Dr Miroslav Demić,
profesor, dipl. inž.*
Mašinski fakultet,
Kragujevac

PRILOG UTVRĐIVANJU POUZDANOSTI NOVE METODE ZA IDENTIFIKACIJU OSCILATORNIH PARAMETARA MOTORNIH VOZILA

UDC: 629.113.3/.5.018:534.231.08

Rezime:

Identifikacija oscilatornih parametara motornih vozila predstavlja složen naučno-tehnički problem. U literaturi postoji čitav niz pokušaja da se razviju metode za identifikaciju parametara tehničkih sistema, ali nijedna nema opštiji značaj, posebno u uslovima postojanja nelinearnosti, što je karakteristično za motorna vozila. U radu je prikazana metoda sa kritičkim osvrtom na pouzdanost njene primene, a zasnovana je na minimizaciji razlike između rezultata simulacije (modela) i eksperimenta.

Ključne reči: vozilo, oscilacije, parametri, identifikacija.

A CONTRIBUTION TO THE DETERMINATION OF RELIABILITY OF A NEW IDENTIFICATION METHOD OF MOTOR VEHICLES OSCILLATORY PARAMETERS

Summary:

The identification of an oscillatory parameter of motor vehicles is a very complex scientific and technical problem. There are more and less successful steps in developing methods for the identification of technical systems in references. None of them has global importance, especially in nonlinear conditions, which are common for motor vehicles. The presentation of one method is given in the paper. The author developed a method considering critically its application reliability. The method is based upon the minimization of differences between the modeling and experimental results.

Key words: vehicle, oscillations, parameters, identification.

Uvod

Motorna vozila su veoma kompleksni dinamički neholonomni sistemi. U praksi postoje dva osnovna prilaza za analizu njihovih dinamičkih karakteristika:

- analitički,
- eksperimentalni.

Prvi se, najčešće, zasniva na simulaciji uz korišćenje modela vozila

kao sistema sastavljenog od diskretnih masa, međusobno povezanih elasto-prigušnim elementima, čije oscilacije opisuju obične diferencijalne jednačine, odnosno sistema elastičnih tela koje opisuju parcijalne diferencijalne jednačine ili konačni elementi. Ove analize zahtevaju široku primenu elektronskih računara.

Drugi prilaz zahteva ispitivanje prototipova vozila u eksploatacionim uslovima ili laboratoriji [14], uz korišćenje složene merne opreme. To omogućava dobijanje realnijih podataka, a

* Akademik Transporta Ruske Federacije.

nedostaci su visoka cena i činjenica da se rezultati odnose samo na konkretno ispitano vozilo.

U praksi se javlja potreba da se na osnovu eksperimentalnih rezultata identifikuju parametri vozila, u literaturi poznato pod nazivom »parametarska identifikacija« [14]. Pri tome se koriste dve mogućnosti [2,7—9, 11, 13—17]:

— metod »crne kutije«, kada se na osnovu eksperimentalnih podataka identifikuju nepoznati parametri u pretpostavljenim matematičkim izrazima,

— metod unapred izabranog modela poznate strukture, a nepoznatih fizičkih parametara.

Ocenjuje se da je drugi prilaz prihvatljiviji kada su motorna vozila u pitanju, jer su modeli motornih vozila u literaturi dobro obrađeni [11, 16, 18].

Procedura identifikacije parametara sastoji se od tri faze [7—9]:

— izbora »ulaznih« i »izlaznih« veličina za konkretno vozilo i njihovo eksperimentalno registrovanje na osnovu iskustva;

— definisanja strukture oscilatornog modela vozila nepoznatih parametara,

— određivanja nepoznatih parametara primenom metoda nelinearnog programiranja.

Osnove metode

U najopštijem slučaju, ideja metode identifikacije parametara, prikazana na slici 1, zasniva se na upoređenju eksperimentalnih rezultata sa rezultatima dobijenim simulacijom — uz pomoć modela.

Pretpostaviće se da je poznato vozilo čije parametre treba identifikova-

ti. Na osnovu iskustva izaberu se »ulazne« i »izlazne« veličine. »Ulaze« obično predstavljaju pobudne funkcije

Sl. 1 — Ideja identifikacije oscilatornih parametara motornih vozila

ili kretanja karakterističnih tačaka vozila, a »izlaze«, najčešće, kretanja karakterističnih tačaka posmatranog vozila. Imajući u vidu probleme koji mogu nastupiti u toku registrovanja pobudnih veličina, često se koriste relativne veličine (prenosne funkcije, krosspektri, kompleksne prenosne karakteristike i sl.) [7—9].

U toku eksperimenta javljaju se greške koje obično iznose oko 2 % za svaki merni uređaj, što često iznosi 6—10 %, u zavisnosti od broja uređaja u mernom lancu. Ovaj problem se u praksi rešava tako što se ukupna greška aproksimira »belim« šumom [1, 4, 5].

U sledećem koraku usvaja se struktura modela vozila. Iskustvo ukazuje na potrebu da model mora da ima toliko složenu strukturu, koja će omogućiti simulaciju eksperimentom izmerenih veličina. Na osnovu strukture modela, formiraju se diferencijalne jednačine koje opisuju njegovo oscilatorno kretanje. S obzirom na složenost modela i stohastičke pobude, diferencijalne jednačine se moraju rešavati numerički, pri čemu se mogu javljati greške od oko 2 % [7—9]. Kao i u slučaju eksperimenta, i ovde se može smatrati da su greške oblika »belog šuma«.

Na kraju se vrši identifikacija nepoznatih oscilatornih parametara minimizacijom razlike između eksperimentalnih rezultata i modela.

Bliža razrada opisane metode prikazana je na slici 2. S obzirom na to da je detaljno opisan razvijeni metod za identifikaciju oscilatornih parametara motornih vozila [7—9], ovde će to biti učinjeno u najkraćim crtama.

Na početku se obrađuju eksperimentalni podaci za n »ulaznih« i m »izlaznih« veličina, pri čemu se u konkretnom slučaju koristi metoda brze Furijecove transformacije. U nastavku se, na osnovu usvojenog modela vozila, integrišu diferencijalne jednačine metodom Kuta-Mersona i definišu iste »ulazne« i »izlazne« veličine, kao i u slučaju eksperimenta. Na kraju se definiše funkcija cilja (razlika kvadrata »pretpostavljeno« — »ostvareno«) čijom se minimizacijom metodama ne-

linearnog programiranja (u ovom slučaju metodom Hooke-Jeevesa i sličnijih kaznenih funkcija) izračunavaju (identifikuju) nepoznati oscilatorni parametri vozila.

Analiza pouzdanosti metode

U [7—9] metoda je detaljno testirana korišćenjem različitih postupaka. Ovde se ocenjuje celishodnim da se ona testira na osnovu identifikacije nepoznatih parametara s obzirom na: diferencijalne jednačine, model i eksperiment.

Verifikacija uz korišćenje diferencijalnih jednačina

Ovaj postupak je poznat iz [17], a polazi se od diferencijalne jednačine poznatih parametara, koja se nu-

Sl. 2 — Blok dijagrama metode za identifikaciju oscilatornih parametara motornih vozila

merički rešava. Zatim se pretpostavlja da parametri u toj diferencijalnoj jednačini nisu poznati, pa se identifikuju iz uslova minimalne razlike rešenja diferencijalne jednačine u jednom i drugom slučaju. Postupak će biti objašnjen na nekoliko primera.

1. Neka je data diferencijalna jednačina sa poznatim parametrima:

$$\dot{y} = x_1 \sin \omega t$$

$$x_1 = 10; \omega = 20; t = 10s$$

Za granične uslove:

$$-100 < x_1 < 200,$$

primenom opisane metode identifikovano je $x_1 = 10,000$ a greška je 0,000.

2. Posmatrač se sledeća diferencijalna jednačina:

$$\dot{y} = x_1 \sin \omega t + x_2^2 \sin \omega t$$

$$x_1 = 10; x_2 = 10$$

Za granične uslove:

$$-100 < x_1, x_2 < 200,$$

izračunati su: $x_1 = 10,000$; $x_2 = 10,000$ a greška je 0,000.

3. Polazna diferencijalna jednačina za ovaj slučaj je:

$$\dot{y} = x_1 \text{rnd} + x_2^2 \text{rnd} + x_3^3 \text{rnd}$$

$$x_1 = 10; x_2 = 5; x_3 = 20,$$

gde su rnd slučajni brojevi ravnomerno raspoređeni u intervalu (0, 1).

Za granične uslove:

$$-100 < x_1, x_2, x_3 < 200,$$

izračunate su vrednosti: $x_1 = 10,000$; $x_2 = 5,000$; $x_3 = 20,000$ sa greškom 0,000.

4. Posmatrač se i sledeća diferencijalna jednačina:

$$y = x_1 y + \sin \omega t$$

$$x_1 = 10,$$

uz granične uslove iz 1. izračunato je $x_1 = 10,000$ uz grešku 0,000.

Na osnovu analize polaznih i identifikacionih vrednosti parametara može se zaključiti da postoji velika saglasnost među njima. Međutim, prethodni primeri su relativno jednostavni, pa je ocenjeno celishodnim da testiranje treba izvršiti na složenijim primerima.

Verifikacija uz korišćenje oscilatornih modela vozila

Radi analize pouzdanosti razvijene metode polazi se od modela poznatih parametara, a identifikacijom uz korišćenje istog modela nepoznatih parametara, oni se određuju iz uslova minimizacije razlike. Ovde će se, radi ilustracije, koristiti model iz [7] koji je prikazan na slici 3. Polazni parametri dati su u tabeli 1.

Ovaj model omogućava analizu sledećih kretanja:

a) vertikalnih oscilacija karoserije $q(5)$, valjanja $q(6)$ i galopiranja $q(7)$;

b) vertikalnih oscilacija točkova $q(1)$, $q(2)$, $q(3)$ i $q(4)$.

Model osciluje pod dejstvom neravnina puta slučajnog karaktera, koje su detaljno opisane u [7—9].

Imajući u vidu sliku 3 mogu se napisati izrazi za deformacije elastičnih elemenata:

a) opruga

$$\begin{aligned} D_1 &= q(5) + l_1 q(7) - s q(6) - q(1) \\ D_2 &= q(5) + l_1 q(7) + s q(6) - q(2) \\ D_3 &= q(5) - l_2 q(7) - s q(6) - q(3) \\ D_4 &= q(5) - l_2 q(7) + s q(6) - q(4) \end{aligned} \quad (1)$$

Tabela 1

Polazni oscilatorni parametri modela vozila

X(1) [N/m]	75000
X(2) [N/m ²]	0 (40000)
X(3) [N/m ³]	0 (20000)
X(4) [N/m]	75000
X(5) [N/m ²]	0 (50000)
X(6) [N/m ³]	0 (20000)
X(7) [N/m]	7500
X(8) [N/m ³]	0 (6000)
X(9) [Ns/m]	2500
X(10) [Ns ² /m ²]	0 (800)
X(11) [N/m]	7500
X(12) [N/m ³]	0 (6000)
X(13) [Ns/m]	1000
X(14) [Ns ² /m ²]	0 (800)
X(15) [kg]	27,5
X(16) [kg]	25
X(17) [kg]	1090
X(18) [kgm ²]	1680
X(19) [kgm ²]	53
l ₁ [m]	1,4
l ₂ [m]	1,1
s [m]	0,7

b) pneumatika

$$\begin{aligned}
 D_5 &= q(1) - q_{01}(t) \\
 D_6 &= q(2) - q_{02}(t) \\
 D_7 &= q(3) - q_{03}(t) \\
 D_8 &= q(4) - q_{04}(t)
 \end{aligned} \quad (2)$$

Relativne brzine klipa u odnosu na telo amortizera definišu sledeći izrazi:

$$\begin{aligned}
 D_9 &= \dot{q}(5) + l_1 \dot{q}(7) - s \dot{q}(6) - \dot{q}(1) \\
 D_{10} &= \dot{q}(5) + l_1 \dot{q}(7) + s \dot{q}(6) - \dot{q}(2) \\
 D_{11} &= \dot{q}(5) - l_2 \dot{q}(7) - s \dot{q}(6) - \dot{q}(3) \\
 D_{12} &= \dot{q}(5) - l_2 \dot{q}(7) + s \dot{q}(6) - \dot{q}(4)
 \end{aligned} \quad (3)$$

Na osnovu [7—10, 16, 18], zane-marujući prigušenje u pneumaticima, mogu se napisati izrazi za sile u:

a) pneumaticima

$$\begin{aligned}
 F_1 &= X(1)D_5 + X(2)D_5^2 - X(3)D_5^3 \\
 F_2 &= X(1)D_6 + X(2)D_6^2 - X(3)D_6^3 \\
 F_5 &= X(4)D_7 + X(5)D_7^2 - X(6)D_7^3 \\
 F_6 &= X(4)D_8 + X(5)D_8^2 - X(6)D_8^3
 \end{aligned} \quad (4)$$

b) oprugama

$$\begin{aligned}
 F_3 &= X(7)D_1 + X(8)D_1^3 \\
 F_4 &= X(7)D_2 + X(8)D_2^3 \\
 F_7 &= X(11)D_3 + X(12)D_3^3 \\
 F_8 &= X(11)D_4 + X(12)D_4^3
 \end{aligned} \quad (5)$$

c) amortizerima

$$\begin{aligned}
 F_9 &= X(9)D_9 + X(10)D_9^2 \text{sign}(D_9) \\
 F_{10} &= X(9)D_{10} + X(10)D_{10}^2 \text{sign}(D_{10}) \\
 F_{11} &= X(13)D_{11} + X(14)D_{11}^2 \text{sign}(D_{11}) \\
 F_{12} &= X(13)D_{12} + X(14)D_{12}^2 \text{sign}(D_{12})
 \end{aligned} \quad (6)$$

Primenom D'Alamberovog principa i slike 4, napisane su diferencijalne jednačine koje opisuju male oscilacije modela vozila oko ravnotežnog položaja:

$$\begin{aligned}
 \ddot{q}(1) &= \frac{F_3 + F_9 - F_1}{X(15)} \\
 \ddot{q}(2) &= \frac{F_4 + F_{10} - F_2}{X(15)}
 \end{aligned}$$

Sl. 3 — Oscilatorni model vozila

Sl. 4 — Sile koje deluju na oscilatorni model vozila

$$\ddot{q}(3) = \frac{F_7 + F_{11} - F_5}{X(16)}$$

$$\ddot{q}(4) = \frac{F_8 + F_{12} - F_6}{X(16)}$$

$$\ddot{q}(5) = - \frac{F_3 + F_9 + F_4 + F_{10} + F_7 + F_{11} + F_8 + F_{12}}{X(17)}$$

$$\ddot{q}(6) = \frac{[F_3 + F_9 + F_7 + F_{11} - F_4 - F_{10} - F_8 - F_{12}]s}{X(18)} \quad (7)$$

$$\ddot{q}(7) = \frac{(F_7 + F_{11} + F_8 + F_{12})l_2 - (F_3 + F_9 + F_4 + F_{10})l_1}{X(19)}$$

gde su $q(1)$ do $q(7)$ odgovarajuća oscilatorna ubrzanja.

Radi primene metode, korišćene su granične vrednosti očekivanih parametara, koje su date u tabeli 2.

Radi identifikacije nepoznatih oscilatornih parametara korišćena je funkcija cilja [7].

$$Z = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^{27} |(H_{5i}(j)^p - H_{5i}(j)^0)^2 + (H_{6i}(j)^p - H_{6i}(j)^0)^2 + (H_{7i}(j)^p - H_{7i}(j)^0)^2| \quad (8)$$

gde su:

$H_{5i}^p(j), H_{5i}^0(j)$ — prenosne funkcije: vertikalne oscilacije karoserije-vertikalne oscilacije točkova (»pretpostavljeno« — »ostvareno«),

$H_{6i}^p(j), H_{6i}^0(j)$ — prenosne funkcije: valjanje karoserije — vertikalne oscilacije točkova (»pretpostavljeno« — »ostvareno«),

$H_{7i}^p(j), H_{7i}^0(j)$ — prenosne funkcije galopiranje karoserije — vertikalne oscilacije točkova (»pretpostavljeno« — »ostvareno«).

Tabela 2

Granične vrednosti oscilatornih parametara za dati model vozila

$6000 \leq X(1) \leq 120000$	[N/m]
$30000 \leq X(2) \leq 60000$	[N/m ²]
$10000 \leq X(3) \leq 25000$	[N/m ³]
$60000 \leq X(4) \leq 120000$	[N/m]
$30000 \leq X(5) \leq 60000$	[N/m ²]
$10000 \leq X(6) \leq 25000$	[N/m ³]
$15000 \leq X(7) \leq 40000$	[N/m] ●
$2000 \leq X(8) \leq 8000$	[N/m ²]
$1000 \leq X(9) \leq 6000$	[N/m ³]
$500 \leq X(10) \leq 1000$	[Ns/m]
$15000 \leq X(11) \leq 40000$	[N/m]
$2000 \leq X(12) \leq 8000$	[N/m ²]
$1000 \leq X(13) \leq 6000$	[Ns/m]
$500 \leq X(14) \leq 1000$	[Ns ² /m ²]
$15 \leq X(15) \leq 50$	[kg]
$15 \leq X(16) \leq 50$	[kg]
$800 \leq X(17) \leq 3000$	[kg]
$800 \leq X(18) \leq 3000$	[kgm ²]
$500 \leq X(19) \leq 2000$	[kgm ²]

Sve prenosne funkcije izračunate su primenom Furijeove transformacije za 27 centralnih terčno-oktavnih učestanosti u intervalu 0,19—25 Hz, pri čemu su rešenja diferencijalnih jednačina dobijena numerički metodom Kutta-Mersona.

Primenom računara HP 9000/835-SE izračunate su vrednosti nepoznatih parametara, koje su date u tabeli 3. Njihove dimenzije su iste kao i dimenzije date u tabelama 1 i 2.

Tabela 3

Identifikovani oscilatorni parametri modela

$X(1) = 9,07200 \cdot 10^4$	$X(11) = 2,7500 \cdot 10^4$
$X(2) = 4,5000 \cdot 10^4$	$X(12) = 5,000 \cdot 10^3$
$X(3) = 1,7500 \cdot 10^4$	$X(13) = 3,500 \cdot 10^3$
$X(4) = 9,0000 \cdot 10^4$	$X(14) = 7,5000 \cdot 10^2$
$X(5) = 4,5000 \cdot 10^4$	$X(15) = 3,25000 \cdot 10^3$
$X(6) = 1,7500 \cdot 10^4$	$X(16) = 3,25000 \cdot 10^1$
$X(7) = 2,7500 \cdot 10^4$	$X(17) = 1,90000 \cdot 10^3$
$X(8) = 5,0000 \cdot 10^3$	$X(18) = 1,90000 \cdot 10^3$
$X(9) = 3,5000 \cdot 10^3$	$X(19) = 1,25000 \cdot 10^3$
$X(10) = 7,5000 \cdot 10^2$	Min. vred. funkc. cilja 2,48997058501

Sl. 5 — Prenosna funkcija H_{51}

Radi ilustracije, na slikama 5—7 uporedno su dati rezultati dobijeni korišćenjem poznatih i identifikovanih parametara. Na osnovu podataka iz tabele 1 i 3, kao i sa slika 5—7 može se zaključiti da postoje razlike između polaznih i identifikovanih oscilatornih parametara, što će biti predmet kasnije analize.

Tabela 4

Oscilatorni i težinski parametri prototipa

$X(1)$ [N/m]	320000
$X(2)$ [N/m ²]	0
$X(3)$ [N/m ³]	0
$X(4)$ [N/m]	320000
$X(5)$ [N/m ²]	0
$X(6)$ [N/m ³]	0
$X(7)$ [N/m]	54320
$X(8)$ [N/m ³]	0
$X(9)$ [Ns/m]	1230
$X(10)$ [Ns ² /m ²]	570
$X(11)$ [N/m]	49370
$X(12)$ [N/m ³]	0
$X(13)$ [Ns/m]	920
$X(14)$ [Ns ² /m ²]	380
$X(15)$ [kg]	26
$X(16)$ [kg]	52
$X(17)$ [kg]	2760
$X(18)$ [kgm ²]	5100
$X(19)$ [kgm ²]	2010
l_1 [m]	1,43
l_2 [m]	1,37
s [m]	0,85

Eksperimentalna verifikacija

Radi analize pouzdanosti razvijene metode izvršeno je eksperimentalno istraživanje [19], kako bi se utvr-

dile vertikalne vibracije karakterističnih tačaka poda karoserije vozila, čiji su parametri dati u tabeli 4.

Sl. 6 — Prenosna funkcija H_{61}

Sl. 7 — Prenosna funkcija H_{71}

Sl. 9 — Vertikalna oscilatorna ubrzanja tačke A

Sl. 10 — Vertikalna oscilatorna ubrzanja tačke B

Sl. 8 — Šema postavljanja merne opreme na motorno vozilo

Šema merne opreme prikazana je na slici 8 a eksperimentalni rezultati delimično dati na slikama 9 i 10.

Na osnovu oscilatornog modela definisana je funkcija cilja za identifikaciju oscilatornih parametara u obliku:

$$Z = \sum_{j=1}^{27} \{ [\ddot{q}_A^e(j) - \ddot{q}_A^i(j)]^2 + [\ddot{q}_B^e(j) - \ddot{q}_B^i(j)]^2 \} \tag{9}$$

Tabela 5

Konstruktivna ograničenja oscilatornih parametara posmatranog vozila

$60000 \leq X(1) \leq 800000$	[N/m]
$0 \leq X(2) \leq 60000$	[N/m ²]
$0 \leq X(3) \leq 25000$	[N/m ³]
$60000 \leq X(4) \leq 800000$	[N/m]
$0 \leq X(5) \leq 60000$	[N/m ²]
$0 \leq X(6) \leq 25000$	[N/m ³]
$15000 \leq X(7) \leq 100000$	[N/m]
$0 \leq X(8) \leq 8000$	[N/m ²]
$200 \leq X(9) \leq 2000$	[Ns/m]
$50 \leq X(10) \leq 500$	[Ns ² /m ²]
$15000 \leq X(11) \leq 50000$	[N/m]
$0 \leq X(12) \leq 10000$	[N/m ³]
$200 \leq X(13) \leq 2000$	[Ns/m]
$50 \leq X(14) \leq 500$	[Ns ² /m ²]
$15 \leq X(15) \leq 100$	[kg]
$15 \leq X(16) \leq 150$	[kg]
$800 \leq X(17) \leq 8000$	[kg]
$800 \leq X(18) \leq 8000$	[kgm ²]
$500 \leq X(19) \leq 5000$	[kgm ²]

gde su:

$q_{A,B}^e(j), q_{A,B}^i(j)$ — tercno-oktavni spektar vertikalnih oscilatornih ubrzanja tačaka A i B (»eksperiment« — »identifikacija«) za 27 centralnih učestanosti.

U toku identifikacije oscilatornih parametara korišćena su ograničenja iz tabele 5. Računarom HP 9000/SE identifikovani su oscilatorni parametri dati u tabeli 6, čije su dimenzije iste kao i u tabeli 5.

Tabela 6

Identifikovani oscilatorni parametri

$X(1)=6,608 \cdot 10^5$	$X(11)=3,250 \cdot 10^4$
$X(2)=3,000 \cdot 10^4$	$X(12)=5,000 \cdot 10^3$
$X(3)=1,250 \cdot 10^4$	$X(13)=1,100 \cdot 10^3$
$X(4)=4,300 \cdot 10^5$	$X(14)=2,750 \cdot 10^2$
$X(5)=3,000 \cdot 10^4$	$X(15)=5,750 \cdot 10^1$
$X(6)=1,250 \cdot 10^4$	$X(16)=8,250 \cdot 10^1$
$X(7)=5,750 \cdot 10^4$	$X(17)=4,400 \cdot 10^3$
$X(8)=4,000 \cdot 10^3$	$X(18)=4,400 \cdot 10^3$
$X(9)=5,100 \cdot 10^3$	$X(19)=2,750 \cdot 10^3$
$X(10)=2,520 \cdot 10^3$	Min. vred. funkc. cilja 0,252351049

Sl. 11 — Vertikalna ubrzanja tačke A (identifikacija-eksperiment)

Radi ilustracije, na slikama 11 i 12 prikazani su rezultati dobijeni eksperimentalno i na osnovu identifikovanih oscilatornih parametara modela.

Sl. 12 — Vertikalna ubrzanja tačke B (identifikacija-eksperiment)

Analizom podataka iz tabela 4 i 5, kao i slika 11 i 12 mogu se uočiti razlike, koje će biti predmet analize.

Analiza rezultata

Na osnovu dobijenih rezultata može se uočiti da postoji izvanredno slaganje poznatih i identifikovanih oscilatornih parametara, što potvrđuje primenljivost razvijene metode.

Podaci iz poglavlja verifikacija ne potvrđuju ovaj stav, jer je očigledno da postoje razlike između stvarnih i identifikovanih oscilatornih parametara vozila. Ove razlike mogu se objasniti sledećim činjenicama:

— kompleksnošću problema koji do danas nije na zadovoljavajući način teorijski rešen za nelinearne dinamičke sisteme [2, 3, 11, 15, 17],

— teškoćama oko utvrđivanja stvarnih pobuda u toku eksperimenta i modeliranja,

— problemima koji su povezani sa izborom strukture odgovarajućeg modela,

— neodgovarajućim izborom funkcije cilja. Naime, slaganje rezultata bilo bi mnogo bolje kada bi u funkciji cilja figurisale sve generalisane koordinate koje opisuju ponašanje vozila, kao i odgovarajuće funkcije pobude. Pri tome treba imati u vidu i teškoće koje proističu usled neodgovarajuće teorijske podloge nelinearnog programiranja u slučajevima kada funkcija cilja ima više potciljeva,

— neodgovarajućim izborom merних tačaka u toku vršenja eksperimenta,

— mogućnošću da i neka druga kombinacija: masa (moment inercije) — elasto-prigušni elementi dovode do istih oscilacija kao i u slučaju stvarno izvedenog prototipa vozila.

Prethodne analize ukazuju na činjenicu da je u toku narednih istraživanja ovaj, za praksu veoma značajan problem, neophodno detaljnije teorijski istražiti, kao i da se, eventualno, razviju nove metode za identifikaciju.

Zaključak

Na osnovu izvršenih istraživanja može se zaključiti da se razvijeni metod može, sa inženjerskom tačnošću, primenjivati u praksi, pri čemu, u toku identifikacije nepoznatih konstruktivnih parametara, treba koristiti što jednostavnije oscilatorne modele vozila, jer se time i problem umnogome uprošćava. U narednom periodu veću pažnju treba posvetiti razvoju novih metoda za identifikaciju oscilatornih parametara motornih vozila.

Literatura:

- [1] Bendat, S. J, Piersol, A. G.: Random Data: Analysis and Measurement Procedures, Wiley-Interscience (Russian translation), MIR, Moscow, 1974.
- [2] Besekerski, V. A., Popov, E. P.: Theory of the Automatic Regulation Systems, Nauka, Moscow, 1975.
- [3] Bunday, P.: Basic Optimization Methods, Spottiswoode Ballantyne, Colchester and London, 1984.
- [4] Brüel & Kjaer: Three Day Course on Modal Analysis.
- [5] Brüel & Kjaer: Digital Signal Analysis, Selected Reprints from Technical Review, 1981.
- [6] Demić, M.: A Contribution to the Optimization of the Characteristics of Elasto-Damping Elements of Passenger Cars, Vehicle System Dynamic, Vol. 19, pp 3—18, 1990.
- [7] Demić, M.: Identification of Vibration Parameters for Motor Vehicles, Rad prihvaćen za štampu u Vehicle System Dynamics.
- [8] Demić, M.: Identification of Oscillatory Parameters of Motor Vehicles, Rad prihvaćen za štampu u Internal Journal of Vehicle Design.
- [9] Demić, M.: An Example of Identification of Oscillatory Parameters of Motor Vehicles, Simpozijum TRANSTEC'96, S-kt Peterburg, Rusija, 1996.
- [10] Demić, M.: Optimization of Vehicle Elasto-Damping Elements Characteristics from the Aspect of Ride comfort, Vehicle System Dynamic, Vol. 23, pp 351—377, 1994.
- [11] Frolov, V.: Applied Theory of Vibration Protection Systems (in Russian), Mashinostroenie, Moscow, 1980.
- [12] Hottinger Balldwin Messtechnik: Elektrisches messen mechanischer grössen, 1980.
- [13] Kazakov, I. E., Dostupov, B. G.: Statistics Dynamic of Nonlinear Automatic System, State publisher of physic-mathematic literature, Moscow, 1962.
- [14] Kallenbach, R.: Identifikation methods for Vehicle System Dynamics, Vehicle System Dynamics, 16 1987, pp 107—127.
- [15] Mataušek, M.: Optimal management of processes, Lectures at the Faculty of electrical engineering, Belgrade, 1994.
- [16] Mitschke, M.: Dynamic der Kraftfahrzeuge, Springer, 1983.
- [17] Yasuda, K., Kawamura, Sh., Watanabe, K.: Identification of Nonlinear Multi-Degree of Freedom Systems, JSME, Series III, Vol. 31, №1, 1988.
- [18] Simić, D.: Dinamika motornih vozila, Naučna knjiga; Beograd, 1980.
- [19] Zastava kamioni d.d.: Informacije 1996.