



UDK: 681.586.34

ODREĐIVANJE DINAMIČNOSTI MOTORNIH VOZILA SA HIDRODINAMIČKIM PRENOSNIKOM SNAGE

Božidar V. Krstić¹, Ivan Krstić², Vojislav Krstić³

¹Mašinski fakultet - Kragujevac

²Student Elektrotehničkog fakulteta - Kragujevac

³Student Saobraćajnog fakulteta - Kragujevac

Sadržaj: Pri projektovanju transmisije vozila, koja u svom sastavu ima hidrodinamički prenosnik snage neophodna je pravilna ocena stabilnosti brzine dejstva i drugih pokazatelja prelaznih procesa koji su povezani sa nestacionarnim kretanjem tečnosti u njihovom radnom prostoru.

Cilj ovog rada je dolaženje do matematičkih izraza koji omogućavaju tačnije definisanje fizikalnosti dinamičkih procesa koji se odvijaju u radnim prostoru hidrodinamičkih prenosnika snage.

Ključne reči: hidrodinamički prenosnik snage, procesi u radnom prostoru, dinamičnost.

1. UVOD

Od dinamičnosti vozila, u velikoj meri zavisi njegova produktivnost. Ova eksploataciono tehnička karakteristika vozila zavisi pre svega, od njegovih konstruktivnih svojstava, kao što su: snaga i obrtni moment pogonskog motora, prenosni odnosi u transmisiji, koeficijent korisnog dejstva, ukupna masa vozila, primenjeni pneumaci i aerodinamičnost vozila, ali i od niza drugih faktora. Dinamičnost je u tesnoj vezi sa ostalim eksploataciono tehničkim karakteristikama vozila. Ipak presudan uticaj na dinamičnost vozila imaju karakteristike pogonskog motora i transmisije. Iz tog razloga njihovoj vezi i usaglašavanju posvećuje se posebna pažnja. Posebno interesantan i složen zadatak je usaglašavanje karakteristika pogonskog motora i transmisije, naročito ako se radi o transmisiji koja u svom sastavu ima hidrodinamičku komponentu. Imajući to u vidu vrlo značajno je definisati zavisnosti između karakteristika pogonskog motora i transmisije, koja u svom sastavu ima hidrodinamičku komponentu, i dinamičkih karakteristika vozila. Na osnovu tih zavisnosti moguće je vršiti detaljne analize uticaja pojedinih karakteristika motora i/ili transmisije na ukupnu dinamičnost vozila čiji su oni osnovni sastavni delovi.

2. MOGUĆNOST IZRAŽAVANJA DINAMIČNOSTI MOTORNIH VOZILA

Dinamičnost vozila predstavlja njegovu sposobnost prevoza putnika i/ili tereta najvećom srednjom brzinom pri određenim uslovima. Srednja brzina kretanja vozila, za određene uslove korišćenja vozila, zavisi uglavnom od intenziteta usporavanja i ubrzavanja vozila, kao i od maksimalne brzine koja se može razviti. Vrednost maksimalno moguće brzine vožnje, na određenoj deonici puta, ne zavisi samo od konstruktivnih parametara čvrstoće vozila, već i od parametara udobnosti i efikasnosti kočnog sistema. Od dinamičnosti vozila, u velikoj meri, zavisi njegova produktivnost. Dinamičnost vozila zavisi, pre svega, od njegovih konstruktivnih svojstava ali i od elemenata aktivne bezbednosti vozila (kočna svojstva, upravljivost, stabilnost, vidljivost, signalizacija), prohodnosti vozila i elemenata komformnosti vozila.

Dinamičnost se izražava često preko tzv. dinamičkog faktora, koji predstavlja odnos slobodne vučne sile na pogonskim točkovima (razlika vučne sile i otpora kretanju) i ukupne težine vozila. Dinamička karakteristika vozila grafički se najčešće predstavlja kao zavisnost dinamičkog faktora vozila i njegove brzine kretanja [1], [2]. Dinamički faktor koristi se pri upoređivanju dinamičnosti dva ili više vozila. Ukoliko je poznata dinamička karakteristika vozila moguće je odrediti maksimalnu brzinu kretanja, maksimalni uspon koji vozilo može da savlada kao i ubrzanje koje se može postići pri određenom stepenu prenosa. Dinamički faktor vozila moguće je odrediti ukoliko je poznata tzv. brzinska karakteristika motora (dijagramska zavisnost snage i obrtnog momenta od broja obrtaja motora) i osnovne karakteristike vozila (prenosni odnos transmisije pri određenim brzinama kretanja, stepen iskorišćenja transmisije, ukupne masa vozila, dinamičkog poluprečnika pogonskih točkova i aerodinamičkih karakteristika). Na osnovu dinamičkog faktora može se utvrditi koliki otpori se mogu savladati, pri određenoj brzini kretanja vozila, kao i kolika se maksimalna vrednost brzine kretanja vozila može postići pri određenoj vrednosti otpora. Ukoliko je poznata vrednost dinamičkog faktora i koeficijenta inercije obrtnih masa može se približno odrediti vrednost ubrzanja vozila.

Umesto dinamičkog faktora vrlo često se koriste izvedeni pokazatelji dinamičnosti: specifična snaga, specifični obrtni moment i intenzitet kočenja. Pri analizi dinamičnosti vozila treba imati u vidu sledeće činjenice: Samo pravilno održavan pogonski motor (u dobrom tehničkom stanju), i pri primeni adekvatnih pogonskih materijala može imati zadovoljavajuće dinamičke karakteristike; Na praznom hodu i pri punom gasu dinamičke karakteristike motora se mogu ispoljiti; Motor je najosetljiviji na komande gasa a samim tim i vozilo najživlje pri srednjim brzinama njegovog kretanja.

Osnovni pokazatelj manevarskih sposobnosti vozila je ubrzanje koje se može ostvariti. Dinamičnost motora, u velikoj meri, zavisi od organizovanosti njegovih radnih procesa. Pri preticanju vozilom, neophodno je povećanje dovoda goriva u motoru. To dovodi do pojave dima, povećane potrošnje goriva i smanjenja veka motora. U ovom slučaju ne vršiti nagli dovod goriva, već najmanje u dve faze. Između ove dve faze neophodno je postojanje pauze koja omogućava motoru da prihvati povećanu količinu goriva. Praksa je pokazala da sa povećanjem broja cilindara u motoru povećava se njegova dinamičnost, kao i da su oto motori (za istu snagu) lakši i dinamičniji od dizel

motora. Najveći uticaj na dinamičnost radnog procesa motora ima sistem za napajanje gorivom. Kvalitet turbogrupe, kod natpunjenih motora, u velikoj meri, utiče na njihovu dinamičnost. Svaki motor ima oblast optimalnih ubrzanja. Na osnovu prethodno rečenog može se zaključiti da je pogonski motor vozila izvorni nosilac njegove dinamičnosti. Iz tog razloga neophodno je obratiti posebnu pažnju na njegovu specifičnu snagu i obrtni moment. Specifična snaga vozila je odnos nominalne snage motora i ukupne mase vozila. Koristi se kao pokazatelj vučno brzinskih svojstava vozila. Vrednost specifične snage vozila zavisi od tipa i namene vozila. Za teretna vozila najveće mase, prema postojećim propisima o regulisanju saobraćaja ne propisuje se samo maksimalno dozvoljena masa i gabariti već i minimalno dozvoljena specifična snaga.

Cilj ograničavanja minimalne specifične snage jeste ubrzavanje saobraćaja i povećanje propusne moći puteva. Minimalne vrednosti specifične snage, za određeni tip vozila, zakonom su propisane. Kod postojećih putničkih vozila (naročito putničkih vozila visoke klase), specifična snaga je mnogo veća od minimalno dozvoljene. To nije slučaj sa teretnim vozilima i vozilima sa prikolicom. Njihova specifična snaga je bliska minimalno dozvoljenoj. Specifični obrtni moment predstavlja odnos maksimalnog obrtnog momenta motora i ukupne mase. Vrednost specifičnog obrtnog momenta motora, koji se ugrađuje u vozila, zakonom su propisane. Veće vrednosti specifične snage i specifičnog obrtnog momenta ukazuju na veću dinamičnost vozila, odnosno bolje vučno-brzinske karakteristike (ubrzavanje, savlađivanje uspona, maksimalna brzina itd.). Duži niz godina postoji trend povećanja specifične snage i specifičnog obrtnog momenta motora koji se ugrađuje u vozila. Dinamičnost vozila se smanjuje sa dužinom njegove eksploatacije. Osnovni faktor koji prouzrokuje pogoršavanje dinamičnosti vozila jeste pogoršavanje izlaznih karakteristika njihovih podsistema usled povećanja stepena istrošenja delova određenih sklopova.

3. USPOSTAVLJANJE ZAVISNOSTI IZMEĐU KARAKTERISTIKA MOTORA, HIDRODINAMIČKOG MENJAČA I DINAMIČKIH KARAKTERISTIKA VOZILA

Pokretanje vozila s mesta i njegovo ubrzavanje u određenom stepenu prenosa, pri primeni klasične transmisije, najčešće se analizira kroz tri etape: Od trenutka pokretanja vozila s mesta posle uključivanja glavne spojnice do izjednačavanja ugaonih brzina njenih pogonskih i gonjenih delova; Od trenutka prestanka proklizavanja tarućih površina glavne spojnice do postizanja željenog broja obrtaja motora; Od trenutka isključivanja glavne spojnice, posle postignutog željenog broja obrtaja motora, do njenog uključivanja pri prelazu na sledeći prenosni odnos u menjaču. Vrednost ubrzanja vozila, u prethodno navedenim etapama, za vozila sa zupčastim menjačem, određuje se primenom poznate metodologije [2]. Ukoliko vozilo poseduje transmisiju koja u svom sastavu ima HDPS, postupak određivanja njegovog ubrzanja postaje mnogo složeniji.

Pri primeni transmisije sa HDPS pokretanje vozila s mesta i njegovo ubrzavanje može se analizirati po sledećim etapama: a) Prva etapa počinje od trenutka aktiviranja glavne spojnice, kada pogonski motor radi na praznom hodu do postizanja ugaone brzine obrtanja pumpnog kola turboprenosnika pri kojoj još uvek nije došlo do znatne promene vrednosti koeficijenta obrtnog momenta, kome odgovara vrednost prenosnog odnosa i_1 . Dosadašnja istraživanja pokazuju da pri malim vrednostima hidrauličkog prenosnog

odnosa HDPS ne dolazi do bitne promene vrednosti koeficijenta obrtnog momenta ($\lambda_1 \cong \lambda_o$). Druga etapa se nastavlja na prvu i traje do trenutka prelaza režima rada HDM na režim rada HDS ($\eta \cong i_2$). Treba naglasiti da HDM, koji se primenjuju na vozilima, skoro uvek su sa mogućnošću prelaska sa režima rada HDM na režim rada HDS. Osnovni razlog za to leži u činjenici da se ovakvim rešenjima poboljšava stepen korisnosti ovakve transmisije. Pri matematičkom modeliranju procesa polaska i ubrzanja vozila koje poseduje HDM ključnu ulogu imaju tzv. spoljašnje karakteristike HDM: koeficijent promene obrtnog momenta i prozračnost.

Koeficijent momenta, kao jedna od spoljašnjih karakteristika HDM, pokazuje kako HDM opterećuje motor i kako on prima opterećenje preko ostalih delova transmisije vozila od pogonskih točkova. Njegova vrednost zavisi prvenstveno od oblika radnog prostora HDM (oblik meridijanskog preseka, broja, oblika i položaja lopatica kola, rasporeda lopatičnih kola u meridijanskom preseku) ali i od njegovih kinematskih i hidrodinamičkih parametara [1], [2]. Tok promene ovog koeficijenta najčešće se određuje eksperimentalno ali se može izraziti i u analitičkom obliku, najčešće preko prozračnosti (Π) i prenosnog odnosa HDM (i). Koeficijent promene obrtnog momenta predstavlja odnos obrtnih momenata turbinskog i pumpnog kola HDM u funkciji režima rada. Teorijska istraživanja u ovoj oblasti [1], [2] dovela su do sledećih izraza za određivanje vrednosti koeficijenta promene obrtnog momenta i koeficijenta momenta:

$$K = K_1 - \frac{K_1 - 1}{\Delta i} \cdot i \quad (1)$$

$$\lambda_1 = \lambda_o \cdot \left(1 - \frac{\Pi - 1}{\Pi} \cdot \frac{i}{\Delta i}\right) \quad (2)$$

Pri analizi procesa ubrzanja vozila koje poseduje HDPS polazi se od pretpostavke da je moment otpora spoljnih sila, sveden na HDM nepromenjen. Uzimajući u obzir veći broj parametara, koji utiču na prenos snage HDM, mogu se napisati diferencijalne jednačine kojima se opisuje promena ugaonih brzina obrtanja ulaznog i izlaznog lopatičnog kola HDM u obliku:

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{b_o}{J_1} + \frac{b_1}{J_1} \cdot \omega_1 - \frac{(b_2 + \lambda_o)}{J_1} \cdot \omega_1^2 + \frac{\lambda_o}{\Delta i} \cdot \frac{\Pi - 1}{\Pi} \cdot \frac{1}{J_1} \cdot \omega_1 \cdot \omega_2 \quad (3)$$

$$\frac{d\omega_2}{dt} = \frac{K_1 \cdot \lambda_o}{J_2} \cdot \omega_1^2 - \frac{\lambda_o}{J_2} \cdot \left(\frac{K_1}{\Delta i} \cdot \frac{\Pi - 1}{\Pi} + \frac{K_1 - 1}{\Delta i}\right) \cdot \omega_1 \cdot \omega_2 + \frac{\lambda_o}{J_2} \cdot \frac{\Pi - 1}{\Pi} \cdot \frac{K_1 - 1}{\Delta i^2} \cdot \omega_2^2 - \frac{M_o}{J_2} \quad (4)$$

Korišćenjem izraza (1) i (2) dobija se diferencijalna jednačina u obliku:

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{\frac{d\omega_1}{dt} - \frac{b_o}{J_1} - \frac{b_1}{J_1} \cdot \omega_1 + \frac{(b_2 + \lambda_o)}{J_1}}{\frac{\lambda_o}{\Delta i} \cdot \frac{\Pi - 1}{\Pi} \cdot \frac{\omega_1}{J_1}} \right) = \\ & = \frac{K_1 \cdot \lambda_o}{J_2} \cdot \omega_1^2 - \frac{\lambda_o}{J_2} \cdot \left(\frac{K_1}{\Delta i} \cdot \frac{\Pi - 1}{\Pi} + \frac{K_1 - 1}{\Delta i}\right) \cdot \omega_1 \cdot \omega_2 + \frac{\lambda_o}{J_2} \cdot \frac{\Pi - 1}{\Pi} \cdot \frac{K_1 - 1}{\Delta i^2} \cdot \omega_2^2 - \frac{M_o}{J_2} \end{aligned} \quad (5)$$

Rešavanjem diferencijalne jednačine (5) dobija se izraz za određivanje ugaone brzine obrtanja ulaznog vratila u obliku:

$$\omega_1 = \frac{b_o}{J_1} \cdot \frac{\frac{J_1}{b_o} \cdot \left(\frac{J_2}{J_1} \cdot \frac{\Delta i}{K_1 - 1} + 2 \right) \cdot (\omega_1 - \omega_{1o})}{\frac{J_2}{J_1} \cdot \frac{\Delta i}{K_1 - 1} + 2} \quad (6)$$

Korišćenjem izraza (2) i (3) dobija se:

$$\begin{aligned} \omega_2 = & \omega_{2o} \cdot (1 + A \cdot t + A^2 \cdot t^2 + A^3 \cdot t^3) + \\ & + \frac{\lambda_o}{J_2} \cdot \frac{t^3}{3} \cdot \left[\left(\frac{M_o}{J_2} \right)^2 \cdot \frac{\Pi - 1}{\Pi} \cdot \frac{K_1 - 1}{\Delta i^2} + \frac{M_o}{J_2} \cdot B \cdot \left(\frac{K_1}{\Delta i} \cdot \frac{\Pi - 1}{\Pi} + \frac{K_1 - 1}{\Delta i} \right) + K_1 \cdot B^2 \right] - \\ & - \frac{M_o}{J_2} \cdot t \cdot (1 + A \cdot t + \frac{4}{3} \cdot A^2 \cdot t^2) - \frac{B}{2} \cdot A \cdot \Delta i \cdot t^2 \cdot \left(\frac{K}{K_1 - 1} + \frac{\Pi}{\Pi - 1} \right) \cdot \left(1 + \frac{4}{3} \cdot A \cdot t \right) \end{aligned} \quad (7)$$

Oznaka A u izrazu (7) predstavlja sledeći izraz:

$$A = \omega_{2o} \cdot \frac{\lambda_o}{J_2} \cdot \frac{K_1 - 1}{\Delta i^2} \cdot \frac{\Pi - 1}{\Pi} \quad (8)$$

Obrtni moment pumpnog i turbinskog kola može se izraziti u obliku:

$$M_p = b_o \cdot \frac{\frac{J_2}{J_1} \cdot \frac{\Delta i}{K_1 - 1} + 1}{\frac{J_2}{J_1} \cdot \frac{\Delta i}{K_1 - 1} + 2} + b_1 \cdot \omega_1 - b_2 \cdot \omega_1^2 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} M_t = & \omega_{2o} \cdot A \cdot J_2 \cdot (1 + 2 \cdot A \cdot t + 3 \cdot A^2 \cdot t^2) + \\ & + 2 \cdot M_o \cdot A \cdot t \cdot (1 + 2 \cdot A \cdot t) - J_2 \cdot B \cdot \Delta i \cdot \left(\frac{K_1}{K_1 - 1} + \frac{\Pi}{\Pi - 1} \right) \cdot A \cdot t \cdot (1 + 2 \cdot A \cdot t) + \\ & + \lambda_o \cdot t^2 \cdot \left[\left(\frac{M_o}{J_2} \right)^2 \cdot \frac{\Pi - 1}{\Pi} \cdot \frac{K_1 - 1}{\Delta i^2} + \frac{M_c}{J_2} \cdot B \cdot \left(\frac{K_1}{\Delta i} \cdot \frac{\Pi - 1}{\Pi} + \frac{K_1 - 1}{\Delta i} \right) + K_1 \cdot B^2 \right] \end{aligned} \quad (10)$$

Izrazima (1-10) predstavljene su zavisnosti između karakteristika motora i hidrodinamičkog menjača i dinamičkih karakteristika vozila.

ZAKLJUČAK

Prikazanim matematičkim modelom, povezane su karakteristike pogonskog motora vozila i hidrodinamičkog menjača sa dinamičkim karakteristikama vozila. Za analizu uticaja svojstava hidrodinamičkog menjača, u drugoj fazi pokretanja vozila može se koristiti promena ugaone brzine obrtanja turbinskog kola hidrodinamičkog menjača, koja je funkcija dve promenljive: vremena ubrzavanja vozila (t) i koeficijenta promene obrtnog momenta hidrodinamičkog menjača (K_1). Može se takođe zaključiti da na dinamičnost vozila presudan uticaj imaju karakteristike pogonskog motora i hidrodinamičkog menjača. Iz tog razloga izboru pogonskog motora i transmisije, ali i njihovoj vezi i usaglašenosti, za određene oblasti primene, treba posvetiti posebnu pažnju. Korišćenjem izloženog matematičkog modela moguće je vršiti detaljnu analizu uticaja pojedinih karakteristika motora i transmisije na ukupnu dinamičnost vozila.

LITERATURA

- [1] Krstić B. (1990): Teorijsko i eksperimentalno istraživanje polja brzina i polja pritisaka u radnom prostoru turboprenosnika, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac.
- [2] Krstić B. (2003): Hidrodinamički prenosnici snage u agregatima motornih vozila, monografija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac.

DETERMINATION OF DYNAMISM MOTOR VEHICLES VITH OF HYDRODYNAMIC POWER TRANSMITTERS

Božidar V. Krstić¹, Ivan Krstić², Vojislav Krstić³

¹*Mašinski fakultet - Kragujevac*

²*Student Elektrotehničkog fakulteta - Kragujevac*

³*Student Saobraćajnog fakulteta - Kragujevac*

Abstract: In process of projecting of vehicle transmission, which contains hydrodynamic power transmitter, is necessary to correct estimate stability of velocity action. It is also necessary to estimate other factors of transitional processes of unstationary fluid movement in their work area.

Goal of this work is to determinate mathematical formulas that could be used for definition of physicality of dynamic processes in work area of hydrodynamic power transmitters.

Key words: *hydrodynamic power transmitter, processes in functioning area, dynamics.*