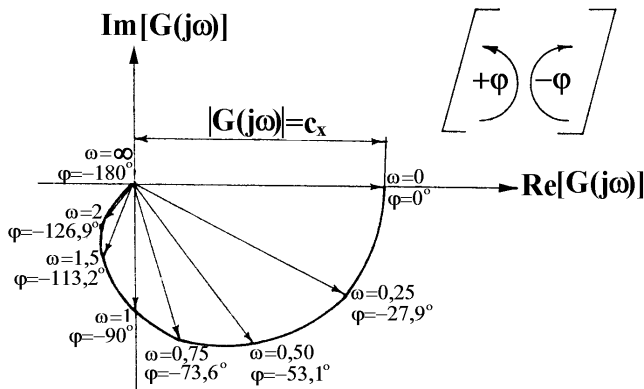
♦ Amplitudno-frekventna karakteristika (pojačanje) sistema:

$$\begin{aligned} |G(j\omega)| &= \sqrt{\text{Re}^2[G(j\omega)] + \text{Im}^2[G(j\omega)]} = \\ &= \frac{c_x \cdot \omega_o^2}{\sqrt{(\omega_o^2 - \omega^2)^2 + 4 \cdot D^2 \cdot \omega_o^2 \cdot \omega^2}} \end{aligned} \quad (12)$$

♦ Fazno-frekventna karakteristika sistema:

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{\text{Im}[G(j\omega)]}{\text{Re}[G(j\omega)]} = \arctg \left(-\frac{2 \cdot D \cdot \omega_o \cdot \omega}{\omega_o^2 - \omega^2} \right) \quad (13)$$

Odgovarajući polarni dijagram sistema SS–P–RP konstruisan na osnovu jednačine (13) prikazan je na slici 9.



Sl. 9. Polarni dijagram frekventne karakteristike $G(j\omega)$ za sistem: SS–P–RP

♦ Stabilnost sistema (Routh-ov kriterijum):

$$\begin{array}{c}
 p^2 \\
 p^1 \\
 p^0
 \end{array}
 \left| \begin{array}{cc}
 1 & \omega_o^2 \\
 2 \cdot D \cdot \omega_o & 0 \\
 \omega_o^2 & 0
 \end{array} \right. \quad (14)$$

♦ Maksimalno pojačanje sistema (za $\omega = \omega_o$, tj. za rezonantno stanje sistema):

$$|G(j\omega)|_{max} = M_{max} = \frac{c_x}{2 \cdot D} \quad (15)$$

♦ Rezerva stabilnosti sistema:

$$R_s = \frac{1}{M_{max}} = \frac{2 \cdot D}{c_x} \quad (16)$$

6. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati istraživanja i razvoja specifične visokofrekventne vibracione oscilatorne platforme, koja treba da omogući optimalni transport, razbijanje i separaciju određene čvrste mase. Rezultati su dobiveni u okviru istraživačkog projekta. Optimizacija radnih parametara platforme izvršena je na osnovu dinamičke analize i eksperimentalnog istraživanja.

- Jednačina (4) jeste diferencijalna jednačina drugog reda koja predstavlja matematički model za proces transportovanja čvrste mase pomoću vibracione oscilatorne platforme, u realnim eksploatacionim uslovima i u realnom vremenu (t).

- Na osnovu matematičkog modela (4) i prenosne funkcije (5) očigledno je da se proučavani sistem SS-P-RP u svemu ponaša kao tipičan proporcionalni "P-element" drugoga reda. U literaturi, taj element je poznat i kao oscilatorni element koji obavlja prinudne oscilacije. Odgovarajući "PN-dijagrami" ovog elementa prikazani su na slici 8.

- Na osnovu amplitudno-frekventne karakteristike sistema (12) i fazno-frekventne karakteristike sistema (13)

konstruisan je polarni dijagram frekventne karakteristike $G(j\omega)$ koji je prikazan na slici 9. Ovaj dijagram pokazuje zavisnost amplitude oscilovanja radnog organa platforme (izlazna veličina) od različitih frekvencija oscilovanja spoljašnjih poremećajnih sila (ulazna veličina). Nakon analize polarnog dijagrama mogu se konstatovati sledeće činjenice:

- * Za $\omega = 0$ i $\varphi = 0^\circ \Rightarrow$ pojačanje sistema je najveće i njegova apsolutna vrednost iznosi: $|G(j\omega)| = M(\omega) = c_x$;

- * Sa daljim porastom vrednosti ω pojačanje sistema ima tendenciju smanjivanja;

- * Za $\omega = \infty$ i $\varphi = -\pi \text{ rad} = -180^\circ \Rightarrow$ pojačanje sistema nestaje (ono poprima vrednost nula).

- Na osnovu Routh-ovog kriterijuma (14) očigledno je da je proces transportovanja čvrste mase pomoću vibracione oscilatorne platforme STABILAN PROCES, jer svi elementi u prvoj koloni Routh-ove tablice imaju isti znak (svi elementi imaju pozitivnu vrednost, jer uvek je $D > 0$ i $\omega_o > 0$).

- Na osnovu jednačine (16) REZERVA STABILNOSTI sistema SS-P-RP je utoliko veća ukoliko koeficijent relativnog prigušenja (D) ima što je moguće veću vrednost, a istovremeno, faktor pojačanja sistema (c_x) ima što je moguće manju vrednost.

7. LITERATURA

- [1] Mihajlović, G., "Utvrdjivanje optimalnih radnih parametara vibraciono-njihajućih oscilatornih platformi sa aspekta razbijanja i separacije transportovane mase", magistarski rad, Tehnički fakultet, Čačak, 1995.
- [2] Mihajlović, G., Golubović, D., "Razbijanje čvrste mase pomoću vibraciono-njihajuće oscilatorne platforme (originalni naučni rad), Simpozijum "Savremena poljoprivreda" (XXI/98, strp. 231÷236), Tehnički i Agronomski fakultet, Čačak, 1998.
- [3] Mihajlović, G., Golubović, D., "Optimizacija geometrijskih parametara vibraciono-njihajućih oscilatornih platformi, Naučno-stručni skup "Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema" (strp. 595÷600), Jahorina, Mašinski fakultet, Srpsko Sarajevo, 2002.
- [4] Golubović, D., "Visokofrekventna vibraciono-njihajuća vadilica krompira – tip VWK-10 (prototip), razvojno-istraživački projekat, Tehnički fakultet, Čačak, 1994.
- [5] Korpenko, N. A., "Seljskohozjajstvenije mašini, Kolos, Moskva, 1973.
- [6] Ageev, V. M., Rostockij, V. K., "Mašini i oborudovanije dlja seljskogo stroiteljstva, Mašgiz, Moskva, 1973.
- [7] Simić, D., "Osnovi automatskog upravljanja, Građevinska knjiga, Beograd, 1984.