

VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I K

2
1997

NOVINSKO-IZDAVAČKA USTANOVA
„VOJSKA“

NACELNIK

Pukovnik
STANOJE JOVANOVIĆ

UREDIVACKI ODBOR

General-major

dr JUGOSLAV KODZOPELIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)

General-major

dr SINISA BOROVIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika)

General-major

dr NOVIĆA BORDEVIĆ, dipl. inž.

General-major

MILISAV BRKIĆ, dipl. inž.

General-major

dr SLOBODAN BURSAC, dipl. inž.

Pukovnik

dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.

Profesor

dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.

Profesor

dr BORIVOJE LAZIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr NIKOLA VUJANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr MILIUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr MILAN SUNJEVARIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

MIROSLAV ČOJBAŠIĆ, dipl. inž.
(sekretar Odbora)

Pukovnik

MILADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

mr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.

Pukovnik

MILAN UZELAC, dipl. inž.

Potpukovnik

mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

●
GLAVNI I ODGOVORNI
UREDNIK

Pukovnik

Miroslav Čojbašić, dipl. inž.
(tel. 646-277, 23-59-133 ili 33-133)

Urednik

Potpukovnik

Stevan Josifović, dipl. inž.
(tel. 23-59-323 ili 33-323)

Sekretar redakcije

Zora Pavličević
(tel. 23-59-258 ili 33-258)

ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK — BEOGRAD, Birčaninova 5,
Pretpiata 645-020 i 22-584, Žiro-račun: NIU
„VOJSKA“ (za Vojnotehnički glasnik)
40823-849-0-2393 Beograd. Polugodišnja
pretpiata 25,00 dinara. Rukopisi se ne
vraćaju. Štampe: Vojna štamparija —
Beograd, Generala Ždanova 40 b.

STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS VOJSKE JUGOSLAVIJE

VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I K

2

GODINA XLV ● MART—APRIL 1997.

S A D R Ž A J

Dr Miroslav Demić, profesor, dipl. inž.	135	Prilog utvrđivanju pouzdanosti nove metode za identifikaciju oscilatornih parametara motornih vozila
Dr Predrag Petrović, dipl. inž.	147	Prostiranje pobudnih poremećaja kroz strukturu dizel motora
Dr Slobodan Milidrag, profesor, dipl. inž. Dr Ferenc Časnjli, profesor, dipl. inž. Dr Ivan Klinar, profesor, dipl. inž. Mr Vladimir Muzikravić, dipl. inž. Mr Zoran Popović, potpukovnik, dipl. inž.	157	Alternativna goriva i ekološki aspekti motora motornih vozila
Mr Ljubiša Tančič, potpukovnik, dipl. inž.	164	Uticaj početne temperature na brzinu sagorevanja baruta u oblasti visokog pritiska
Mr Nenad Dodić, dipl. inž.	175	Praćenje manevrišućih ciljeva preključivanjem Kalmanovih filtera
Sc Momčilo Đorović, potpukovnik, dipl. inž.	186	Koncept simulacionog modela radarskog senzora prepreka za niskoletuće platforme
Sc Marko Andrejčić, kapetan I klase, dipl. inž. Vladimir Bukvić, kapetan I klase, dipl. inž.	197	Koncept sistema za podršku obučavanju organa tehničke službe
Miroslav Radosavljević, major, dipl. inž. Dr Radivoje Petrović, profesor, dipl. inž.	211	Ekspertska sistem SPARTA II
Dr Vlado Radić, major, dipl. inž.	223	Stanje i tendencije razvoja sredstava za PVO

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

238	Samohodni protivoklopni raketni sistem HRIZANTE-MA — P. M.
240	Kombinovani artiljerijsko-raketni sistemi PVO — P. M.
246	Poboljšanje kvaliteta oklopa korišćenjem keramičkih materijala — P. M.

- 250 Mogućnosti korišćenja ruskih avionskih bombi — P. M.
- 253 Lovački avion Su-30K — P. M.
- 254 Lovački avion Su-35 — P. M.
- 256 Avion JaK-130 — novi prilaz razvoju školsko-trenažnog aviona — P. M.
- 258 Ruski borbeni čamci — P. M.

SEDNICA UREĐIVAČKOG ODBORA

Sednica Uredivačkog odbora časopisa VOJNOTEHNIČKI GLASNIK održana je 4. marta 1997. godine, sa sledećim dnevnim redom:

1. Analiza rada redakcije i Uredivačkog odbora u 1996. godini,

2. Razno.

Nakon uvodne reči predsednika Uredivačkog odbora, general-majora dr Jugoslava Kodžopeljića, izveštaj o radu redakcije u 1996. godini podneo je urednik potpukovnik Stevan Josifović. U izveštaju su prezentirani osnovni pokazatelji o tiražu, obimu, pretplati, prodaji, troškovima izdavanja časopisa, objavljenim radovima i autorima iz pojedinih sredina.

U toku sednice diskutovalo se o:

— realizaciji zadataka definisanih na prethodnoj sednici Uredivačkog odbora,

— održavanju redovne produkcije časopisa od šest brojeva u toku godine,

— sistemskom rešavanju pitanja finansiranja časopisa,

— vrednovanju časopisa i objavljenih članaka na fakultetima Beogradskog univerziteta,

— mogućnostima izdavanja tematskog broja časopisa,

— proširenju saradnje sa autorima iz VTA, VTI i TOC KoV,

— saradnji sa fabrikama namenske industrije,

— praćenju važnijih stručnih skupova u okviru tehničkih službi vidova VJ.

U radu sednice učestvovao je i načelnik NIU Vojska pukovnik Stanoje Jovanović diskusijom o finansiranju časopisa, njegovom unapređenju i aktuelnosti.

Iz diskusija i predloga proistekli su zadaci koji će biti aktuelni u toku 1997. godine:

— redovna produkcija časopisa uz rešavanje pitanja finansiranja,

— održavanje programske koncepcije časopisa na stručnom i naučnom nivou,

— proširivanje kruga čitalaca i saradnika.

Redakcija

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,

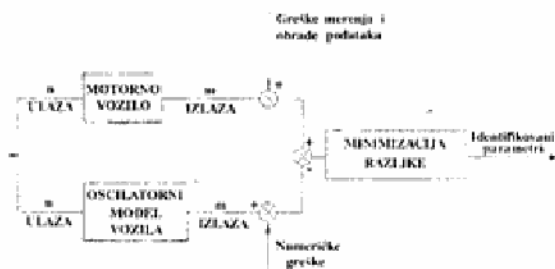
— određivanja nepoznatih parametara primenom metoda nelinearnog programiranja.

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 Furijeove transformacije. U nastavku se, na osnovu usvojenog modela vozila, integrišu diferencijalne jednačine metodom Kutta-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-

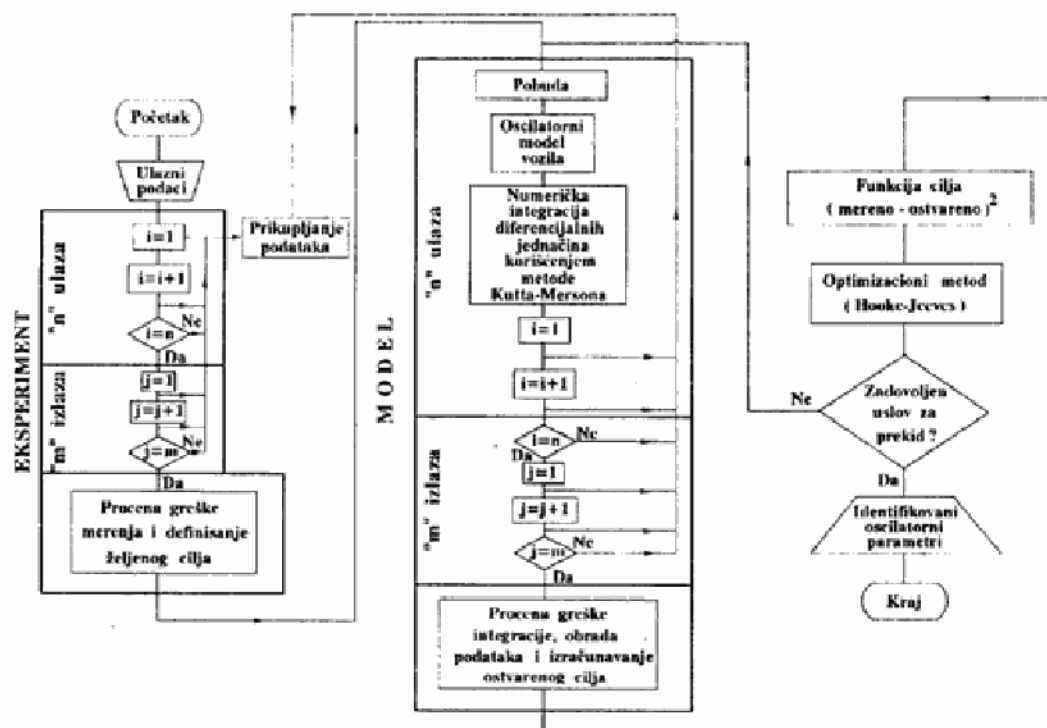
linearnog programiranja (u ovom slučaju metodom Hooke-Jeevesa i sličnijih kaznenih funkcija) izračunavaju (identifikuju) nepoznati oscilatorni parametri vozila.

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. Posmatraće 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. Posmatraće 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

$$D_1 = q(5) + l_1 q(7) - s q(6) - q(1)$$

$$D_2 = q(5) + l_1 q(7) + s q(6) - q(2)$$

$$D_3 = q(5) - l_2 q(7) - s q(6) - q(3)$$

$$D_4 = q(5) - l_2 q(7) + s q(6) - q(4) \quad (1)$$

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:

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

Na osnovu [7—10, 16, 18], zanemarujući 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

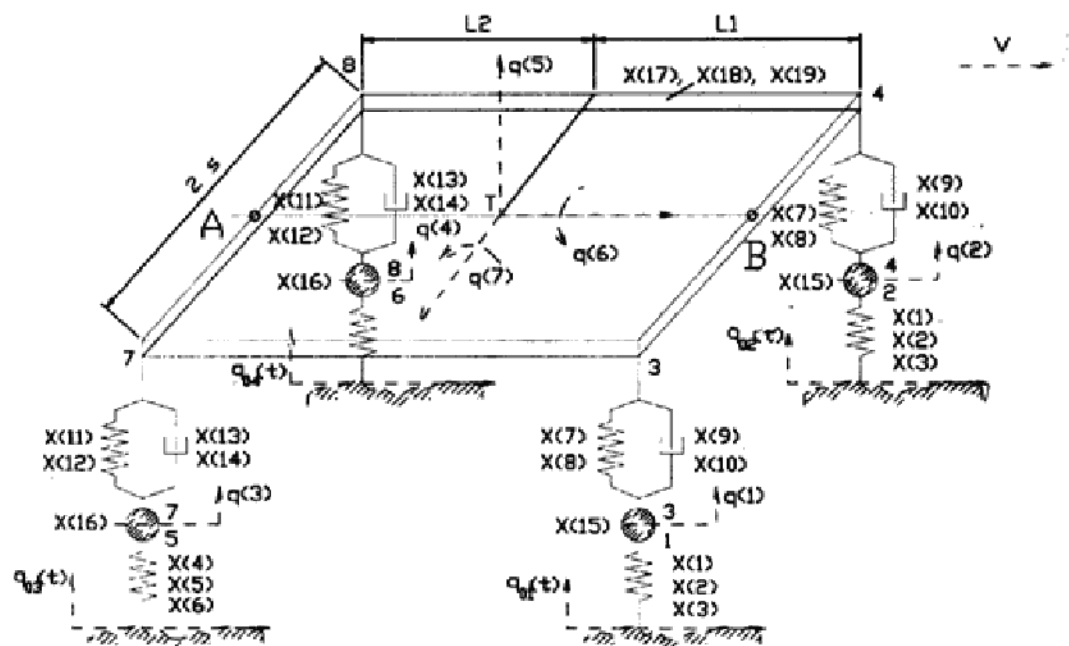
$$\begin{aligned}
 F_3 &= X(7)D_1 + X(8)D_1^3 \\
 F_4 &= X(7)D_2 + X(8)D_2^3 \\
 F_7 &= X(11)D_3 + X(12)D_3^3 \\
 F_8 &= X(11)D_4 + X(12)D_4^3
 \end{aligned}
 \quad (5)$$

c) amortizerima

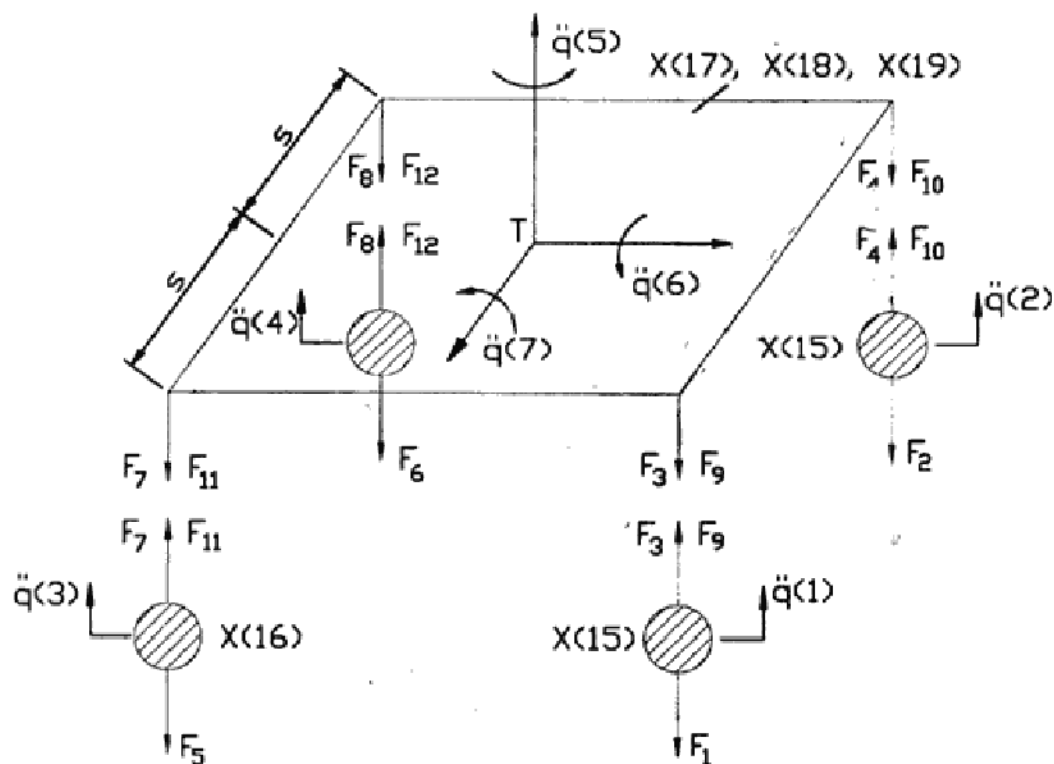
$$\begin{aligned}
 F_9 &= X(9)D_9 + X(10)D_9^2 \text{sign}(D_9) \\
 F_{10} &= X(9)D_{10} + X(10)D_{10}^2 \text{sign}(D_{10}) \\
 F_{11} &= X(13)D_{11} + X(14)D_{11}^2 \text{sign}(D_{11}) \\
 F_{12} &= X(13)D_{12} + X(14)D_{12}^2 \text{sign}(D_{12})
 \end{aligned}
 \quad (6)$$

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

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

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

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

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

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

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].

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

gde su:

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

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

$H_{7t}^p(j), H_{7t}^0(j)$ — 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/m²]
$10000 \leq X(3) \leq 25000$	[N/m³]
$60000 \leq X(4) \leq 120000$	[N/m]
$30000 \leq X(5) \leq 60000$	[N/m²]
$10000 \leq X(6) \leq 25000$	[N/m³]
$15000 \leq X(7) \leq 40000$	[N/m]
$2000 \leq X(8) \leq 8000$	[N/m²]
$1000 \leq X(9) \leq 6000$	[N/m³]
$500 \leq X(10) \leq 1000$	[Ns/m]
$15000 \leq X(11) \leq 40000$	[N/m]
$2000 \leq X(12) \leq 8000$	[N/m²]
$1000 \leq X(13) \leq 6000$	[Ns/m]
$500 \leq X(14) \leq 1000$	[Ns²/m²]
$15 \leq X(15) \leq 50$	[kg]
$15 \leq X(16) \leq 50$	[kg]
$800 \leq X(17) \leq 3000$	[kg]
$800 \leq X(18) \leq 3000$	[kgm²]
$500 \leq X(19) \leq 2000$	[kgm²]

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

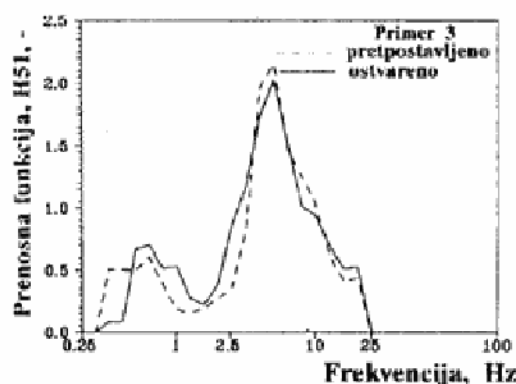
$X(1) = 9,07200 \cdot 10^4$	$X(11) = 2,7500 \cdot 10^4$
$X(2) = 4,5000 \cdot 10^4$	$X(12) = 5,000 \cdot 10^3$
$X(3) = 1,7500 \cdot 10^4$	$X(13) = 3,500 \cdot 10^3$
$X(4) = 9,0000 \cdot 10^4$	$X(14) = 7,5000 \cdot 10^3$
$X(5) = 4,5000 \cdot 10^4$	$X(15) = 3,25000 \cdot 10^3$
$X(6) = 1,7500 \cdot 10^4$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

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 ²]	0
$X(9)$ [Ns/m]	1230
$X(10)$ [Ns ² /m ²]	570
$X(11)$ [N/m]	49370
$X(12)$ [N/m ²]	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

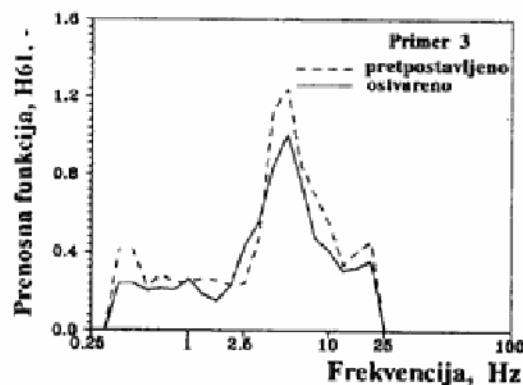


Sl. 5 — Prenosna funkcija H_{51}

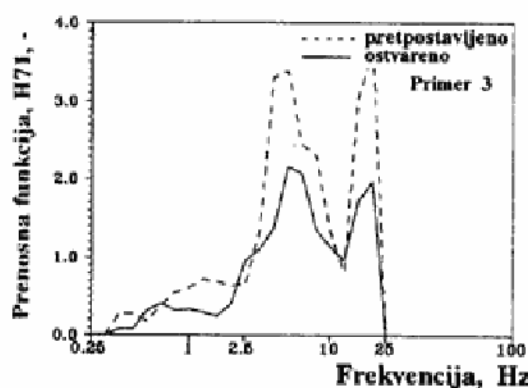
Eksperimentalna verifikacija

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

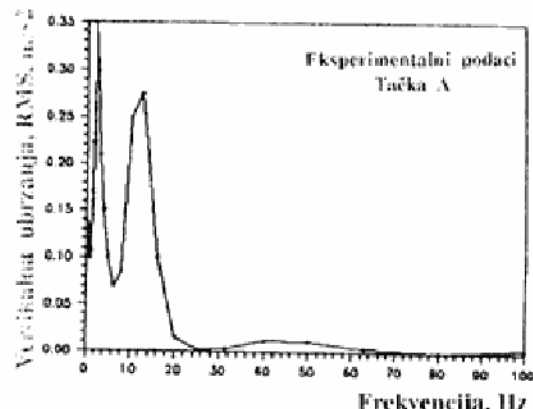
dile vertikalne vibracije karakterističnih tačaka poda karoserije vozila, čiji su parametri dati u tabeli 4.



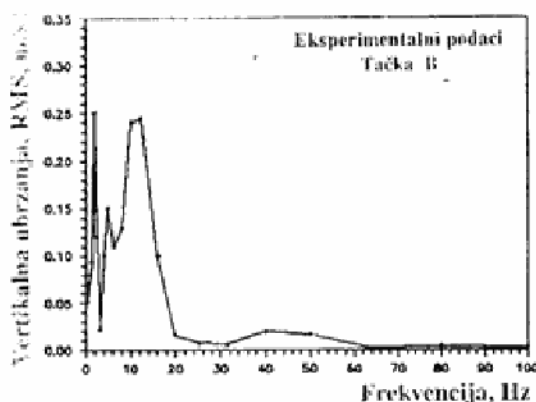
Sl. 6 — Prenosna funkcija H_{61}



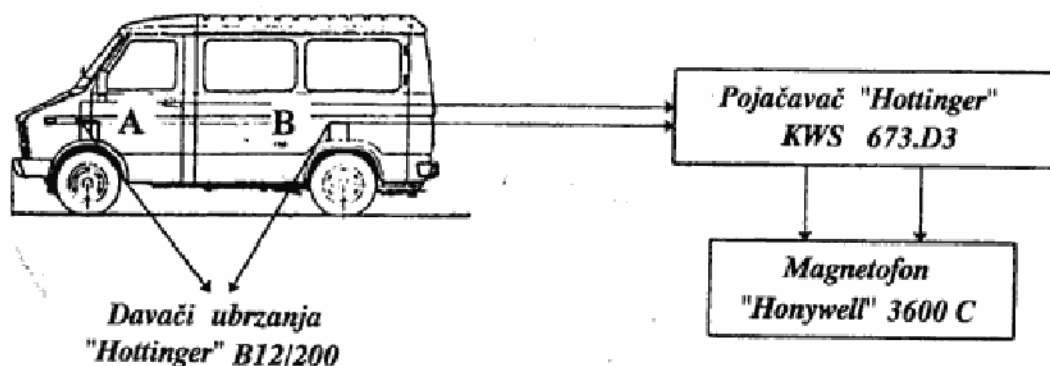
Sl. 7 — Prenosna funkcija H_{71}



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:

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

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 ²]
$200 \leq X(13) \leq 2000$	[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:

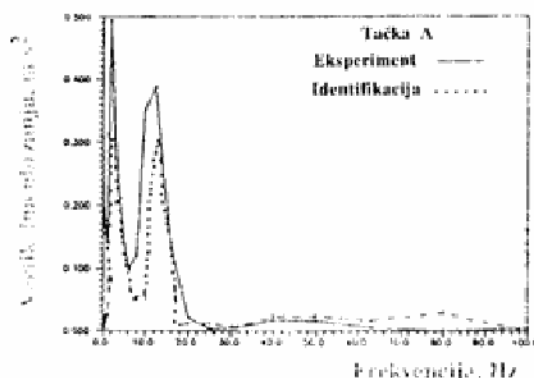
$q_{A,B}^e(j)$, $q_{A,B}^i(j)$ — terčno-oktavni spektar vertikalnih oscilatornih ubrzanja tačaka A i B (»eksperiment« — »identifikacija«) za 27 centralnih učestanosti.

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

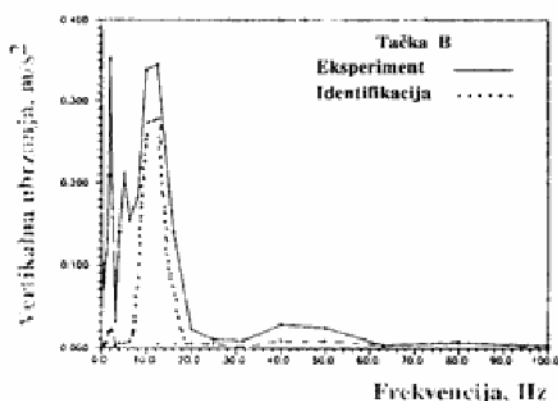
Identifikovani oscilatorni parametri

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

- [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, 1973.
- [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] Dmić, M.: A Contribution to the Optimization of the Characteristics of Elasto-Damping Elements of Passenger Cars, Vehicle System Dynamic, Vol. 18, pp 3—18, 1990.
- [7] Dmić, M.: Identification of Vibration Parameters for Motor Vehicles, Rad prihvaćen za štampu u Vehicle System Dynamics.
- [8] Dmić, M.: Identification of Oscillatory Parameters of Motor Vehicles, Rad prihvaćen za štampu u Internal Journal of Vehicle Design.
- [9] Dmić, M.: An Example of Identification of Oscillatory Parameters of Motor Vehicles, Simpozijum TRANSTEC'96, S-kt Petersburg, Rusija, 1996.
- [10] Dmić, 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 Baldwin 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, No1, 1988.
- [18] Simić, D.: Dinamika motornih vozila, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [19] Zastava kamioni d.d.: Informacije 1996.

PROSTIRANJE POBUDNIH POREMEĆAJA KROZ STRUKTURU DIZEL MOTORA

UDC: 621.436.1:534.831.08

Rezime:

U ovom radu prikazan je deo rezultata istraživanja procesa generisanja strukturne buke dizel motora. Sam proces rada motora sa unutrašnjim sagorevanjem inicira stvaranje energije u svojim sklopovima, koja pobuđuju sopstvene modalne oscilacije pojedinih komponentata preko čijih površina se emituje zvuk u okolini. Takva istraživanja obavljena su uz sopstveni razvoj metoda za primenu intenziteta zvuka i eksperimentalne modalne analize, a rezultati su prikazani za blok motora i jednodelno korito.

Ključne reči: motor, buka, modalna analiza, zvučni intenzitet, korito motora, blok motora.

PROPAGATION OF EXCITATION DISTURBANCES THROUGH THE DIESEL ENGINE STRUCTURE

Summary:

A part of research results concerning the process of the Diesel engine structural noise generation is presented in the article. The very process of the internal combustion engine functioning initiates the energy creation in its parts which, then, excitate their own modal oscillations of particular components and through their surfaces the sound is emitted into the environment. The researches are done by the author's own method for the application of sound intensity and experimental modal analysis. The results relating to the engine block and the single-part engine oil sump are presented.

Key words: engine, noise, modal analysis, sound intensity, engine oil sump, engine block.

Uvod

Zbog ubrzanog razvoja industrije, saobraćaja, energetike i drugih delatnosti sve je prisutniji problem buke, kao aktivni parametar čije kontinualno, impulsno ili neko drugo dejstvo nepovoljno utiče na populaciju stanovništva. Motor sa unutrašnjim sagorevanjem, kao pogonski agregat motornih vozila, predstavlja značajan izvor vibracija i buke, što se može veoma nepovoljno odraziti na vozilo, vozača, putnike i okolinu.

Motor predstavlja višepobudni izvor vibracija i buke inicirane od sklopova i pomoćnih agregata čijim radom se mehanička energija i pritisak gasova pretvara u energiju talasnog kretanja. Pobudni talas pri kretanju kroz strukturu motora pobuđuje sekundarne talase usled modalnog oscilovanja većih delova motora (blok, korito, glava i dr.). Pored toga, teško je raščlaniti pobudu od odziva, mada su oni u međusobnoj interakciji.

Predmet istraživanja ovog rada jeste utvrđivanje izvora pobude, ose-

tljivosti delova na pobudu i karakter akustičke emisije na različitim režimima rada, sa posebnim osvrtom na rad motora na maksimalnom broju obrtaja i pri punom opterećenju. Rezultati takvih istraživanja omogućavaju uspostavljanje zakonitosti u procesu generisanja buke brzohodnog dizel motora S54 proizvedenog u Industriji motora Rakovica, koji je bio predmet istraživanja.

Uz teorijske analize istraživanja su se zasnivala na eksperimentalnim ispitivanjima. Za te potrebe u Institutu industrije motora Rakovica iz Beograda razvijene su metode primene intenziteta zvuka i eksperimentalne modalne analize. Prva metoda primenjena je pri merenju buke motora pri maksimalnom broju obrtaja i punom opterećenju, a druga pri utvrđivanju osetljivosti na pobudu pojedinih komponenata motora (blok, korito i glava motora).

Primenom ovih metoda moguće je utvrditi akustičku aktivnost pojedinih komponenata ili zona motora, što predstavlja dobru osnovu za optimizaciju delova, sa aspekta smanjenja emitovane buke. U ovom radu prikazane su osnove navedenih metoda i međusobne korelacije dobijenih rezultata za blok i jednodelno korito ispitivanog dizel motora S54 IMR.

Poremećajni procesi u strukturi dizel motora

Motor sa unutrašnjim sagorevanjem predstavlja višepobudni izvor vibracija i buke. Tu spadaju svi sklopovi i pomoćni agregati pri čijem radu se deo mehaničke energije i pritiska gasova pretvara u energiju talasnog kretanja. Na mestima nastanka poremećaja mogu nastati primarni zvučni talasi koji se neposredno prenose na akustički prostor. Drugi deo energije izaziva talasni proces unutar delova motora koji može biti pojačan modalnim oscilovanjem (blok, glava, korito i dr.).

Poremećajni procesi u dizel motorima mogu se svrstati u tri grupe. U prvu grupu spadaju dinamičke sile izazvane radom motora (sile procesa sagorevanja, neuravnotežene inercijalne sile, promenljivi obrtni momenti, sile neujednačenosti radnog procesa i dr.) Drugu grupu čine udari nastali zbog konstrukcionih zazora (klipni sklop, klipni mehanizam, ventilski mehanizam i dr.), a treću, pobude koje mogu biti izazvane radom pojedinih podsklopova i komponenata (pumpa visokog pritiska, razvodni mehanizam, pumpe za vodu i ulje, ventilator, usisni i izduvni sistem, alternator i dr.).

Energija poremećaja apsorbuje se u unutrašnjost delova sudarima, klizanjem, kotrljanjem, vrtložnim strujanjem i dr. Jedan deo ove energije pretvara se u zvučne talase (primarni), drugi deo se emituje u okolinu u vidu zvučnih talasa preko spoljnih površina motora, a treći deo pobuđuje modalne (sopstvene) vibracije delova koji pobuđuju (pojačavaju) sekundarne zvučne talase.

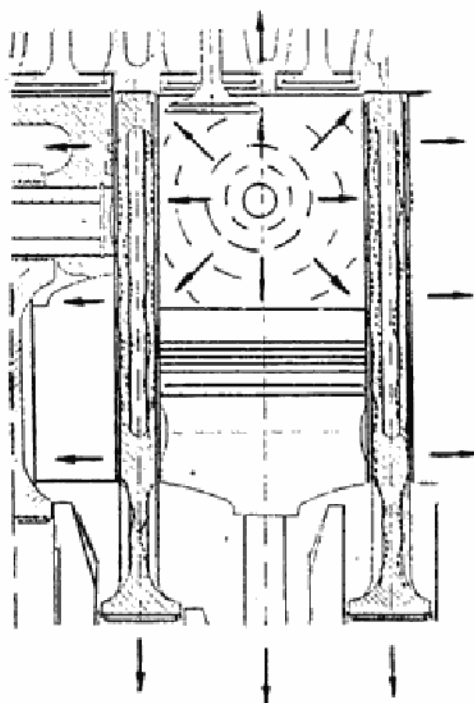
Komponente motora (klipovi, zglobovi, ventili, pumpe i dr.) stvaraju primarne talase, ali je kod njih važnija energija koja se apsorbuje u strukturi motora i koja pobuđuje pojedine delove, pa se zbog toga tretiraju kao pobuđivači. Blok, glava i korito su delovi sa velikim površinama preko kojih se emituju zvučni talasi u okolinu. Na taj način emituje se deo apsorbovane i deo energije pobuđenih sopstvenih vibracija. Ovi delovi, osim apsorbovanih, generišu i energiju sopstvenih — modalnih vibracija.

Količina energije koju apsorbuju delovi motora proporcionalna je veličini elastičnih deformacija, zapremini koja je obuhvaćena deformacijama i frekvenciji ponavljanja poremećaja. Ova energija podstiče talasno kretanje čija brzina, talasna dužina i frekvencija zavise od gustine ρ i modula elastičnosti E . Talasi se mogu prostirati longitudinalno, fleksiono, smičuće

ili torziono, zavisno od pravca deformacija.

Talas koji stigne do spoljne površine mašinskog dela odbija se ka unutrašnjosti, pri čemu se površina pomera prema spoljašnjosti, a stvorena energija talasnog kretanja prenosi na okolinu u vidu zvučnog talasa ili se prenosi na druge delove.

Prostiranje elastičnih deformacija izazvanih ekspanzijom u komori za sagorevanje prikazano je na slici 1, čije se odbijanje vrši do potpunog prigušenja — reverberacije.



Sl. 1 — Prostiranje elastičnih deformacija izazvanih ekspanzijom u komori za sagorevanje

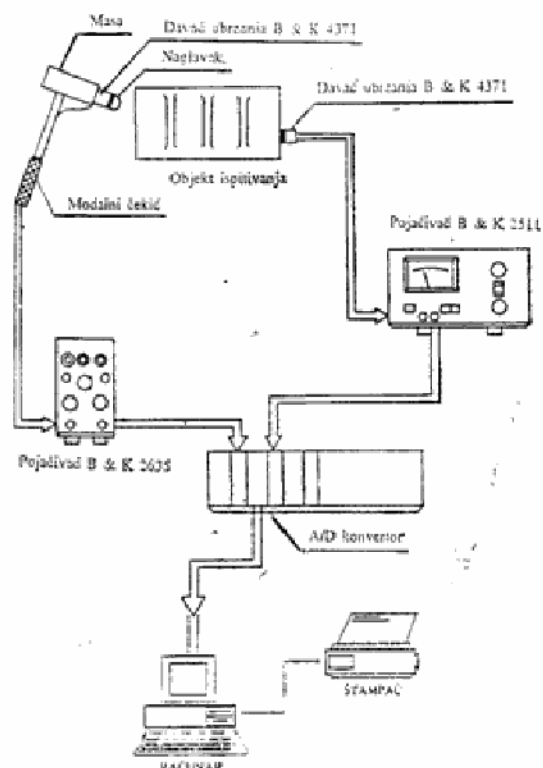
Primena eksperimentalne modalne analize bloka i jednodelnog korita motora

Apsorbovana energija pod dejstvom elastičnih poremećaja prenosi se kroz elastičnu sredinu strukture motora u vidu talasa. Elastično telo, po-

buđeno energijom udarnog talasa, generiše jednu ili više sopstvenih frekvencija koje zavise od materijala (mase, krutosti i sl.). Svako od frekvencija odgovara određenom obliku deformacija (glavni oblik) ili tzv. modalni oblik.

Određivanje maksimalne amplitude i frekvencije glavnih oblika oscilovanja vrši se pobudom posredstvom udarne sile. Osim udarnih oscilacija, udarom se pobuđuju i sopstvene oscilacije različitih frekvencija.

Za eksperimentalno određivanje modalnih odziva delova motora korišćena je metoda udara pomoću modalnog čekića. Ponavljanjem i varira-



Sl. 2 — Pobudni i merni sistem za eksperimentalnu modalnu analizu

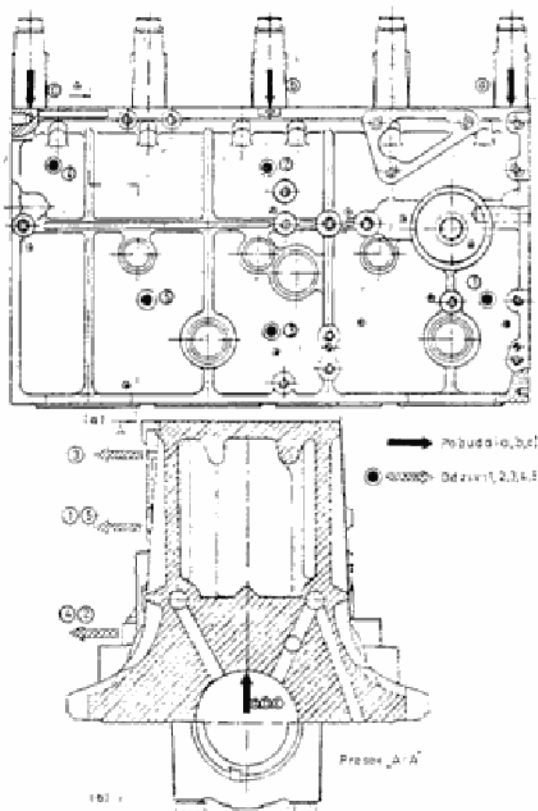
njem mesta pobuđivanja i merenja odziva dobija se pouzdanija slika o modalnoj aktivnosti komponenata moto-

ra. Odnos intenziteta odziva i intenziteta pobude za pobudnu frekvenciju definiše atenuaciju između tačaka udara i pobude. Za ostale frekvencije dobija se intenzitet odziva.

Na slici 2 prikazan je merni sistem za eksperimentalnu modalnu analizu, koji čine pobudni i odzivni deo.

Vremenske funkcije pobudne sile i ubrzanja na mestu odziva uvode se u analizator i nakon transformacije (FFT) upoređuje se odnos odziva i pobude za svaku frekvenciju u spektru. Takvim postupkom utvrđuje se odnos koji pokazuje kojim frekvencijama osciluje unutrašnja masa nekog mašinskog dela.

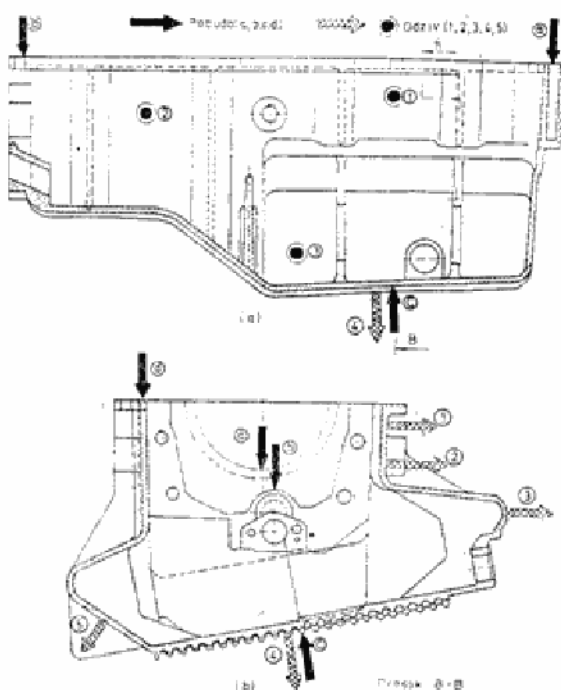
Izmerene vremenske funkcije ubrzanja, preko A/D konvertora, brzinom od 35 000 očitavanja u sekundi uz pomoć softvera DRAVE i personalnog



Sl. 3 — Merna mesta na bloku motora (materijal SL. 26)

računara podvrgavaju se postakvizicionoj obradi. Ona se sastoji od FFT analize i formiranja grafičkih prikaza funkcije odziva ili prenosne funkcije u frekvencijskom domenu. Ovi kratkotrajni (trenutni) vremenski signali FFT analizom se transformišu u Furijeov red elementarnih sinusnih funkcija različitih frekvencija. Za svaku frekvenciju zatim se upoređuje veličina amplitude elementarne funkcije izmerenog ubrzanja (a) i amplitude elementarne funkcije pobudne sile (F).

Primenom ove metode ispitivanja su obavljena na bloku, glavi i koritu motora, a prikazani su rezultati za blok



Sl. 4 — Merna mesta na jednodelnom koritu motora (materijal SL. 26)

i jednodelno korito. Prikaz mernih mesta za blok dat je na slici 3, a za jednodelno korito na slici 4.

Modalne vrednosti date su u tabelama 1 i 2.

S obzirom na to da blok motora predstavlja kompaktnu konstrukciju celinu, mase 46,8 kg, ispresecane kanalima, otvorima i rebrima, frekvencijski spektar izmerenih vibracija je relativno visokog nivoa. Do frekvencija 2348 Hz nivoi amplitudnog odziva (a/F) relativno su niski, a najizraženiji je na mestu Pc4 i iznosi 159 m/Ns², odnosno 112 m/Nm² na mestu Pc2 i pri frekvenciji 2000 Hz. Najve-

će vrednosti amplitudnih odziva su za 2826 Hz, 2155 m/Ns² (Pb1), 1733 m/Ns² (Pb4). Za frekvencije 3040 Hz nivo amplitudnog odziva je nešto niži i iznosi 1289 m/Ns² (Pa3), 967 m/Ns², (Pa5), 506 m/Ns² (Pa1), 423 m/Ns² (Pc1). Najveći intenzitet odziva je u području 2826 do 4040 Hz dok frekvencije izvan tog opsega nisu interesantne za analizu zbog relativno niskih vrednosti amplituda.

Tabela 1

R. br.	M.M. Hz	Pa1	Pa2	Pa3	Pa4	Pa5	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	Pb5	Pc1	Pc2	Pc3	Pc4	Pc5
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.	1783	41	31	—	—	—	—	41	—	—	—	—	—	85	85	—
2.	2000	—	53	—	—	—	—	38	—	73,5	—	—	112	—	159	—
3.	2348	82	—	—	—	—	—	26,5	—	47	—	—	—	—	—	—
4.	2478	165	—	—	—	—	436	—	—	35	120,5	—	—	—	—	—
5.	2826	420	109	311	1733	255	2155	71	453	57	100	488	220,5	309	132	—
6.	3040	506	—	1289	—	967	261	29	141	—	63	423	—	159	—	215
7.	3131	185	37	—	—	—	—	—	—	—	—	141	—	—	—	—
8.	3478	—	54	—	—	—	—	43	—	48,5	73,5	—	—	—	—	—
9.	3696	147	—	—	—	—	324	51,5	118	76,5	112	—	—	—	—	—
10.	3913	—	—	—	—	—	—	—	—	50	54	276	—	—	—	106
11.	4087	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	279	—	—
12.	4304	—	—	—	—	—	—	—	—	65	81	141	—	—	588	—
13.	4522	76	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	235	285	165
14.	4696	—	—	—	—	—	—	—	197	—	37	—	—	—	—	—
15.	5392	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	247	—	—	—	—
16.	6348	97	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17.	7087	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—	—	—	—	—	—
18.	7696	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29,5	—	—	—	—
19.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabela 2

R. br.	M.M. Hz	Pa ₁	Pa ₂	Pa ₃	Pa ₄	Pa ₅	Pb ₁	Pb ₂	Pb ₃	Pb ₄	Pb ₅	Pc ₁	Pc ₂	Pc ₃	Pc ₄	Pc ₅	Pd ₁	Pd ₂	Pd ₃	Pd ₄	Pd ₅
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.	1217	296	—	—	444	—	—	—	—	415	—	518	622	—	—	—	—	—	—	—	—
2.	1478	489	—	—	—	81	—	—	—	—	—	—	—	—	1882	355	—	—	—	474	363
3.	1739	—	—	—	—	—	—	—	—	859	—	473	726	—	7529	—	—	—	—	—	—
4.	2087	548	618	200	933	215	—	522	—	—	200	—	1540	400	3706	326	618	—	—	1303	1044
5.	2174	252	—	—	467	—	—	—	—	1022	—	—	1659	—	—	—	3353	4556	578	—	—
6.	2522	1644	3765	156	500	240	2111	2644	400	963	522	2054	548	1259	1259	696	—	2222	311	859	1081
7.	2783	—	—	—	—	152	—	867	—	652	311	454	666	—	—	—	—	—	296	—	—
8.	2913	—	—	—	455	—	—	—	—	385	222	473	1008	—	—	—	—	1444	—	622	—
9.	3044	—	—	—	389	122	—	—	—	—	367	—	1185	—	—	—	823	—	—	444	—
10.	3217	326	—	185	—	148	733	—	—	415	217	582	948	—	—	—	1000	1296	—	—	548
11.	3478	555	—	188	744	189	—	—	—	444	267	1163	503	341	1588	977	1147	—	889	1807	711
12.	3630	—	—	—	—	—	933	—	—	889	750	636	1185	—	—	—	—	—	—	—	518
13.	3800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	878	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14.	4131	—	—	—	—	137	2266	—	—	—	—	473	—	912	—	—	—	—	—	—	—
15.	4609	267	—	—	—	74	933	—	—	—	—	1509	—	726	—	1200	—	—	400	—	—
16.	4809	—	—	—	—	—	1022	—	474	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17.	5609	—	—	—	—	89	—	—	—	—	—	—	592	1081	—	933	—	—	326	—	—
18.	5783	—	—	—	—	—	—	—	—	—	411	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19.	6190	—	—	—	—	170	—	—	504	—	744	—	—	474	—	—	—	—	—	—	—
20.	6500	—	—	763	—	118	—	—	1096	—	222	—	—	696	—	—	—	—	—	—	—
21.	7000	—	—	207	—	229	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22.	7478	—	—	—	—	159	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23.	7870	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	444	1022	—	—	—	—	—	—	—
24.	8087	—	—	—	—	129	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Jednodelno korito izrađeno je od SL. 26, mase 11 kg, sa relativno velikim ravnim površinama koje mogu preneti akustičku energiju na okolinu. Zbog toga je izbor mernih mesta pobude bio na četiri mesta (a, b, c, d), a odziva na pet mesta (1, 2, 3, 4, 5).

Pa2, 618 m/Ns², Pc2, 1540 m/Ns² Pd5, 1044 m/Ns².

Povećane amplitude odziva su i na mestu Pd2 gde je registrovan visok nivo amplituda i to pri 2174 Hz, 4556 m/Ns², 2522 Hz, 2222 m/Ns², 2913 Hz, 1444 m/Ns².

I za pobude na drugim mernim mestima pojačan je intenzitet odziva pri visokim frekvencijama od kojih su najkarakterističnije 3765 m/Ns², na 2522 Hz (Pa2), 2644 m/Ns², (Pb2).

Karakteristična je i frekvencija 3478 Hz sa odnosom amplituda 555 m/Ns², (Pa1); 744 m/Ns², (Pa4); 1163 m/Ns², (Pc3), 1807 m/Ns², (Pa4) i dr.

Od viših, frekvencija 4009 Hz je sa relativno visokim nivoom amplitude odziva, dok je iznad ove frekvencije nivo amplituda niži od prethodnih.

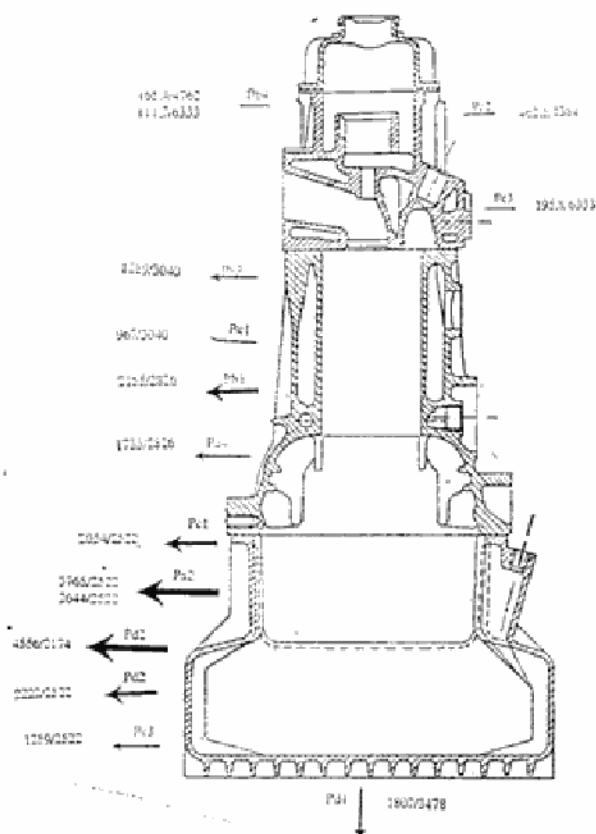
Generalno se može reći da jednodelno korito od SL. 26 vibrira visokim amplitudama ubrzanja pri navedenim karakterističnim frekvencijama. Pri tome se posebno izdvajaju ona koja se dešavaju oko 2000 Hz i oko 2500 Hz.

Modalna analiza obavljena je radi utvrđivanja sopstvene frekvencije delova, odnosno korita motora. Ovim frekvencijama ostvarene su slobodne i prigušene vibracije koje pojačavaju zvučne talase. Energija pobude kod ovih učestanosti može biti pojačana, pa su sopstvene frekvencije zbog toga veoma značajan parametar u analizi buke dizel motora.

Na slici 5 prikazane su maksimalne vrednosti izmerenih modalnih odziva kao i njihove frekvencije.

Primena metode intenziteta zvuka

Metoda zvučnog intenziteta je noviji datum a njena primena je višestruka sa aspekta istraživanja buke zvučnih objekata i određivanja dopri-



Sl. 5 — Maksimalni modalni odziv jednodelnog korita motora

Pobude na mestu c izazivaju vibriranje šireg i dubljeg dela korita koje se prenose po celoj zapremini pobuđujući preostale zone. Amplitudni odziv na tom mernom mestu najizraženiji je pri 2087 Hz i iznosi 933 m/Ns² (Pa4), odnosno 1303 m/Ns². Za ovu frekvenciju i na drugim mestima su izmereni relativno visoki nivoi amplitude. Na mestu Pa1, utvrđen je odnos amplitude odziva i pobude 548 m/Ns²

nosa pojedinih zona izvora u ukupnoj emisiji zvučne energije.

U principu, zvučni intenzitet predstavlja fluks zvučne energije kroz elementarnu površinu i označava se kao $\bar{I} = p \cdot \bar{v}$.

Merenje zvučnog pritiska ne predstavlja problem u praksi, dok definisanje trenutne brzine čestica nije jednostavno, pa se pribegava merenju gradijenta promene pritiska u definisanoj tački, tako da je:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial r}; \quad v = \frac{1}{\rho} \int \frac{\partial p}{\partial r} \cdot dt$$

$$I = -\frac{p_A + p_B}{2\rho\Delta r} \int (p_B - p_A) dt$$

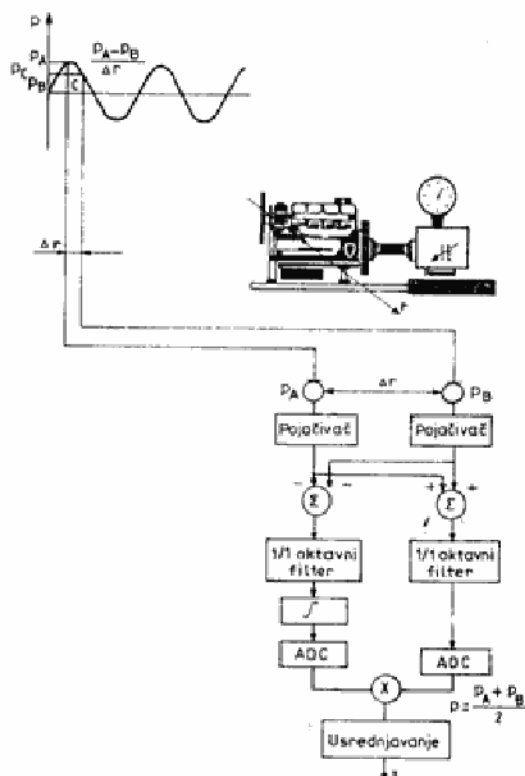
Na slici 6 prikazana je merna šema toka signala intenziteta zvuka sa dva uparena mikrofona na rastojanju Δr u pravcu r . Uz uslov istovremenog uvođenja signala iza pojačivača dobijaju se trenutne vrednosti zvučnog pritiska u tačkama A i B. Nakon toga sledi definisanje zvučnog pritiska, kao aritmetičke sredine izmerenih vrednosti i definisanje brzine prema jednačini za zvučni intenzitet (I). Posle usrednjavanja u vremenu dobija se intenzitet komponente vektora I u tački C u pravcu r (slika 6).

Definisanjem zvučnog objekta (motora), uslova rada, merne površine (mreže) i rastojanja mikrofona, meri se zvučni intenzitet upravno na referentnu površinu na različitim frekvencijama, kao i po A i Lin skali.

Nivo zvučnog intenziteta za levu stranu motora S54 IMR pri maksimalnom opterećenju i nominalnom broju obrtaja ($n=4200 \text{ min}^{-1}$), meren je za frekvencije 500 Hz, 1 kHz i po A skali.

Pri frekvenciji od 500 Hz nivo zvučnog intenziteta je nešto viši u odnosu na 250 Hz sa tendencijom povećanja na desnoj strani motora u delu (Y4 do Y8) i (X4 do X8).

U predelu desnog dela korita i zamajca do povećanja dolazi usled relativnog proširenja korita zbog smeštaja pumpe i sita za ulje, kao i uti-



Sl. 6 — Šema toka mernog signala zvučnog intenziteta

caja zamajca na elastične deformacije kolenastog vratila koje utiču na udare u ležajima, čija se pobudna energija prenosi radilicom, odnosno duž spoja bloka i korita motora.

Pri frekvenciji od 1 kHz područje visokih nivoa intenziteta zvuka izraženo je na levoj strani motora gde dolazi do izražaja zona spoja bloka i korita motora skoro po celoj dužini. Pri istoj frekvenciji prisutan je i uticaj prednje strane motora sa pobudom zvuka od dela razvoda motora i njenog poklopca, prigušivača torzionih vibracija, alternatora i dr.

Karakter opšteg nivoa zvučnog intenziteta sličan je karakteru mape za

frekvenciju od 2 kHz, sa dominantnom zonom u središnjem donjem delu motora (Y5 do Y7) i (X4 do X6), sa vrednošću 108 do 109 dB(A), i nešto manjim vrednostima (107—108 dB(A)) duž spoja korita i bloka motora.

Na osnovu izmerenog zvučnog intenziteta izračunava se zvučna snaga emisije zračenja u zavisnosti od referentne površine.

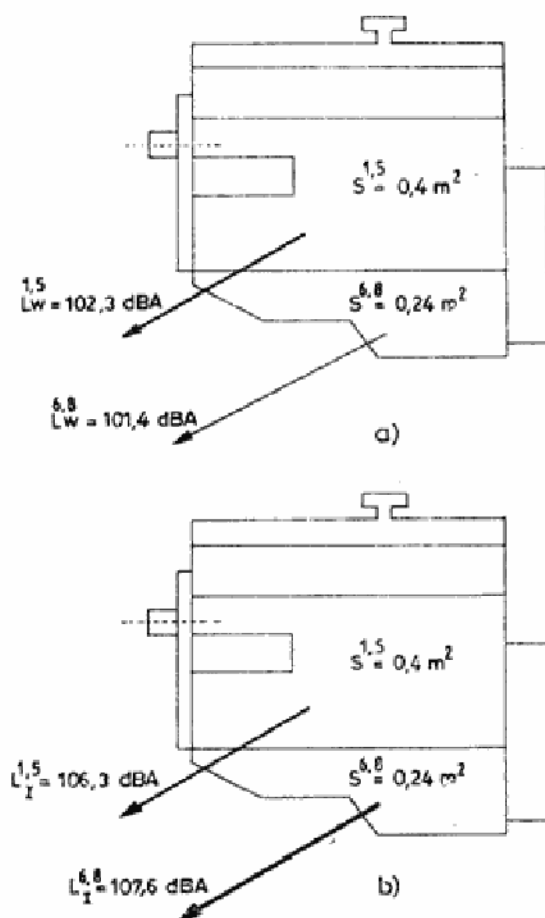
Iz analiza se može zaključiti da zone poklopca glave, glave motora i gornjeg dela bloka emituju niže nivoe zvučnog intenziteta od zona spoja ko-

rita i bloka, kao i samog korita. Odnos tih površina je približno 5/3, ali bez obzira na tu činjenicu nameće se konstatacija da se opšti nivo buke može smanjiti, pre svega smanjenjem nivoa u zonama (Y6 do Y8). Nivoi zvučnog intenziteta $L_{1,5,8}$ i zvučne snage $L_{w,5,8}$ (Y5 do Y8) viši su od $L_{1,1,1}$ i $L_{w,1,4}$ (Y1 do Y4). To znači da je najaktivnija zona radilice (spoj bloka i korita uključujući i korito motora).

Sa slike 7 pod a vidi se da je u zoni spoja bloka i jednodelnog korita (Y1 do Y5) nivo zvučne snage viši (102,3 dB) u odnosu na nivo snage korita (101,4 dB) dok je zvučni intenzitet manji u zoni Y1 do Y5 (106,3 dB) u odnosu na korito 107,6 dB. Iz analize proizilazi da zona spoja bloka i jednodelnog korita motora, odnosno zona radilice, ima veliki uticaj na ukupni nivo buke motora.

Zaključak

Pri istraživanju procesa generisanja strukturne buke dizel motora neophodno je uspostaviti korelaciju mehanizma nastanka i emitovanja buke dizel motora. Na taj način dolazi se do realnijih analiza nastanka, prostiranja, apsorbovanja i emitovanja zvučnih talasa. Razvojem i primenom eksperimentalne modalne analize utvrđene su sopstvene modalne frekvencije bloka motora i uspostavljena je korelacija sa emitovanim zvukom u okolinu, primenom metode intenziteta zvuka. Dobijeni rezultati veoma su značajni sa aspekta rekonstrukcije pojedinih komponenata, primene različitih prigušnih materijala i drugih aktivnosti radi smanjenja opšteg nivoa buke dizel motora.



Sl. 7 — Zvučni intenzitet i zvučna snaga zona bloka motora i jednodelnog korita od SL 26 pri punoj snazi ($n=4200 \text{ min}^{-1}$) $S^{1,5} = 0,4 \text{ m}^2$ i $S^{6,8} = 0,24 \text{ m}^2$

Literatura:

- [1] Petrović, P.: Istraživanje procesa generisanja strukturne buke dizel motora, Doktorska disertacija, 1996. Mašinski fakultet Beograd.
- [2] Fahu, F. J.: Sound intensity, Univ. Southampton, UK, 1990.
- [3] Petrović, P., Janković, S., Zrnić, D.: Praktične primene metode merenja zvučnog intenziteta, VII simpozijum NMV '92 Kragujevac.
- [4] Janković, S., Petrović, P., Zrnić, D.: Determining of the sound power and dominant sound sources of the object by measuring sound intensity (an example of engine), VII Conat 93, Rumunija — Braşov, vol II.
- [5] Cyril M. Harris: Shock vibration, Handbook third edition, library of Congress Cataloging in Publication Data, 1987.
- [6] Braccesi, C., Carfagni, M.: Using experimental modal analysis to simulate structural dynamic modifications, Univ. Firenze, Italy, 1990.
- [7] Petrović, P.: Pobuda buke dizel motora i pravci delovanja ka njenom smanjenju, Savremena poljoprivredna tehnika, tematska oblast — pravci razvoja dizel motora XII 1995. Novi Sad, vol. 21 i 1—2.

Dr Slobodan Milidrag,
profesor, dipl. inž.*

Dr Ferenc Časnj,
profesor, dipl. inž.*

Dr Ivan Klinar,
profesor, dipl. inž.*

Mr Vladimir Muzikravić,
dipl. inž.*

Mr Zoran Popović,
potpukovnik, dipl. inž.**

ALTERNATIVNA GORIVA I EKOLOŠKI ASPEKTI MOTORA MOTORNH VOZILA

UDC: 662.7:504.05/.06

Rezime:

Poslednjih decenija svet se našao pred dva ozbiljna problema: resursi tečnih goriva su ograničeni, a broj korisnika zaoštrio je pitanje njihove toksičnosti. Pred istraživače u ovoj oblasti postavlja se izuzetno složen zadatak: pronaći jeftino ekološki čisto gorivo čiji su izvori masovni i obnovljivi. I ostale performanse goriva moraju biti na najvišem nivou: pouzdanost u distribuciji i eksploataciji, energetska gustina, podobnost u formiranju sveže radne smeše i sl. Sva do sada ispitivana alternativna goriva (gorivo iz biomase, prirodni gas, vodonik, električna energija) imaju nedostatke po nekom od pomenutih kriterijuma, pa ovo pitanje ostaje otvoreno.

Ključne reči: alternativno gorivo, ekologija, izvori goriva, zagađenje.

ALTERNATIVE FUELS AND ECOLOGICAL ASPECTS OF MOTOR VEHICLE ENGINES

Summary:

In the last two decades the world has faced two serious problems: the sources of liquid fuels are limited and the number of their users has intensified the problem of their toxicity. The researchers in this field face an extremely complex task: to find a cheap, ecologically pure fuel with a large number of recoverable sources. The fuel performances have to be at the highest level (reliability during distribution and operational use, energy density, possibility to form fresh fuel mixture, etc.). All alternative fuels examined up to now (biomass fuel, natural gas, hydrogen, electric power...) have disadvantages according to some of the criteria mentioned above, so this problem remains unsolved.

Key words: alternative fuel, ecology, fuel sources, pollution.

Uvod

Uticaj goriva na životnu sredinu danas predstavlja nezaobilaznu temu pri elementarnom izučavanju motora SUS, što podrazumeva proučavanje strukture izduvnih gasova motora, kao i propisa o graničnim vrednostima emisije pojedinih polutanata i metoda njihovog vrednovanja.

Razmatranja o alternativnim gorivima danas su vrlo aktuelna, jer su resursi sirove nafte ograničeni, a ekspanzijom potrošnje tokom 21. veka biće dobrim delom iscrpljeni, pa im se mora tražiti zamena. Pored toga, postoji problem zaštite životne sredine od produkata nastalih u procesu sagorevanja motornih goriva, kao i buke koju stvara. Na ove probleme reaguje se tek poslednjih trideset godina, (prvi put šezdesetih godina u Ka-

* Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.

** Vojnotehnička akademija VJ, Beograd.

liforniji, kada je došlo do znatnog porasta kancerogenih oboljenja).

Produkti sagorevanja Oto i Dizel motora sastoje se od velikog broja različitih komponenata, od kojih je jedan broj toksične prirode. Zbog toga su uvedeni propisi o ograničenju emisije sledećih komponenata: ugljenmonoksid (CO), oksida azota (NO_x) nesagorelih ugljovodonika (HC) i čađi. Koliki je udeo ovih komponenata koje potiču od motora motornih vozila i utiču na ukupno zagađenje atmosfere postaje važno pitanje. Ispitivanja u SAD tokom osamdesetih godina daju odgovore na to pitanje u obliku navedenih rezultata [1] datih procentualno.

Tabela 1

	CO(%)	NO_x (%)	HC(%)
Teretna motorna vozila sa Dizel motorom	1,0	10,4	1,1
Putnička motorna vozila sa Oto motorom	48,7	21,2	24,1
Ukupno od vozila	50	32	26

Ispitivanja sprovedena u Evropi obrađena su po lokalitetima i ukazuju na to da je urbana sredina najviše ugrožena, i to komponentama u sledećim procentima: CO — 54%, NO_x — 24%, HC — 60%. Imajući u vidu te rezultate, dalja ispitivanja kreću se u pravcu zakonskih ograničenja emisije ovih polutanata, shodno razvoju motora i supstituciji fosilnih goriva.

Kinetika sagorevanja multikomponentnih ugljovodoničnih goriva vrlo je kompleksna i interdisciplinarna, pa je nije moguće egzaktno izvoditi, ni rešavati problem smanjenja emisije toksičnih polutanata.

Problemi se vrednuju i rešavaju kroz razvoj motora SUS, i to:

— koncentracija ugljenmonoksida (CO) skoro je isključivo funkcija načina formiranja smeše gorivo-vazduh, i koeficijenta viška vazduha, pa je ova koncentracija bitno različita kod Oto i Dizel motora. Ugljenmonoksid je otrov direktnog dejstva, utiče na sposobnost vezivanja kiseonika sa hemoglobinom u krvi i na taj način narušava zdravlje ljudi;

— azotna jedinjenja (NO_x), a u prvom redu NO_2 , kao otrov direktnog dejstva, utiču na izmene gasova u krvi i remete funkcije disanja. Osnova za stvaranje azotnih jedinjenja u motoru je oksidacija atmosferskog molekularnog azota. Najuticajniji faktori na stvaranju NO_x u motoru jesu temperatura hemijske reakcije, dužina reakcije i raspoloživi kiseonik u zoni reakcije. Dominantan uticaj ima temperatura sagorevanja, što pokazuje i dokazuje primena MAO-principa za smanjenje ugljenmonoksida. Smanjenje emisije azotnih jedinjenja kreće se u pravcu smanjenja temperature sagorevanja;

— pojava ugljovodonika u izduvnim gasovima rezultat je lošeg sagorevanja sveže radne materije u motoru SUS. Ugljovodonici velike molekularne mase veoma su otrovni i u manjim koncentracijama. Poluciklični aromati su i kancerogeni;

— čvrste čestice, u vidu čađi, u izduvnim gasovima motora SUS po svom sastavu su čvrsti grafit na kome se nalaze apsorbovane organske i neorganske komponente kao: ugljovodonici, oksidi azota, sumpordioksid i drugi. Njihovom resorpcijom na normalnim temperaturama dobijamo nove koncentracije zagađivača.

Danas mnoge države donose interne i međunarodne propise o ograničenju emisije toksičnih produkata u izduvnim gasovima motora SUS. Činjenica je da razvijene zemlje i regije donose najstrože zakone o ograniče-

nju emisije toksičnih polutanata i upućuju proizvođače motora na homologaciona ispitivanja. Na taj način zaštićena je vlastita sredina i tržište. Strogi propisi o strukturi izduvnih gasova motora SUS dovode u direktnu izolaciju manje proizvođače, pa i čitave države, koje nisu u stanju da prate trend razvoja motora i vozila u celini. I pored uvođenja strogih propisa struktura vazduha neće se bitno promeniti dok se ne promeni i vrsta goriva. Na ovu činjenicu upućuju mnoge institucije, a u prvom redu organizacije OECD [1]. Kao potvrda toga je stanje u Kaliforniji gde se, i pored najstrožih zakona po ovom pitanju, struktura vazduha nije bitno promenila. Posle navedene konstatacije nameće se pitanje budućnosti goriva i konvencionalnog motora i vozila.

Osnovni principi u izboru alternativnih goriva

Polazeći od postavljenog zadatka, zamene konvencionalnog goriva dobijenog preradom sirove nafte, moraju se imati u vidu osnovni principi i kriterijumi u odlučivanju:

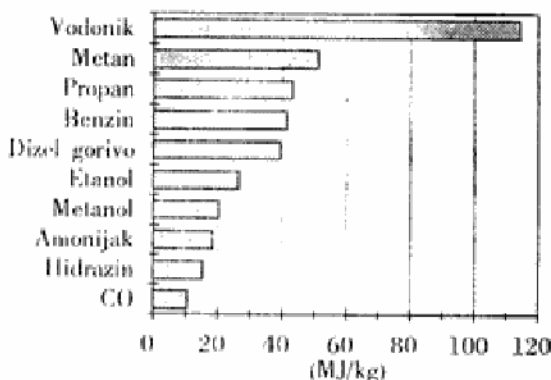
- masovna proizvodnja goriva iz obnovljenih izvora,
- ekonomski efekti proizvodnje po energetske jedinici,
- energetska gustina goriva po jedinici mase i zapremine,
- stepen pouzdanosti goriva u distribuciji i eksploataciji,
- podobnost goriva u formiranju sveže radne materije u motoru,
- ekološki aspekti goriva u radu i distribuciji.

Navedeni principi u izboru alternativnih goriva mogu se svesti na tri osnovna faktora: tehnički, ekonomski i ekološki. U skladu sa postavljenim zadatkom može se konstatovati da je u poslednje dve decenije obavljen ve-

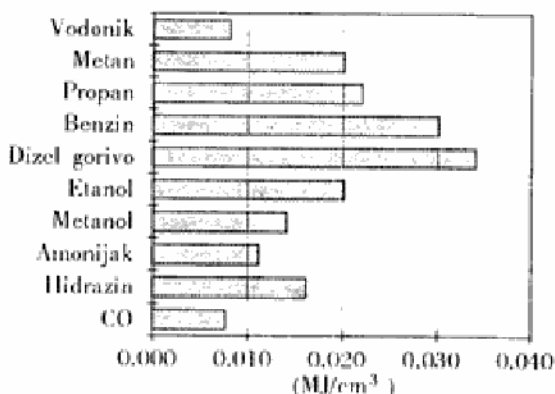
liki broj opsežnih istraživanja u ovoj oblasti, sa jedinim ciljem da se pronađe prikladno alternativno gorivo kojim bi se rešili energetske i ekološki problemi u transportu i mobilnoj mehanizaciji.

Problem nije jednostavan i dugo će se tražiti odgovor na to pitanje. Preliminarna istraživanja upućuju na nove izvore energije motornih goriva, kao što su goriva iz biomase, prirodni gas i ugalj (metanol, metan, ...), vodonik i električna energija.

Alternativna goriva za transport i mobilnu mehanizaciju ne bi trebalo da imaju gustinu energije po masi i zapremini manju od 10 MJ/kg. Na sli-



Sl. 1 — Toplotna gustina goriva po jedinici mase



Sl. 2 — Toplotna gustina goriva po jedinici zapremine

kama 1 i 2 mogu se videti osnovni podaci za ove parametre.

Ovi podaci mogu se prikazati i tabelarno, u formi mase goriva i njegove zapremine. Imajući u vidu različite potrebe i uslove smeštaja alternativnih goriva na vozilu, u tabeli 2 prikazani su i podaci za mase i zapremine goriva zajedno sa odgovarajućim rezervoarom.

Tabela 2

Vrsta goriva	Gorivo		Gorivo sa rezervoarom	
	kg	dm ³	kg	dm ³
Benzin	54	75	61	79
Metanol	120	149	130	161
Etanol	88	112	97	135
Prirodni gas: CNG (gas)	48	351	227	782
LGN (teč.)	48	115	109	456
Vodonik: gas na 200 bar	20	1150	1020	1870
tečnost (M ₂ H ₂)	20	289	160	289
Amonijak: tečni	129	203	206	380

Alternativna goriva i njihove osnovne karakteristike

Sa prvom energetsom krizom sedamdesetih godina počinje masovnija proizvodnja alkohol-etanola (C₂H₅OH) iz skoro svih organskih materija postupkom fermentacije. Današnja proizvodnja etanola i metanola relativno je mala i daleko je od potrebe za podmirenje gorivom transportnih sistema, a cena prevazilazi cenu benzina. Jedino je u Brazilu, zahvaljujući jeftinoj ceni sirovinke baze (šećerna trska), cena izjednačena sa cenom ben-

zina. I dok se u Južnoj Americi, kao osnova biomase, koristi šećerna trska, u Evropi se koristi uljana repica. Na ovom istraživanju rade mnoge evropske zemlje: Nemačka, Francuska, Italija i Austrija. Zapažena istraživanja kod nas počinju početkom devedesetih godina, u vreme sankcija i ekonomske blokade. Ideja je došla iz poljoprivrede pod motom »Gorivo iz poljoprivrede za poljoprivredu«. Esterifikacijom sirovog repičinog ulja uz dodatak metanola i odgovarajućih katalizatora, dobijaju se repičini metil-estri (RME) koji se popularno nazivaju biodizel.

Po svojim fizičko-hemijskim karakteristikama ovo gorivo je slično dizel gorivu D-2 [2] i koristi se u klasičnim dizel motorima bez bilo kakvih modifikacija motora. Laboratorijska i eksploataciona ispitivanja sprovedena u svetu, kao i u Institutu IMR-a Beograd i na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu, ukazuju na neznatnu razliku u pogledu pogonskih karakteristika [2]. Biodizel RME ima veći kinematski viskozitet (8,35/3,34) mm²/s i znatno višu tačku paljenja (173/70)°C u odnosu na klasično dizel gorivo D-2. RME ima manju toplotnu moć i do 15%, što upućuje na manju izlaznu snagu i veću potrošnju goriva. Struktura izduvnih gasova takođe nije identična. Emisija ugljenmonoksida CO manja je kod RME i do 20%, emisija dima i do 30%, dok je emisija ugljovodonika HC nešto veća (5%), a emisija ostalih azotnih oksida NO_x do 10%. Cena proizvodnje je viša i to u odnosu (70/21)% u korist dizel goriva D-2 [2].

Nema podataka o temperaturi samozapaljenja RME što je vrlo važno u procesu rada Dizel motora. Ta temperatura mora biti niža od temperature na kraju kompresije,

$$T_k = T_v \cdot \epsilon^{n-1} > T_{SZ_RME}.$$

Postoje simptomatični podaci o razređenju ulja za podmazivanje mo-

tora i njegovom smanjenom veku upotrebe i do 20%, bez pojašnjenja uzročno-posledične veze [2].

Navedeni rezultati upućuju na dalja istraživanja u pravcu formiranja sveže radne materije i njenu optimizaciju preko parametara kao što su: pritisci ubrizgavanja $p=(170/1400)$ [bar], stepen kompresije $\epsilon=(17/21)$, tip i oblik kompresionog prostora i drugo. Zaključak je jednostavan, nema identičnih motora visokog kvaliteta procesa sagorevanja sa gorivima različitih fizikalno-hemijskih karakteristika. Modifikacije su neminovne i to u pravcu istaknutih principa i krajnjih zahteva ekonomike i ekologije.

Bez obzira na lošije rezultate, u razvoj i istraživanje ove vrste alternativnih goriva i motora treba i dalje investirati.

Alternativna goriva iz prirodnog gasa i uglja imaju svoju perspektivu, tim pre što su u poslednje vreme pronađena velika nalazišta prirodnog gasa. Metanol je glavni predstavnik ove vrste goriva. Njegova ranija proizvodnja iz uglja Fischer-Tropschovim postupkom nije više aktuelna zbog visoke cene proizvoda. Danas se koristi novi, jeftiniji postupak, katalitička sinteza ugljenmonoksida i vodonika dobijenih modificiranom reakcijom vodenog gasa u kome metan, kao glavna komponenta prirodnog gasa, reaguje sa vodenom parom. Interesantne su i komercijalne metode dobijanja metanola iz gradskog otpada, a poznati su određeni rezultati u SAD.

Metanol je, verovatno, alternativa konvencionalnom gorivu u bliskoj budućnosti. Po svojim fizičko-hemijskim karakteristikama metanol je gorivo koje se bez posebnih tehničkih problema može koristiti u Oto motoru. Njegovo korišćenje u Dizel motoru pobuđuje izvesne probleme, kao što su loša karakteristika zapaljenja i loš uticaj na sistem za ubrizgavanje goriva.

Niža viskoznost goriva utiče na loše podmazivanje elemenata pumpe vi-

sokog pritiska, veće propuštanje goriva, kompresibilnost, sklonost ka kavitaciji i koroziji i čitav niz pratećih problema. Razvojni put primene metanola kod Dizel motora ide u pravcu prilagođavanja goriva motoru ili motora gorivu, a može i kombinovano. Do sada su poznata tehnička rešenja, kao što su modifikacija čistog alkohola, rastvori D_2-CH_3OH , emulzije i drugo. Motori koji koriste metanol imaju bolju strukturu izduvnih gasova. Emisija azotnih jedinjenja NO_x i dimna vrednost znatno su niže nego kod konvencionalnih goriva, dok je emisija ugljenmonoksida CO i ugljovodonika HC neznatno niža.

Pored toga što se prirodni gas u motoru može koristiti prerađen u metanol, može se koristiti i u osnovnoj varijanti kao komprimiran (CNG) ili u tečnom stanju (LNG), pri čemu u motoru sagoreva kao gas. Tehnički ne postoje problemi za direktno korišćenje prirodnog gasa i danas blizu 500.000 vozila koristi ovu vrstu goriva. Najviše ih ima u Rusiji, Italiji i Novom Zelandu.

Vodonik kao alternativno gorivo za motore ima dve osnovne prednosti — može se dobiti u neograničenim količinama i predstavlja najčistije gorivo u pogledu zagađenja životne sredine. To su dva bitna razloga da se intenzivno radi na metodama komercijalne primene ovog goriva, a glavni problemi njegove primene su: visoka cena proizvodnje, veliki tehnički problemi primene, aktivna i pasivna bezbednost, kao i mala energetska gustina u gasovitom stanju MJ/cm³.

Glavni izvori za dobijanje vodonika su voda i fosilna goriva. Vodonik iz vode može se dobiti: elektrolizom, toplotnom konverzijom, termohemijskom konverzijom i fotolizom, a iz fosilnih goriva: kreking-postupkom, reforming-postupkom, oksidacijom i gasifikacijom.

Perspektiva dobijanja vodonika kao pogonskog goriva jeste elektroli-

za, naročito u predstojećem periodu kada se očekuje jeftinija električna energija dobijena iz solarnih ili nuklearnih izvora (fuzije). Problem niske energetske gustine može se rešavati na principima: komprimovanje (oko 600 bara), vezivanjem za pojedine metale (hidridi) ili utečnjavanjem i čuvanjem u kriogenim kontejnerima. Tehnički problemi primene vodonika kao motornih goriva nisu zanemarivi, jer motori moraju pretrpeti značajne modifikacije. Vodonik nije prikladan za rad dizel motora, ali je zato prikladan u oto motorima. Ima široku granicu zapaljivosti i veliku brzinu prostiranja plamena, što omogućuje rad sa siromašnim smešama, čime se postiže dobar indikatorski stepen iskorišćenja i niska emisija azotnih jedinjenja NO_x .

Motorna vozila na električni pogon imaju dug i paralelan razvoj sa motorima SUS, koji preuzimaju primat dvadesetih godina, zahvaljujući jeftinoj sirovinskoj bazi nafte.

Električna vozila zaostaju u razvoju zbog male gustine energije baterija i njihove visoke cene. Takođe, jedan od izraženih problema jeste i vreme punjenja baterija. Ova vrsta motornih vozila u eksploataciji ne zagađuje okolinu, što se, inače, smatra imperativom za vozila budućnosti. Ima indicija da će se do kraja ovog veka razviti visokotemperaturne NaS baterije sa izuzetno visokim kvalitetom, ali i visokom cenom. Konkurencija bi, predviđa se, bila podnošljiva kada bi cena benzina porasla na dvostruko veću u odnosu na današnju. Za dalju budućnost u programu su gorive ćelije, gde bi se kao glavni proizvod koristio vodonik a kao nusprodukt dobila voda. Nažalost, gorive ćelije ni do danas nisu dovoljno ispitane, iako su prvi rezultati vrlo impresivni. Stepem iskorišćenja je dvostruko veći u odnosu na Oto motor. Bilo kako bilo, električna vozila postaju imperativ za eksploataciju u urbanim sredinama. U

tom pravcu rade paralelno mnogi proizvođači motornih vozila.

Razvojni centar firme Audi razvio je ekološko putničko vozilo — AUDI 100 AVANT TDI sa hibridnim duo sistemom. U prednjem delu vozila smešten je petocilindrični Oto motor, snage 100 kW, sa vučom na prednje točkove. Zadnji točkovi poseduju nezavisan elektropogon putem asinhronog motora snage 9,3 kW i obrtnim momentom od 110 Nm. Napajanje električnom energijom vrši se putem nikal-kadmijumovih baterija, napona 58,8 V. Elektropogon se uključuje u urbanim sredinama, pa je maksimalna brzina vozila svedena na 50 km/h sa ubrzanjem do 30 km/h za 8 sekundi. Radijusi kretanja su do 30 km, a baterije se napune za 45 minuta.

Firma Peugeot pustila je u serijsku proizvodnju (1995. godine) svoje električno putničko vozilo PEUGEOT-106 ELECTRIC sa motorom jednosmerne struje, snage 20 kW/(1600—6500) o/min i obrtnog momenta od 127 Nm/(0—1600) o/min. Elektromotor se napaja strujom iz nikal-kadmijumove baterije i ima radijus kretanja do 80 km. Maksimalna brzina vozila je 90 km/h, a ubrzanje do 50 km/h postiže za 8,3 sekunde. Ovo vozilo ima masu od 1060 kg i znatno je dinamičnije od vozila AUDI TDI čija je masa 1740 kg.

Pored ulaganja u razvoj putničkih motornih vozila na električni pogon, mnogi proizvođači rade na uvođenju električnog pogona i u autobuskom i komunalnom saobraćaju. Firma MAN, u saradnji sa ZF, radi na uvođenju električnog pogona na gradskim autobusima. Ovo istraživanje počelo je sedamdesetih godina, sa prvom energetskom krizom. Danas MAN obavlja eksploataciona ispitivanja sa minibusom NM 152, u koji je ugrađen EE-pogon snage 75 KW napajan iz akumulatora firme AEG. Firma ZF razvila je elektronsko upravljanje snažnim asinhronim elektromotorom ugrađenim na zadnjoj osovini. Posle prvih pet meseci

ispitivanja rezultati su bolji od očekivanih, te se očekuje dalji razvoj i dobra perspektiva ovog vozila. Radijus kretanja ovih vozila je 200 km. Firma Mercedes Benz, takođe, radi na ispitivanju EE pogona na zglobnim niskopodnim autobusima u gradskom saobraćaju.

Zaključak

Na osnovu izloženog o alternativnim gorivima motora motornih vozila, može se zaključiti sledeće:

Zamena konvencionalnih goriva motora motornih vozila društvena je

obaveza i odgovornost, zbog smanjenja raspoloživih resursa sirove nafte i zagađenja životne sredine.

Paralelno sa istraživanjem alternativnih goriva treba intenzivno raditi na usavršavanju postojećih motora.

Goriva iz biomase imaju perspektivu, posebno kada se radi o motornim vozilima u poljoprivredi, šumarstvu i građevinarstvu, a trend razvoja kreće se u pravcu prilagođavanja goriva motoru, kao i motora gorivu.

Dva analogna goriva u dva identična motora neće dati identične rezultate, (D2 i RME), što upućuje na daljnja istraživanja i razvoj.

Literatura:

- [1] Alternative Transport on Fuels and Air Pollution Impacts, OECD, ENV/AIR/90.3. Paris, 1990.
- [2] Furman, T., Nikolić, R. i drugi: Biodizel — proizvodnja i korišćenje — monografija, Poljoprivredni fakultet Novi Sad, 1993.
- [3] William K. Steinhagen: The automobile and air pollution, General Motors 1989.
- [4] Galloppulos, N. E.: Alternative fuels for reciprocating internal combustion engines General Motors Research Laboratories, Warren Michigan, 1977.
- [5] Presse Information — AUDI, MAN., Mercedes Benz.

UTICAJ POČETNE TEMPERATURE NA BR- ZINU SAGOREVANJA BARUTA U OBLASTI VISOKOG PRITISKA

UDC: 632.522.001.573

Rezime:

Razmatran je uticaj početne temperature na balističke karakteristike baruta i izlazne parametre gasodinamičkog proračuna. Za termohemijske i unutrašnjebalističke proračune korišćene su analitičke metode. Proračuni se izvode programskim rešenjima u fortranu na personalnom računaru tipa 486, sa odabranim barutom za oruđe konkretnog kalibra. Analizom rezultata proračuna izvedeni su određeni zaključci.

Ključne reči: brzina sagorevanja, početna temperatura, karakteristike baruta, gasodinamički proračun.

INITIAL TEMPERATURE INFLUENCE ON THE POWDER SPEED COMBUSTION IN THE HIGH PRESSURE RANGE

Summary:

The initial temperature influence on the ballistics characteristics of powder is considered as well as the parameters of gas dynamics calculations. Analytical methods for thermal chemical and interior ballistics calculations are used. The calculations are derived on the basis of FORTRAN language programs in 486 type PC computer using particular artillery gun powder. The results of calculations are analyzed and some conclusions are defined.

Key words: speed combustion, initial temperature, characteristics of powder, gas dynamics calculations.

Uvod

Proces opaljenja metka je složen termodinamički i gasodinamički proces vrlo brzog pretvaranja hemijske energije baruta najpre u toplotnu, a zatim u kinetičku energiju barutnih gasova koji prouzrokuju kretanje sistema: »projektil — cev — punjenje — lafet«. Ovaj proces se odvija pri visokim pritiscima (do 400 MPa) i temperaturi barutnih gasova pri njihovom stvaranju 2500 do 3700 K. Proces traje vrlo kratko, svega nekoliko hiljaditih, odnosno stotih delova sekunde. Početne brzine projektila su

do 1600 m/s, a maksimalna ubrzanja do 200000 m/s². To ukazuje da su oruđa — oružja praktično toplotne mašine snage jedne velike hidroelektrične centrale. U ovakvom procesu opaljenja pojavljuju se ogromne sile koje zahtevaju odgovarajući tretman pri razmatranju ove problematike.

Osnovni zadatak unutrašnje balistike je definisanje zakonitosti kretanja projektila za poznato oruđe — oružje. Za rešenje osnovnog zadatka potrebni su polazni podaci vezani za: cev, projektil i barut. Polazni podaci za barut su model i tip sa fizičko-hemijskim i balističkim karakteristikama.

Oruđa — oružja dejstvuju u različitim vremensko-klimatskim uslovima, tako da početna temperatura deluje na: rad posluge, odziv elektronskih, optičkih, hidropneumatskih i mehaničkih sklopova, kao i na promenu balističkih i fizičko-hemijskih karakteristika baruta. U ovom radu je analiziran uticaj početne temperature na fizičko-hemijske i balističke karakteristike baruta u oblasti visokog pritiska.

Termička dekompozicija baruta

Pri deflagraciji baruta dolazi do konduktivnog prenosa toplote sa površine u unutrašnjost baruta, čime se i energija aktivacije procesa hemijskog razlaganja predaje sa sloja na sloj, od površine u dubinu. Sagorevanjem baruta, komponente (nitroceluloza, nitroglicerol, plastifikator, balistički modifikatori, itd.) »prolaze« nepromenjene kroz zonu progrevanja debljine nekoliko desetina mikrona (slika 1) i dolaze do površinske zone degradacije, koja se naziva i meka zona [1]. Na ovom mestu temperatura je dovoljno visoka da izazove termičku dekompoziciju baruta koja predstavlja kompleksnu reakciju u čvrstoj fazi i koja se sastoji od niza paralelnih reakcija koje su nedovoljno ispitane.

sa dekompozicije: mase i homogenosti baruta, atmosfere u kojoj se vrši sagorevanje, pritiska, brzine grejanja baruta itd. Za ispitivanje procesa dekompozicije baruta primenjuju se termooanalitičke metode koje su poslednjih godina često zastupljene u hemijskim istraživanjima i kontroli kvaliteta [2].

Struktura plamena je funkcija sastava baruta i uslova pod kojima se odvija proces sagorevanja: pritiska i početne temperature. Pri tome barut proizvodi toplotu i produkte sagorevanja. Toplota se sa vrelih gasova prenosi nazad na čvrst barut i zagreva ga do temperature dekompozicije, što izaziva termičku dekompoziciju površinskih slojeva, uz sagorevanje produkata dekompozicije iznad površine baruta.

Sagorevanjem se hemijska energija baruta pretvara u toplotnu. Nosilac toplotne energije su barutni gasovi, koji imaju visoku temperaturu i pritisak. Zakonitosti sagorevanja baruta detaljno su razmatrane samo pri niskim pritiscima ($p < 10$ MPa) dok je pri visokim pritiscima istraživao samo uticaj pritiska na brzinu sagorevanja [3]. Uticaj početne temperature, T_0 , na balističke karakteristike baruta i izlazne parametre gasodinamičkog proračuna praktično nije istraživao. U is-

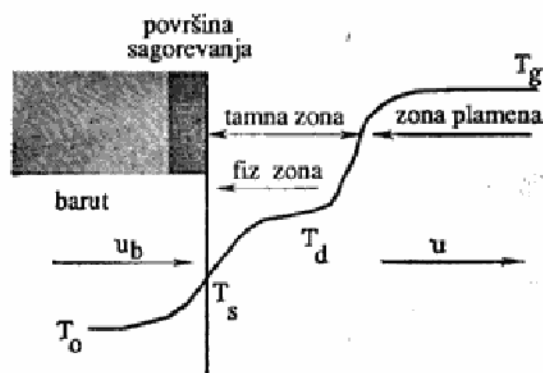


Sl. 1 — Zone sagorevanja baruta

Brzina procesa dekompozicije zavisi od jedne ili više simultanih reakcija, kao i od uslova odvijanja procesa

to vreme poznate zavisnosti brzine sagorevanja u funkciji početne temperature u (T_0) omogućavaju da se u ovom

radu dođe do odgovora o mehanizmu sagorevanja baruta pri visokim pritiscima do 300 MPa i $T_0 = 223\text{--}323\text{ K}$.



Sl. 2 — Pojednostavljen model sagorevanja baruta
 w_s — brzina reakcije komponenta, Q_g — količina toplote u gasovitoj fazi

Autori [3] su za svoje istraživanje odabrali balistite koji su energetski najsnažniji baruti i imaju veliku br-

zinu sagorevanja. Oni se koriste kod oruđa gde se traži velika impulzivnost (bacači, haubice, brdski topovi). Balistiti imaju visoku temperaturu sagorevanja (oko 3700 K), pa se zbog toga prvenstveno koriste kod oruđa sa malim punjenjima, a samo izuzetno kod oruđa sa velikim punjenjima, zbog erozije cevi. Kod odabranih baruta odnos između želatinizatora i nitroceluloze se menja od 26,5/56 do 60/40. Kao želatinizator i energetska komponenta može se naći nitroglicerina (NGL), nitroglikol (EGDN) i dietilenglikoldinitrat (DEGN). Tako se dobijaju različiti modeli baruta, koji se razlikuju po temperaturi sagorevanja. Karakteristike svih istraživanih sastava baruta svrstane su u tabeli 1. Inače, svi baruti iz tabele sadrže po 0,5—1,0% centralita i vazelina kao aditiva.

Slova u oznakama baruta označavaju tip želatinizatora, tj. druge energetski aktivne komponente, pored ni-

Karakteristike baruta

Tabela 1

Barut	Energetska komponenta	Q (kJ/kg)	Tg (K) pri p=300 MPa	f (kJ/kg)
N265	NGL	3278	2062	970
N280		3866	2322	1048
N330		4359	2627	1110
N453		4796	2889	1164
N490A		5198	3126	1196
N495		5363	3229	1203
N545		5543	3329	1220
N600		5887	3509	1237
D330	DEGN	3281	2029	965
D430		3869	2286	1052
NG280	EGDN	3889	2298	1042
NG490		5239	2994	1180

troceluloze, a brojke njegov sadržaj u desetinkama procenta, (Q — predstavlja toplotnu moć baruta, a f — specifičan rad baruta tj. »silu baruta«).

Analizom karakteristika baruta iz tabele 1 dolazi se do zaključka da porastom toplotne moći baruta raste »sila« baruta, temperatura barutnih gasova i jedinična brzina sagorevanja baruta, a opada kovolumen barutnih gasova [4].

U literaturi [3] dati su rezultati eksperimenata koji su realizovani radi određivanja brzine sagorevanja, a korišćene su metode Veljua i ugaonih tačaka.

Za metodu Veljua usvaja se jednačina brzine sagorevanja baruta

$$u = Bp^v \quad (1)$$

Koeficijenti B i v određuju se metodom najmanjih kvadrata na osnovu dobijenih eksperimentalnih podataka.

Metodom ugaonih tačaka brzina sagorevanja određuje se eksperimentalno i to na osnovu veličine svoda barutnog zrna e i vremena njegovog sagorevanja τ :

$$u = 2e/2(\tau_2 - \tau_1) \quad (2)$$

Promenom mase dopunskog punjenja menja se i jednačina pritiska. Za svaku temperaturu u intervalu $p = 25-40$ MPa realizovana su po 15-20 opita s različitim masama dopunskog punjenja kako bi se dobila kriva $u(p)$ metodom ugaonih tačaka.

Metodika ispitivanja obezbeđuje srednje kvadratno odstupanje brzine sagorevanja, za metodu Veljua, manje od 5 do 7%, a za metodu ugaonih tačaka manje od 2 do 3%. Podaci za brzinu sagorevanja pri 25-40 MPa, dobijeni u manometarskoj bombi promenljivog pritiska, slažu se sa rezultatima dobijenim u bombi konstantnog pritiska. Zavisnost $u(T_0)$ definiše

se temperaturnim koeficijentom brzine sagorevanja:

$$\beta = \frac{\partial \ln u}{\partial T_0} \mid p = \text{const} \quad (3)$$

Autori [3] ukazuju da tačno određivanje β iziskuje izvesne metodičke poteškoće, i daju konkretniji odnos:

$$\delta_\beta = \frac{2\delta_u}{\beta(T_2 - T_1)} + \frac{T_2 + T_1}{T_2 - T_1} \delta_T$$

gde je:

— δ_β , δ_u , δ_T — odstupanja pri određivanju veličina β , u i T ;

— $T_2 - T_1$ — temperaturni interval ispitivanja.

Na osnovu rezultata datih u tabeli 2, za smanjenje δ_β neophodno je sprovesti ispitivanja u što je moguće širem temperaturnom intervalu, na primer 223-323K. Pri tome, treba primeniti metodu koja obezbeđuje visoku tačnost određivanja brzine sagorevanja (odstupanje manje od 3%), kao

Tabela 2

Temperaturni koeficijent

$\beta \left(\frac{\%}{K} \right)$	$\delta_u (\%)$	$\delta_\beta (\%)$ — pri T (K)	
		223-323	293-323
1	2	46	116
	3	66	166
	5	106	266
3	7	146	—
	2	19	49
	3	26	66
5	5	39	99
	7	52	—

* $\delta_T = 1\%$

Barut	T ₀ (K)	B $\left(\frac{\text{mm}}{\text{sMPa}} \right)$	v	u (mm/s) — pri p (MPa)	
				100	300
1	2	3	4	5	6
N265	223	0,30	1,11	50	168
	293	0,52	1,05	65	207
	323	0,48	1,08	69	225
N280	223	0,53	1,06	69	219
	293	1,03	0,96	87	249
	323	1,02	0,97	89	259
N330	223	0,79	1,00	79	236
	293	1,54	0,88	89	233
	323	1,29	0,95	103	291
N453	223	0,96	0,99	92	272
	293	1,37	0,96	114	327
	333	1,46	0,96	121	349
N490	223	1,27	0,97	109	317
	293	1,84	0,94	139	391
	323	1,97	0,94	151	426
N495	223	1,47	0,95	117	332
	293	1,91	0,94	145	407
	323	2,18	0,94	165	465
N545	223	1,41	0,99	135	400
	293	2,62	0,90	165	444
	323	2,38	0,93	172	479
N600	223	1,72	0,93	126	350
	293	2,16	0,94	161	450
	323	2,54	0,91	169	459
D330	223	0,31	1,10	49	163
	293	0,45	1,07	63	203
	323	0,45	1,07	62	202
D430	223	0,42	1,08	62	205
	293	0,60	1,06	79	255
	323	0,67	1,04	82	259
NG280	223	0,34	1,12	60	206
	293	0,54	1,07	75	245
	323	0,56	1,07	78	253
NG490	223	0,42	1,16	87	310
	293	0,80	1,08	115	377
	323	0,86	1,07	118	380

što je metoda ugaonih tačaka u manometarskoj bombi konstantnog pritiska.

Veličine brzine sagorevanja, pri različitim p i T_0 , prikazane su u tabeli 3.

Analizom rezultata prikazanih u tabeli 3 uočava se da porastom početne temperature baruta raste jedinična brzina sagorevanja, koeficijent v i brzina sagorevanja baruta. Očigledno je da sa povećanjem pritiska barutnih gasova raste brzina sagorevanja.

Veličina temperaturnog koeficijenta brzine gorenja za različite barute prikazana je u tabeli 4. Karakteristika β opada sa porastom pritiska p i praktično ne zavisi od sastava baruta.

Tabela 4

Temperaturni koeficijent

Barut	$\beta \left(\frac{\%}{K} \right) - \text{pri } p \text{ (MPa)}$			
	50	100	200	300
N265	3,5	3,3	3,1	3,0
N280	3,2	2,6	2,0	1,7
N330	3,0	2,6	2,3	2,1
N453	3,6	3,3	3,1	2,9
N490	3,4	3,2	3,1	3,0
N495	3,6	3,5	3,4	3,4
N545	3,4	2,9	2,4	2,1
N600	3,1	2,9	2,8	2,7
D330	2,6	2,4	2,2	2,1
D430	3,1	2,8	2,5	2,3
NG280	2,9	2,6	2,2	2,0
NG490	3,7	3,0	2,4	2,0

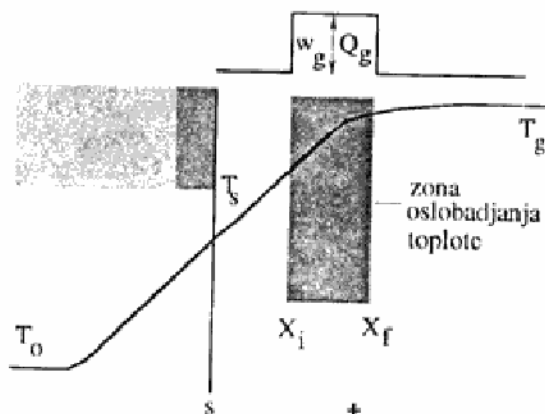
Na osnovu literature i kritičkog razmatranja mogućih mehanizama sagorevanja baruta pri visokom pritisku dolazi se do spoznaje da teorija sagorevanja baruta nije u potpunosti proučena. Razvoj savremene elektronike i mogućnosti koje ona pruža u

pogledu sve potpunijeg merenja pojava i procesa sagorevanja baruta verovatno će u skoroj budućnosti upotpuniti postojeću teoriju sagorevanja baruta. Više istraživača merilo je temperaturu površine sagorevanja i energiju aktivacije za reakcije u kondenzovanoj fazi. Njihovi rezultati su dosta dobro usaglašeni i zadovoljavaju teorijske procene, pa se može izvesti zaključak da je degradacija baruta termički fenomen [1, 2].

Gasovita faza je posebno kompleksna pošto sadrži veliki broj komponenti i reakcionih procesa. Da bi se shvatili reakcioni procesi koji se dešavaju u gasovitoj fazi, moraju se poznavati brzine reakcija svake komponente. Samo na taj način u ovoj zoni mogu se rešiti bilansne jednačine, odnosno odrediti brzina prenošenja topline sa gasovite faze na površinu sagorevanja i na taj način odrediti brzina sagorevanja.

Moguća su tri slučaja od kojih zavisi brzina reakcije u gasovitoj fazi:

1. Ako se pretpostavi da se hemijska reakcija dešava samo u ograničenom području i da je brzina reakcije konstantna u području $X=X_i$



Sl. 3 — Pretpostavljena reakciona zona pri sagorevanju baruta

i $X=X_f$, kao što je prikazano na slici 3. Brzina reakcije u gasovitoj fazi može se izraziti stepenastom funkcijom.

Debljina reakcione zone $\delta_g = X_f - X_i$ određuje se na osnovu reakcionih mehanizama u gasovitoj fazi.

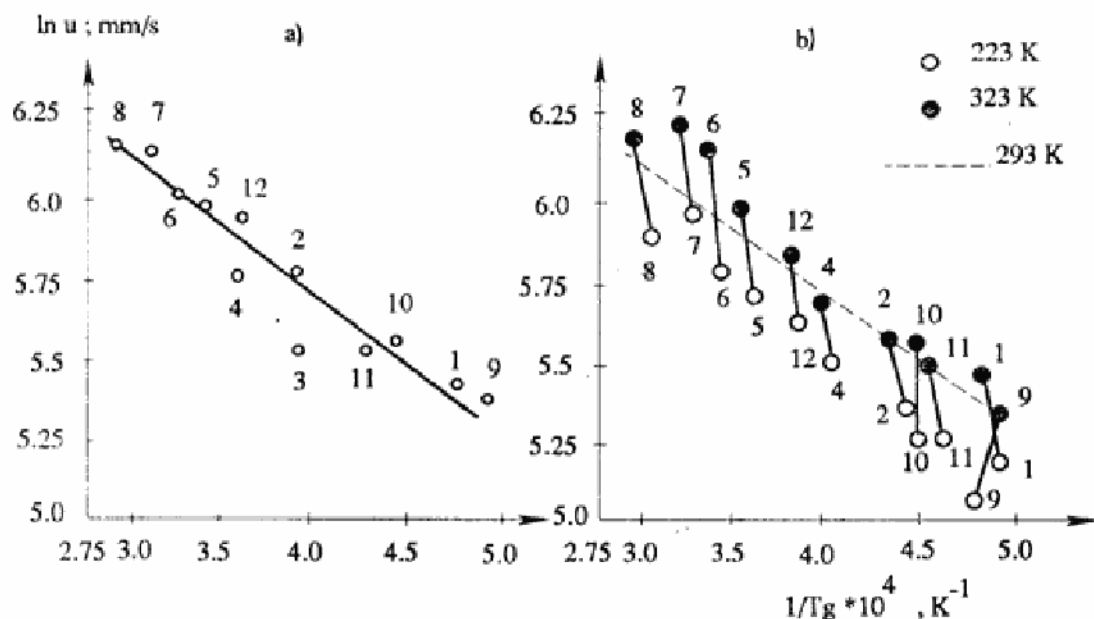
2. U ekstremnim uslovima primene slučaja 1, može se usvojiti da je $X_i = 0$. U tom slučaju reakcija startuje na površini sagorevanja. Oдавde se može izračunati koliko toplote se iz reakcione zone u gasovitoj fazi vrati na površinu sagorevanja.

3. Ako se pretpostavi drugi ekstremni slučaj za brzinu reakcije u gasovitoj fazi, i da je $X_i = X_f$, znači da je debljina reakcione zone ekstremno mala, a brzina reakcije beznačajna ili beskonačna.

Usvaja se pretpostavka da pri povećanju pritiska p vodeća reakcija*

ni najmanje nije isključeno da se vodeća reakcija odvija pri visokom pritisku i u ovoj fazi.

Određivanje veličine u pri visokom pritisku vrši se u gasnoj fazi pri maksimalnoj temperaturi T_g i jednakoj energiji aktivacije E za sve razmatrane sastave. Odabira se model i tip baruta, a zatim se postavlja verovatni model termičkog raspada nitroceluloze na osnovu kinetike mogućih hemijskih reakcija [5]. Tada je veličina $\beta = E/(2RT_g^2)$ veća što je T_g manje, i ne zavisi od p , pošto se T_g u oblasti visokog pritiska ne menja bitno sa porastom pritiska. Pri tome bi veličina β , za sastave H265 i D330, bila skoro tri puta veća od veličine za H600. Me-



Sl. 4 — Zavisnost $u(T_g)$ za $p = 300$ MPa (brojevi oko tačaka odgovaraju barutima iz tabele 1)

prethodi transformaciji kondenzovane u gasnu fazu, zanemarujući porast temperature na površini T_s [3]. Time

* Pod terminom vodeća reakcija ovde se podrazumeva sveukupnost odvijanja mnogih istovremenih reakcija s učešćem takvih oksidatora kao što su NO_2 i NO koji se stvaraju u toku procesa razlaganja komponentata baruta [3].

đutim, analizom karakteristika β za sastave H265 i H600 uočava se razlika od samo 8—12%, što se nalazi u području dozvoljenog odstupanja tokom eksperimentisanja, a za barut D330 karakteristika β je čak nešto niža nego kod baruta H600.

Ako se brzina sagorevanja baruta određuje na osnovu reakcije gasovite faze pri maksimalnoj temperaturi, tada se koordinatama $\ln u$ (l/T_g) mora dobiti prava linija. Prema tome, kako se uočava na slici 4a, eksperimentalne tačke (osim sastava H330) dobro definišu pravu liniju s tangansom ugla nagiba, koji odgovara $E=74$ KJ/mol. Ako se u istim koordinatama (slika 4b), nanese brzine sagorevanja, određene pri različitim T_0 ($dT_g/dT_0=1$), tada se uočava da promena početne temperature izaziva nesrazmerno veći uticaj na brzinu sagorevanja, što takođe menja T_g . Ako je veličina $dT_g/dT_0 < 1$, to je razlika još veća. Priказani rezultati mogu se objasniti samo uz pretpostavku da se pri visokim pritiscima sagorevanja baruta, vodeća reakcija pomera iz gasovite u kondenzovanu fazu. Prema tome, temperaturni koeficijent brzine sagorevanja opada pri povećanju p i vrlo slabo se menja pri prelazu sa jednog sastava na drugi, upravo tako kako T_g raste pri povećanju p uz neznatno menjanje pri promeni sastava baruta [3].

Unutrašnji balistički proračun konkretnog oruđa i diskusija rezultata

Očigledno je da početna temperatura baruta utiče na fizičko-hemijske i balističke karakteristike baruta. Za proračun određenih karakteristika baruta koristi se analitička metoda termohemije baruta [6]. Osnov za proračun je njegov tačan hemijski sastav. Postavljaju se određene relacije za produkte sagorevanja i bilans energije, a iz tih relacija slede i obrasci za proračun karakteristika baruta. Pri njegovom sagorevanju stvaraju se barutni gasovi — produkti sagorevanja, koji mogu biti glavni i sporedni. U glavne spadaju CO_2 , CO , H_2O , H_2 , N_2 a u sporedne OH , H , NO , O , N , O_2 . Podela je izvršena prema njihovoj međusobnoj zastupljenosti u smeši. Sporedni se javljaju u znatno manjoj ko-

ličini od glavnih produkata, i njihova veća količina se javlja tek iznad temperature sagorevanja od 2850 K. Pošto su karakteristike baruta polazni podaci pri gasodinamičkom proračunu, treba utvrditi kako i koliko početna temperatura baruta utiče na izlazne parametre proračuna.

Za rešavanje osnovnog zadatka kod nas se i danas, uglavnom, koristi klasična teorija koja polazi od tzv. geometrijskog zakona sagorevanja baruta. Na osnovu pretpostavki geometrijskog zakona izvodi se nekoliko osnovnih jednačina koje čine sistem jednačina. U tim jednačinama brzina sagorevanja baruta je linearna funkcija pritiska barutnih gasova. Kako je proces opaljenja u termodinamičkom i gasodinamičkom smislu složen neophodno ga je, na odgovarajući način, matematički opisati. Stoga je u matematičkom modelu definisano sagorevanje baruta, kretanje projektila, kretanje barutnih gasova i nesagorevanja baruta kretanje projektila i širenje barutnih gasova.

Jednačina bilansa energije postavljena je na osnovu I zakona termodinamike, a jednačina kretanja projektila na osnovu II Njutnovog zakona. Pri tome se smatra da se barutni gasovi šire po adijabatskom zakonu. Za rešenje postavljenog sistema jednačina unutrašnje balistike koriste se različite metode poznate u široj literaturi. Ove metode, međutim, imaju određene prednosti i nedostatke. Kako sve polaze od istog sistema jednačina, tačnost im je približno ista, samo je postupak različit. Sve metode daju približno zadovoljavajuća rešenja za oruđa većih kalibara. Pretpostavke na kojima se ove metode zasnivaju ne odstupaju bitno od stvarne slike procesa opaljenja pa se zbog toga koriste u ovom radu.

Za navedenu analizu potrebna su programska rešenja za:

— termohemijski proračun baruta [6].

— unutrašnji balistički proračun [7].

Za testiranje programskih rešenja odabrano je oruđe konkretnog kalibra sa svojim konstruktivnim parametrima, a varirane su samo fizičko-hemijske i balističke karakteristike baruta H265 iz tabele 1, za početne temperature od 223, 293 i 323 K. Rezultati proračuna daju karakter promena: relativne sagorele mase baruta (γ), relativne sagorele debljine baruta (ψ), pritiska barutnih gasova (p), brzine projektila (V), puta projektila u cevi (X) i vreme trajanja procesa opaljenja (t). Zbog obimnosti rezultata proračuna date su samo karakteristične tačke i to one koje su vezane za:

Tabela 5

Maksimalni pritisak

T(K)	p_m (MPa)	V_m (m/s)	X_m (m)	t_m (s)
223	205,1	290,8	0,56	0,0058
293	318,6	373,4	0,60	0,0053
323	389,9	417,3	0,62	0,0050

trenutak ostvarivanja maksimalnog pritiska barutnih gasova (indeks »m«), momenat kraja sagorevanja (indeks »k«) i momenat napuštanja usta cevi (indeks »u«).

Tabela 6

Kraj sagorevanja

T(K)	p_k (MPa)	V_k (m/s)	X_k (m)	t_k (s)
223	nepotpuno sagorevanje			
293	233	705,3	1,917	0,00768
323	342,9	649,18	1,306	0,00631

Rezultati proračuna u tabeli 5 ukazuju na to da sa povećanjem početne temperature baruta raste maksima-

lni pritisak barutnih gasova, kao i brzina i put projektila u trenutku ostvarivanja maksimalnog pritiska, a opada vreme ostvarivanja maksimalnog pritiska.

Rezultati proračuna u tabeli 6, ukazuju na to da se sa povećanjem početne temperature baruta povećava pritisak i brzina projektila, a smanjuje put projektila i vreme sagorevanja barutnog punjenja. Prvi red tabele ukazuje na to da se kod početne temperature od 223 K dobija nepotpuno sagorevanje koje znači da je projektil napustio usta cevi, a nije završeno sagorevanje barutnog punjenja. Takva kombinacija ulazno-izlaznih parametara ne daje dobro balističko niti ekonomično rešenje oruđa.

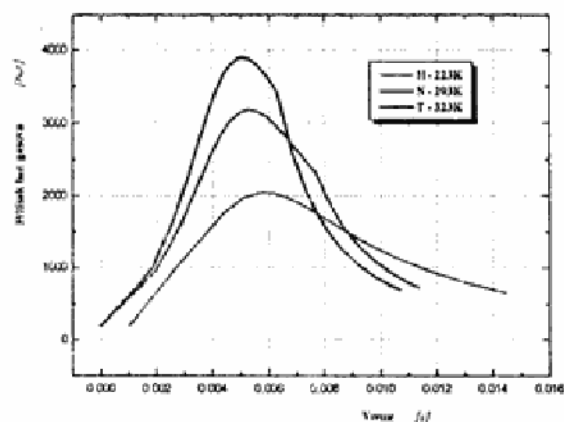
Tabela 7

Usta cevi

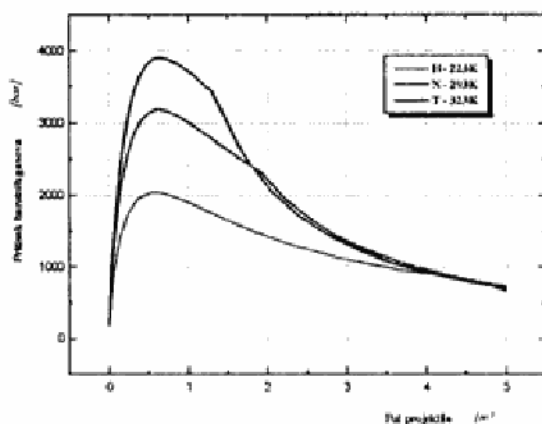
T(K)	p_u (MPa)	V_u (m/s)	X_u (m)	t_u (s)
223	67	828	5,0	0,0145
293	73,17	923,61	5,0	0,01137
323	70,49	957,12	5,0	0,0107

Analiza rezultata proračuna u tabeli 7 ukazuje da sa povećanjem početne temperature baruta raste pritisak barutnih gasova, kao i brzina projektila na ustima cevi, a opada vreme trajanja procesa opaljenja.

Kompletni unutrašnji balistički proračun za tri različite početne temperature dijagramski je prikazan na slikama 5 i 6. Na dijagramima je pritisak barutnih gasova prikazan u funkciji vremena i puta projektila, a uslovno su tri različite temperature označene slovima H-N-T. Slovo H znači »hladno« i odgovara temperaturi od 223 K, N — »normalno« i odgovara temperaturi od 293 K, a T — »toplo« i odgovara temperaturi od 323 K.

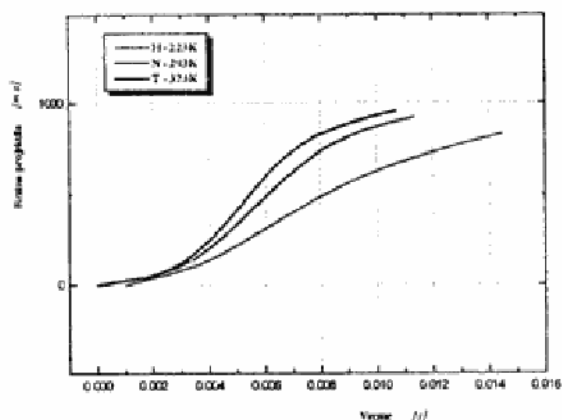


Sl. 5 — Zavisnost $p(t)$ za H-N-T



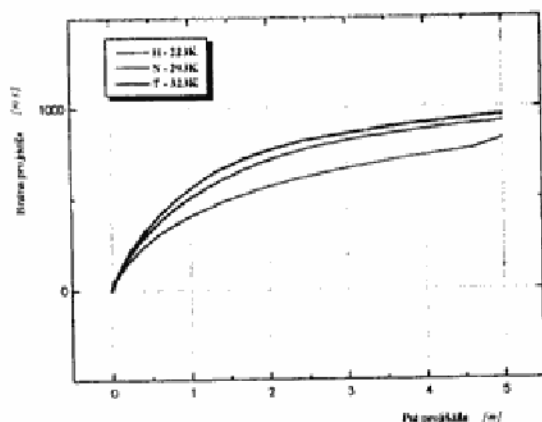
Sl. 6 — Zavisnost $p(X)$ za H-N-T

Krive brzine projektila u funkciji vremena i puta projektila za ceo tok procesa opaljenja i tri različite poč-



Sl. 7 — Zavisnost $V(t)$ za H-N-T

ne temperature baruta (H-N-T), prikazane su dijagramima na slikama 7 i 8.



Sl. 8 — Zavisnost $V(X)$ za H-N-T

Na osnovu dijagrama i tabela može se zaključiti da ako se kao etalon uzme unutrašnji balistički proračun za normalnu sobnu temperaturu od 293 K i sa njim uporede proračuni za 323 K i 223 K, dobija se povećanje p_m za 22,5% i V_0 za 3,6% odnosno smanjenje p_m za 35,6% i V_0 za 10,3%. Ako se uporede rezultati za interval promene od 100 K, tj. 223 i 323 K, dobija se povećanje p_m za 90% i V_0 za 15,57% odnosno smanjenje p_m za 47,5% i V_0 za 13,5%.

Ovakav gasodinamički proračun napravljen je za sve barute iz tabele 1 i za različita oruđa — oružja. Proračun je realizovan korišćenjem istih programskih rešenja i ustanovljeno je da ranije doneti zaključci generalno vrede i za ostale modele i tipove baruta. Rezultati proračuna se ne daju, zbog obimnosti, a oni ukazuju na sličnost karaktera promena izlaznih parametara i kod ostalih oružja — oruđa.

Zaključak

U radu je analiziran uticaj početne temperature baruta na fizičko-hemijske i balističke karakteristike ba-

ruta, kao i na izlazne parametre gasodinamičkog proračuna. Korišćeni su eksperimentalni rezultati brzine sagoravanja, fizičko-hemijskih i balističkih karakteristika baruta [3], i korektnije razmatran uticaj početne temperature na maksimalni pritisak barutnih gasova i početnu brzinu projektila. Testiran je primer gasodinamičkog proračuna na personalnom računaru za oruđe konkretnog kalibra. Odabran je model i tip baruta kome je varirana početna temperatura baruta, a ti-

me i karakteristike baruta. Rezultati proračuna ukazuju na to da sa povećanjem početne temperature baruta raste maksimalni pritisak barutnih gasova, kao i impuls pritiska barutnih gasova koji prouzrokuje povećanje početne brzine projektila, a time i domet oruđa. Na osnovu krive pritiska barutnih gasova dimenzionišu se cevi oruđa. Dimenzionisanje na osnovu krive $p(t)$ za $T=323$ K garantuje pouzdanije i sigurnije balističko rešenje za sve meteorološke i borbene uslove.

Literatura:

- [1] Timnat, Y. M.: Advanced Chemical Rocket Propulsion, Department of Aeronautical Engineering and Space Research Institute, Technion-Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, 1967.
- [2] Kubota, N.: Survey of Rocket Propellants and Their Combustion Characteristics, Japan Defense Agency, Tokyo, Japan, 1982.
- [3] Sepelev, Yu. G., Fogelzang, A. E., Denisjuk, A. P., Demidov, A. E.: Vlijanije načalnoj temperaturi na skorost gorenija balistitnih porohov v oblasti visokoga davlenija, Fizika gorenija i vzriva, br. 4/90, Moskva, 1990.
- [4] Cvetković, M.: Unutrašnja balistika, lekcije, TSC VTA KoV JNA, Zagreb, 1981.
- [5] Shechadri, T. S., Jain, V. K.: Propellant Gas Phase Chemical Kinetics, Department of Aerospace Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore, Propellants, Explosives, Pyrotechnics 14, 1989, strana 193 do 198.
- [6] Cvetković, M.: Termohemija baruta, lekcije, TSC VTA KoV JNA, Zagreb, 1980.
- [7] Tančić, Lj.: Zbirka zadataka iz unutrašnje balistike, VTA VJ Beograd, 1985.

Mr Nenad Dodić,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

PRAĆENJE MANEVRIŠUĆIH CILJEVA PREKLJUČIVANJEM KALMANOVIH FILTERA

UDC: 623.593.024:519.687

Rezime:

U radu je prikazan kompletan postupak praćenja cilja u vazdušnom prostoru preključivanjem Kalmanovih filtera šestog i devetog reda, koji uključuje detekciju nagle promene ubrzanja cilja, detekciju nultog ubrzanja i preciznu inicijalizaciju filtera. Postupak je proveren računarskom simulacijom na osnovu koje su utvrđene vrednosti parametara postupka praćenja, koje obezbeđuju kvalitetno praćenje. Postupak je dat u formi koja omogućuje jednostavnu izradu računarskog programa za praćenje.

Ključne reči: praćenje cilja, Kalmanov filter, manevar, detekcija manevra, inicijalizacija filtera, ocena stanja.

TRACKING MANEUVERING TARGETS USING KALMAN FILTERS SWITCHING

Summary:

The complete procedure of tracking maneuvering aerial targets using Kalman filters switching is given. The procedure includes the detection of a sudden change of the target acceleration, the detection of a zero acceleration and the precise filter initialisation. The whole procedure is checked using computer simulation and the tracking procedure parameters are determined. The procedure can be easily programmed.

Key words: target tracking, Kalman filter, maneuver, maneuver detection, filter initialisation, state estimation.

Uvod

Praćenje ciljeva u vazdušnom prostoru, koje omogućuje preciznu ocenu stanja cilja u svakom trenutku leta, pri čemu se pod stanjem cilja podrazumeva skup veličina koje određuju njegov položaj i ponašanje (koordinata, komponente brzine, ubrzanja) važan je zadatak, kako u oblasti osmatranja i kontrole letenja, tako i u oblasti protivvazdušne odbrane. Za rešenje ovog problema obično se kori-

sti Kalmanov filter, koji obrađuje izmerene koordinate cilja. Koordinate cilja mere se različitim senzorima, kao što su: radar, laserski daljinomer, televizijska i termovizijska kamera. Koordinate se mere u sfernom koordinatnom sistemu, a mogu se transformisati u pravougli koordinati sistem.

Kalmanov filter šestog reda daje optimalne ocene položaja i brzine cilja koji se kreće pravolinijski konstantnom brzinom, brzo konvergira, a vreme računanja jednačina filtera je kra-

tko. Ako se poveća pojačanje filtera, može se pratiti i blagomanevrišući cilj, ali uz relativno velike greške ocena stanja cilja. Kalmanov filter devetog reda daje optimalne ocene položaja, brzine i ubrzanja cilja koji se kreće jednako ubrzano. On konvergira sporije od filtera šestog reda, ima znatno duže vreme računanja i, pri povećanom pojačanju, može pratiti cilj koji manevriše promenljivim ubrzanjem, s tim da pojačanje ne sme biti toliko da šum greške ocena stanja cilja postane neprihvatljivo veliki. Kalmanovim filterom devetog reda može se pratiti i cilj koji se kreće pravolinijski konstantnom brzinom, ali filter šestog reda u tom slučaju daje tačnije rezultate.

Praćenjem ciljeva preključivanja filtera šestog i devetog reda koriste se prednosti oba filtera, a izbegavaju njihovi određeni nedostaci pri različitim režimima leta cilja. Postupak praćenja, koji će biti izložen, obezbeđuje ranu i pouzdanu detekciju nagle promene ubrzanja cilja i detekciju nultog ubrzanja cilja, a na osnovu toga pravovremeno preključivanje filtera šestog i devetog reda ili reinicijalizaciju filtera devetog reda. Koristi se poseban postupak inicijalizacije (reinicijalizacije) filtera devetog reda koji, zbog svoje preciznosti, smanjuje trajanje prelaznog režima ovog filtera, tj. greške ocena stanja cilja brže dolaze u prihvatljive granice.

Težnja je da se što je moguće više poveća tačnost praćenja manevrišućih ciljeva, bez velikog povećanja vremena računanja, a postupak je pogodan za implementaciju na komercijalnim uređajima za praćenje. Rešenje je dato u zatvorenoj formi, pogodnoj za programiranje na računaru.

Jednačine kretanja cilja

Kretanje cilja približno konstantnom brzinom opisano je jednačinom [1]:

$$\underline{x}(k) = A\underline{x}(k-1) + G\underline{w}(k-1) \quad (1)$$

gde je:

$$\underline{x} = (x_1 \dots x_6)^T = \left(x \ y \ z \ \frac{dx}{dt} \ \frac{dy}{dt} \ \frac{dz}{dt} \right)^T \quad (2)$$

$$\underline{w} = (w_1 \ w_2 \ w_3)^T \quad (3)$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$G = \begin{pmatrix} T/2 & 0 & 0 \\ 0 & T/2 & 0 \\ 0 & 0 & T/2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

gde je:

T — period odabiranja sistema,

k — diskretno vreme,

x, y, z — pravouglo koordinata cilja,

Veličine $w_i, i=1, 2, 3$ predstavljaju bele, međusobno nekorelisane gausovske šumove nultih matematičkih očekivanja i varijansi:

$$\sigma[w_i^2(k)] = \sigma_i^2, \quad i=1, 2, 3, \quad k=0, 1, \dots \quad (6)$$

Sa σ označeno je matematičko očekivanje. Kretanje cilja približno konstantnim ubrzanjem, prema [2], takođe je opisano jednačinom (1), s tim što su:

$$\underline{x} = (x_1 \dots x_9)^T = \left(x \ y \ z \ \frac{dx}{dt} \ \frac{dy}{dt} \ \frac{dz}{dt} \ \frac{d^2x}{dt^2} \ \frac{d^2y}{dt^2} \ \frac{d^2z}{dt^2} \right)^T \quad (7)$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & T & 0 & 0 & \frac{T^2}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & T & 0 & 0 & \frac{T^2}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & T & 0 & 0 & \frac{T^2}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$G = \begin{pmatrix} T^2/6 & 0 & 0 \\ 0 & T^2/6 & 0 \\ 0 & 0 & T^2/6 \\ T/2 & 0 & 0 \\ 0 & T/2 & 0 \\ 0 & 0 & T/2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Vektor $\underline{v}$ definisan je kao u prethodnom slučaju.

Jednačina merenja

Jednačina merenja je:

$$\underline{y}(k) = C\underline{x}(k) + \underline{v}(k) \quad (10)$$

gde je:

$$\underline{y} = (y_1 \ y_2 \ y_3)^T \quad (11)$$

$$\underline{v} = (v_1 \ v_2 \ v_3)^T \quad (12)$$

$\underline{y}$ — vektor merenja,

y_i , $i=1, 2, 3$ — izmerene pravoug-
le koordinate cilja,

$\underline{v}$ — vektor šuma merenja.

Matrica C , u slučaju kretanja ci-
lja približno konstantnom brzinom,
ima oblik:

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (13)$$

a u slučaju kretanja približno konstan-
tnim ubrzanjem ima oblik:

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (14)$$

Senzori mere sferne koordinate
cilja: daljinu d i uglove azimuta β i
elevacije α , a y_i , $i=1, 2, 3$ se dobijaju
transformacijom izmerenih sfernih
koordinata y_d, y_β, y_α , u pravoug-
le:

$$y_x = y_d \cos y_\alpha \cos y_\beta \quad (15)$$

$$y_y = y_d \cos y_\alpha \sin y_\beta \quad (16)$$

$$y_z = y_d \sin y_\alpha \quad (17)$$

Pretpostavlja se da su šumovi me-
renja sfernih koordinata v_d, v_β, v_α ,
aditivni beli, međusobno nekorelisani
gausovski šumovi. Neka su $\sigma_d^2, \sigma_\beta^2, \sigma_\alpha^2$
varijanse izmerenih sfernih koordi-
nata. Kovarijanse izmerenih pravoug-
lih koordinata su:

$$\sigma_x^2 = \sigma_d^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta + y^2 \sigma_\beta^2 + z^2 \sigma_\alpha^2 \cos^2 \beta = r_{11} \quad (18)$$

$$\sigma_y^2 = \sigma_d^2 \cos^2 \alpha \sin^2 \beta + \sigma_\beta^2 x^2 + z^2 \sigma_\alpha^2 \sin^2 \beta = r_{22} \quad (19)$$

$$\sigma_z^2 = \sigma_d^2 \sin^2 \alpha + r^2 \sigma_\alpha^2 = r_{33} \quad (20)$$

$$\sigma_{xy} = -xy \sigma_\beta^2 + z^2 \sigma_\alpha^2 \sin \beta \cos \beta + \sigma_d^2 \cos^2 \alpha \cos \beta \sin \beta = r_{12} = r_{21} \quad (21)$$

$$\sigma_{xz} = -zr \sigma_\alpha^2 \cos \beta + \sigma_d^2 \sin \alpha \cos \alpha \cos \beta = r_{13} = r_{31} \quad (22)$$

$$\sigma_{yz} = -zr \sigma_\alpha^2 \sin \beta + \sigma_d^2 \sin \alpha \cos \alpha \sin \beta = r_{23} = r_{32} \quad (23)$$

gde je:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad d = \sqrt{r^2 + z^2} \quad (24)$$

Jednačine (18—23) slede iz izraza (15—17), imajući u vidu osobine šumova merenja flernih koordinata. Vektor $\underline{v}$ je vektor belih, međusobno nekorelisanih šumova, koji se mogu smatrati gausovskim.

Kalmanov filter

Opšte vektorske jednačine Kalmanovog filtera su [3]:

— predikcija:

$$\hat{\underline{x}}(k|k-1) = A\hat{\underline{x}}(k-1|k-1) \quad (25)$$

$$P(k|k-1) = AP(k-1|k-1)A^T + GQ(k-1)G^T \quad (26)$$

— korelacija:

$$\hat{\underline{x}}(k|k) = \hat{\underline{x}}(k|k-1) + K(k)[\underline{y}(k) - C\hat{\underline{x}}(k|k-1)] \quad (27)$$

$$P(k|k) = P(k|k-1) - K(k)CP(k|k-1) \quad (28)$$

$$K(k) = P(k|k-1)C^T(k) [P^i(k)]^{-1} \quad (29)$$

$$P^i(k) = C(k)P(k|k-1)Cx(k) + R(k) \quad (30)$$

Matrice koje se javljaju u prethodnim jednačinama definisane su na sledeći način:

$$Q(k) = [q_{ij}(k)] = \mathcal{E}\{\underline{w}(k)\underline{w}^T(k)\} = \text{diag}\{\mathcal{E}\{w_1^2\} \mathcal{E}\{w_2^2\} \mathcal{E}\{w_3^2\}\} \quad (31)$$

$$R(k) = [r_{ij}(k)] = \mathcal{E}\{\underline{v}(k)\underline{v}^T(k)\} \quad (32)$$

$$P(k) = \mathcal{E}\{[\underline{x}(k) - \hat{\underline{x}}(k)][\underline{x}(k) - \hat{\underline{x}}(k)]^T\} \quad (33)$$

Kalmanov filter (25—30) daje optimalnu ocenu $\hat{\underline{x}}$ stanja $\underline{x}$ linearnog matematičkog modela oblika (1). Ako se u jednačine (25—30) zamene A (4), G (5) i C (13) dobija se Kalmanov filter šestog reda, koji daje optimalnu ocenu stanja modela (1) — (5), a ako se u jednačine (25—30) zamene A (8), G (9) i C (14) dobija se Kalmanov filter devetog reda, koji daje optimalnu ocenu stanja modela (1), (7) — (9).

Inicijalizacija filtera šestog reda

Kalmanov filter šestog reda inicijalizuje se u trenutku prijema drugog merenja položaja cilja. Vektor ocene stanja inicijalizuje se na sledeći način:

$$\hat{\underline{x}}_j(k_2|k_2) = \underline{y}_j(k_2), \quad j=1, 2, 3 \quad (34)$$

$$\hat{\underline{x}}_{j+3}(k_2|k_2) = \frac{\underline{y}_j(k_2) - \underline{y}_j(k_1)}{(k_2 - k_1)T}, \quad j=1, 2, 3 \quad (35)$$

gde je:

k_1 diskretni trenutak prvog, a k_2 diskretni trenutak drugog merenja. Kovarijansna matrica ocene stanja se inicijalizuje na sledeći način:

$$\begin{aligned} p_{ij}(k_2|k_2) = & r_{ij}(k_2) + \\ & + \frac{r_{i-3,j}(k_2) f(i-3, j+3)}{T(k_2 - k_1)} + \\ & + \frac{r_{i,j-3}(k_2) f(i+3, j-3)}{T(k_2 - k_1)} + \\ & + \frac{2r_{i-3,j-3}(k_2) f(i-3, j-3)}{T^2(k_2 - k_1)^2} \end{aligned} \quad (36)$$

$i, j=1, 2, \dots, 6$

gde je:

$$f(i, j) = \begin{cases} 1, & (1 \leq i \leq 6) \wedge (1 \leq j \leq 6) \\ 0, & (i < 1) \vee (i > 6) \vee (j < 1) \vee (j > 6) \end{cases} \quad (37)$$

$i, j=1, 2, \dots, 6$

Jednačina (36) sledi iz jednačina (33), (34) i (35).

Inicijalizacija filtera devetog reda

Memoriše se L prethodnih vektora merenja cilja: $y(k-m)$, $m=1, 2, \dots, L$. Pretpostavlja se da se cilj kreće jednako ubrzano na vremenskom intervalu $[(k-1)T, kT]$. Inicijalne ocene stanja $x_i(k_i|k_i)$, $j=i, i+3, i+6$, u trenutku detekcije nagle promene ubrzanja k_i , određuje se tako da parabola:

$$x_i(k) = \frac{T^2}{2} (k_i - k)^2 \hat{x}_{i+6}(k_i|k_i) - T(k_i - k) \hat{x}_{i+3}(k_i|k_i) + \hat{x}_i(k_i|k_i) \quad (38)$$

najmanje odstupa u srednjekvadratnom smislu od tačaka $[k-m, y_i(k-m)]$, $m=0, 1, \dots, L$ i to za $i=1, 2, 3$. Jednačine za određivanje inicijalnih vrednosti vektora stanja i njegove kovarijanske matrice date su u radu [4]. Ovaj način inicijalizacije, za dovoljno veliko L , obezbeđuje mnogo preciznije početne ocene koordinata i komponenti brzine cilja nego kada se koriste jednačine (25) — (27), a takođe i ocene komponenti ubrzanja cilja, što se razlikuje od uobičajene prakse da se za početnu ocenu ubrzanja usvoji nulti vektor. Primenom navedenog načina inicijalizacije postiže se brza konvergencija Kalmanovog filtera devetog reda.

Detekcija nagle promene ubrzanja

Detekcija nagle promene ubrzanja cilja vrši se radi preključivanja sa Kalmanovog filtera šestog reda na Kalmanov filter devetog reda, kada cilj, koji se kretao nultim ubrzanjem, počinje da ubrzava, a i radi ponovne inicijalizacije Kalmanovog filtera devetog reda, kada cilj naglo i značajno pro-

meni ubrzanje, pa filter nije u stanju da se ovoj promeni brzo prilagodi. Ako bi u ovim slučajevima došlo do izostanka preključivanja, odnosno reinicijalizacije filtera, proces praćenja bi počeo brže ili sporije da divergira. Kao mera divergencije filtera obično se koristi vektor inovacija:

$$\underline{i}(k) = y(k) - Cx(k|k-1) \quad (39)$$

čija je kovarijanska matrica $P^i(k)$. Zapravo, da bi se izbegao uticaj šuma vektora inovacija koristi se osrednjena kvadratna forma inovacija [1]:

$$\lambda(k) = \gamma \lambda(k-1) + i^T [P^i(k)]^{-1} \underline{i}(k), \quad 0 < \gamma < 1 \quad (40)$$

Kada se desi da je $\lambda(k) > \lambda_g$ gde je λ_g određena granična vrednost, smatra se da je došlo do promene ubrzanja. Osrednjavanje inovacija vrši se u toku ustaljenog režima Kalmanovog filtera, odnosno za $k \geq k_i + k_p$, gde je k_p prosečno trajanje prelaznog procesa filtera ($k_p = k_{pi}$ za filter šestog, a $k_p = k_{pII}$ za filter devetog reda). Inicijalna vrednost λ je $\lambda(k_i + k_p) = 0$. S obzirom na to da je opisani postupak osrednjavanja rekurentan, on ima prelazni proces trajanja k_{si} , u toku koga izlazne vrednosti $\lambda(k)$ nisu validne. Zato proveru uslova $\lambda(k) > \lambda_g$ treba vršiti za $k \geq k_i + k_p + k_{si}$.

Detekcija nultog ubrzanja

Detekcija nultog ubrzanja obavlja se radi preključivanja sa filtera devetog reda na filter šestog reda, kada cilj koji se kretao ubrzano počne da se kreće pravolinijski, konstantnom brzinom. Smatra se da se to desilo onda kada srednja vrednost $N(k)$ norme ocene vektora ubrzanja postane manja od izvesne granične vrednosti N_g , odnosno:

$$N(k) = \frac{1}{3k_u} \sum_{i=0}^{k_u-1} \sum_{j=7}^A |x_j(k-i|k-i)| < N_g \quad (41)$$

Da bi se prethodni uslov ispitao potrebno je memorisati (baferovati) k_a — poslednjih normi. Memorisanje treba obavljati u ustaljenom režimu rada filtera, tj. kada je $k \geq k_I + k_{PII}$, a proveravanje uslova (41) kada je $k \geq k_I + k_{PII} + k_a$.

Postupak praćenja

Na slici 1 prikazan je dijagram toka praćenja cilja. Kada se izmere dva položaja cilja počinje ocenjivanje stanja cilja: izračunavaju se elementi kovarijanske matrice merenja $R(k)$ — jednačine (18—23), inicijalizuje se Kalmanov filter šestog reda i počinje da se primenjuje ocenjivanje stanja cilja. Popunjava se i obnavlja bafer za pamćenje L — vektora merenja položaja cilja. Nakon završetka prelaznog procesa filtera počinje osrednjavanje kvadratne forme inovacije, a nakon završetka prelaznog procesa filtera za osrednjavanje počinje detekcija nagle promene ubrzanja.

Ako je promena ubrzanja detektovana obavlja se inicijalizacija filtera devetog reda i nadalje se primenjuje taj filter. Po isteku prelaznog procesa ovog filtera ponovo počinje osrednjavanje kvadratne forme inovacije, kao i memorisanje normi ocena ubrzanja. Nakon što je memorisano prvih k_a — normi počinje detekcija nultog ubrzanja. Ako je nulto ubrzanje detektovano, prelazi se na filter šestog reda, koji ne treba inicijalizovati već se preuzimaju zatečene vrednosti ocena koordinata i komponenti brzine cilja i njihovih kovarijansi, koje je dao filter devetog reda, s obzirom na to da su ove vrednosti dovoljno dobre. Na slici 2 prikazan je primer vremenske raspodele aktivnosti vezanih za praćenje cilja.

Simulacija praćenja

Simuliran je optoelektronski sistem praćenja, gde su televizijska kamera i laserski daljinomer senzori za

merenje položaja cilja. Simulira se servopokretanje senzora, merenje uglova orijentacije senzora, uglova cilja u odnosu na optičku osu senzora, kao i daljine cilja. Pri tome se simuliraju šumovi merenja, kao i kvantovanje signala senzora. Algoritam praćenja (slika 1) koristi rezultate simuliranog merenja, u realnom vremenu određuje ocenu stanja cilja, na osnovu koje se generišu upravljački signali za servosisteme za pokretanje senzora. Moguće je simulirati povremene prekide u merenju položaja cilja. Parametre leta cilja, procesa merenja, praćenja i upravljanja servosistemima, uključujući i period odabiranja i varijanse šumova merenja, moguće je proizvoljno zadavati.

Rezultati simulacije

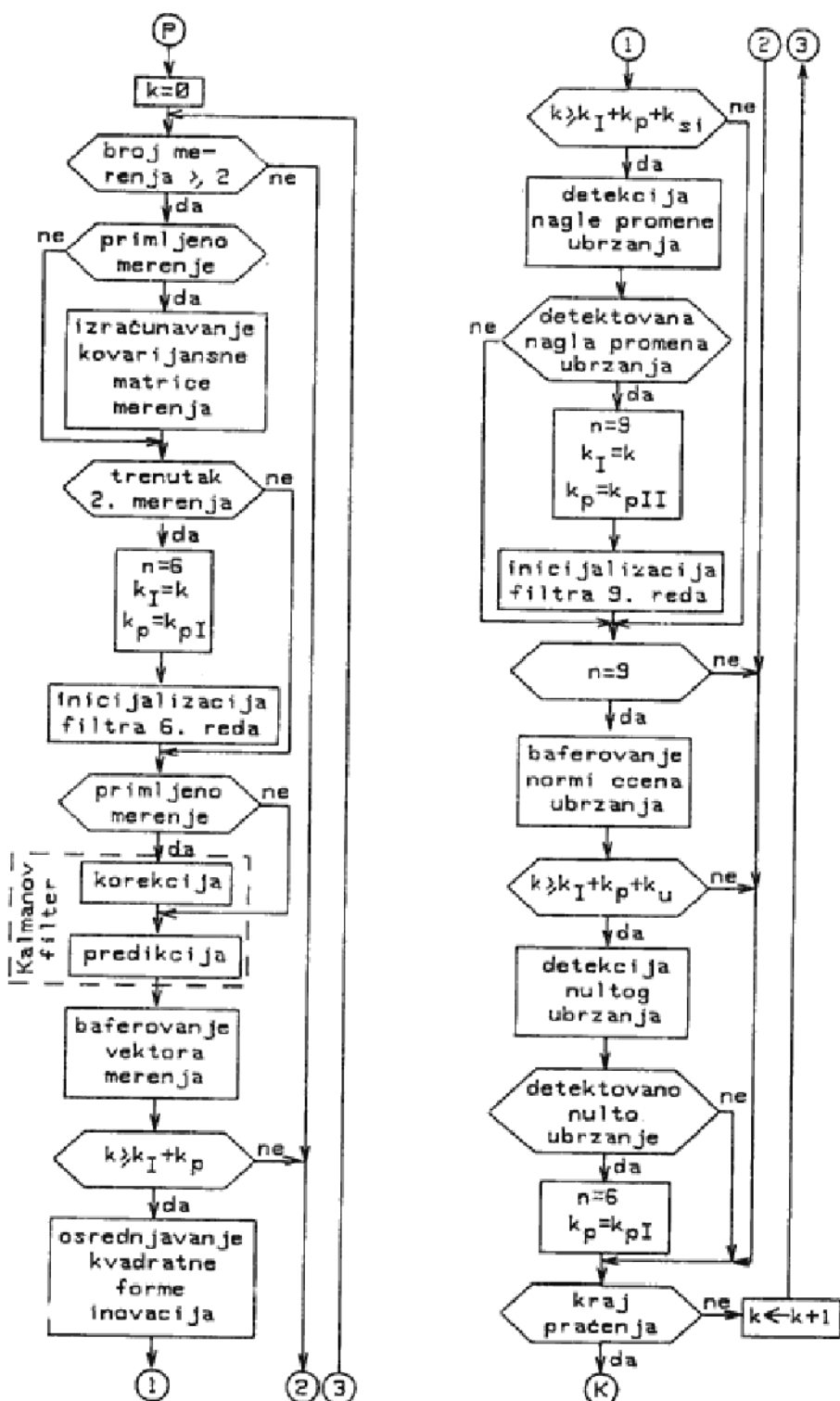
Na osnovu ispitivanja procesa praćenja cilja pri različitim oblicima putanje, za period odabiranja $T=0,04$ sekundi i varijanse šuma merenja date u tabeli 1, došlo se do vrednosti parametara procesa praćenja datih u tabeli 2, koje obezbeđuju kvalitetno praćenje ciljeva koji se kreću približno konstantnom brzinom ili konstantnim ubrzanjem, sa povremenim prelascima s jednog režima kretanja na drugi.

Tabela 1

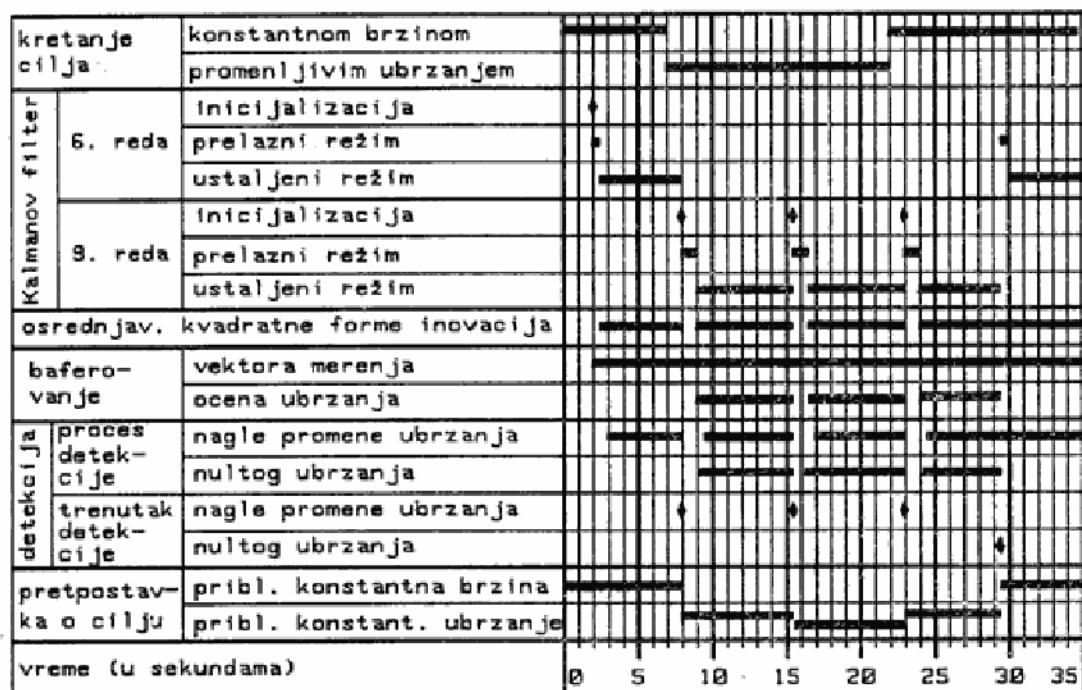
Varijanse šuma merenja

Veličina	Varijansa šuma	
	najmanja	najveća
α (rad ²)	$2,560 \cdot 10^{-8}$	$4,494 \cdot 10^{-6}$
β (rad ²)	$2,704 \cdot 10^{-7}$	$6,1504 \cdot 10^{-6}$
d (m ²)	2,25	2,25

Pri jednoj simulaciji praćenja cilja, koji se kreće po putanji prikazanoj na slici 3, dobijene su ocene koordinata, komponenti brzine i ubrzanja cilja s greškama prikazanim di-



Sl. 1 — Dijagram toka praćenja cilja



Sl. 2 — Vremenski dijagram praćenja

Parametri praćenja

Parametar	Vrednost
k_{pi}	33
k_{pi}	55
k_u	16
k_u	9
L	25
$q_{11}, (m^2/s^3), \text{ za } n=6$	0,0004
$q_{22}, (m^2/s^3), \text{ za } n=6$	0,0004
$q_{33}, (m^2/s^3), \text{ za } n=6$	0,0004
$q_{11}, (m^2/s^4), \text{ za } n=9$	0,1225
$q_{22}, (m^2/s^4), \text{ za } n=9$	0,1225
$q_{33}, (m^2/s^4), \text{ za } n=9$	0,1225
T (s)	0,04
γ	0,92
λ_z	100

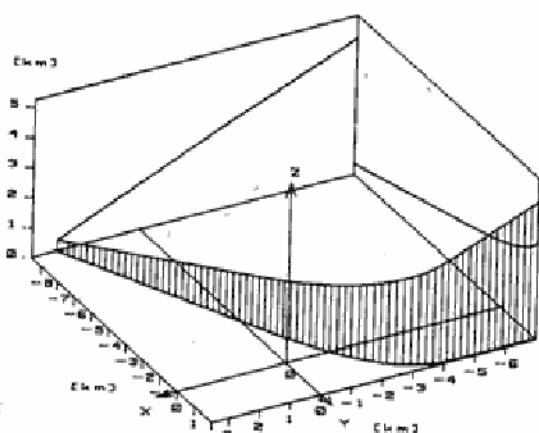
Tabela 2

jagramima, na slikama 4 do 12. U intervalima od 0 do 10 i od 24 do 35 sekundi cilj se kreće konstantnom brzinom, a u intervalu od 10 do 24 sekundi on se kreće ubrzano (ubrzanje je 45 m/s^2). Simulirani su prekidi u procesu merenja — merenja položaja cilja nije bilo u vremenskim intervalima: od 6 do 9,28 sekundi, od 16,5 do 19,28 sekundi i od 30 do 33,76 sekundi. Na dijagramima se vidi da su posledice gubitaka merenja u periodima kada se cilj kreće konstantnom brzinom, a da se pri ubrzanom kretanju cilja, zbog gubitaka merenja, javlja izvesna divergencija praćenja, koja se pri nastavku merenja brzo eliminiše. To ukazuje na to da se na osnovu ocena stanja cilja može prilično precizno vršiti predviđanje njegovog položaja nekoliko sekundi unapred.

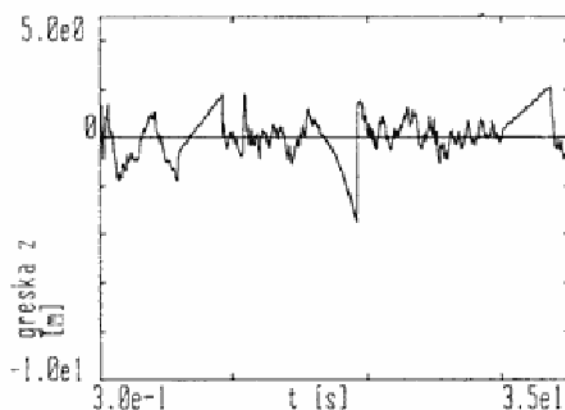
U tabeli 3 prikazane su srednje-kvadratne greške ocena koordinata, komponenti brzine i ubrzanja cilja. Osrednjavanje je vršeno po vremenu,

u intervalima navedenim u tabeli, kao i po realizacijama simuliranog praćenja (za 20 simulacija). Prva tri inter-

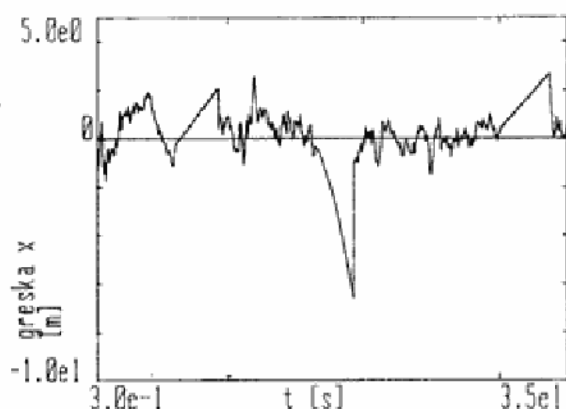
vala odgovaraju ustaljenim režimima Kalmanovih filtera.



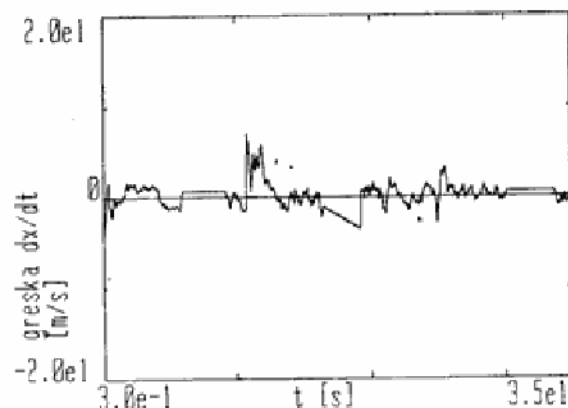
Sl. 3 — Putanja cilja



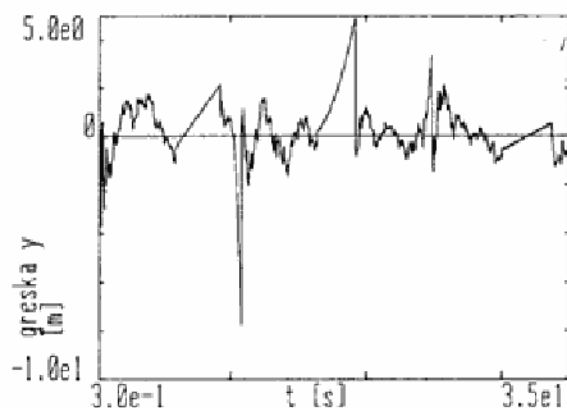
Sl. 6 — Greska ocene z-koordinate



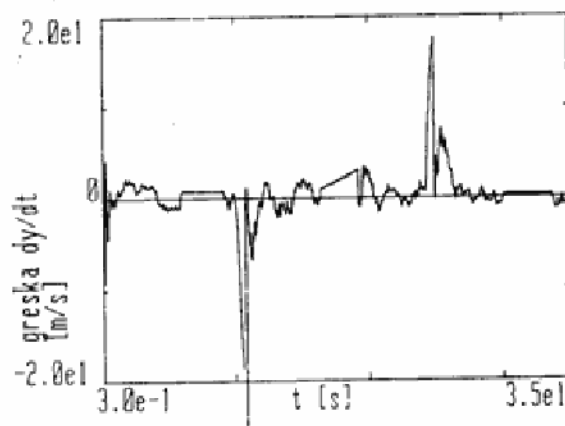
Sl. 4 — Greska ocene x-koordinate



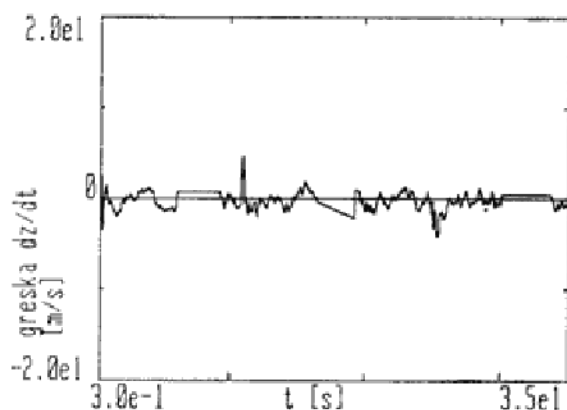
Sl. 7 — Greska ocene x-komponente brzine



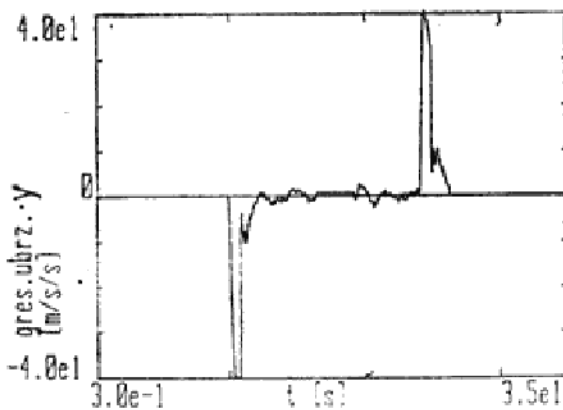
Sl. 5 — Greska ocene y-koordinate



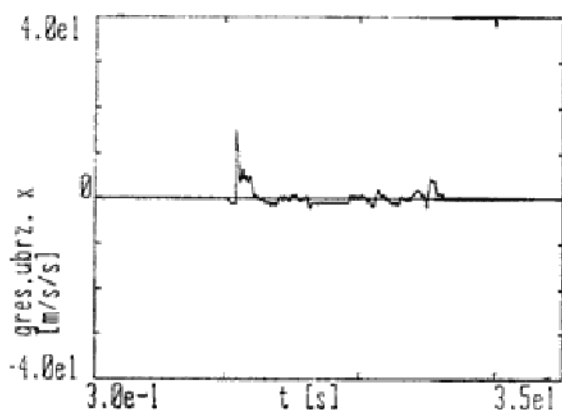
Sl. 8 — Greska ocene y-komponente brzine



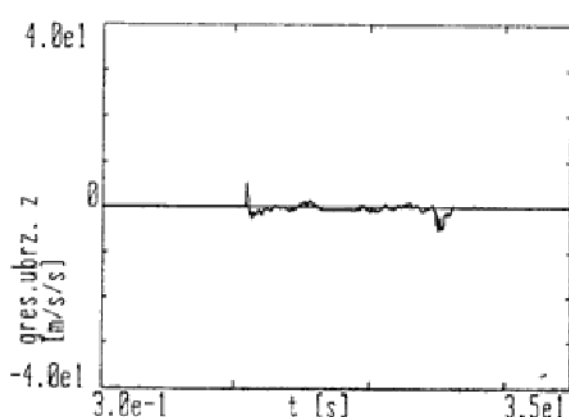
Sl. 9 — Greška ocene z-komponente brzine



Sl. 11 — Greška ocene y-komponente ubrzanja



Sl. 10 — Greška ocene x-komponente ubrzanja



Sl. 12 — Greška ocene z-komponente ubrzanja

Tabela 3

Srednjekvadratne greške

Interval (s)	1,5 do 10,0	12,0 do 24,0	27,0 do 35,0	1,5 do 35,0
σ_x (m)	0,62	0,41	0,53	0,52
σ_y (m)	0,89	0,48	0,50	1,10
σ_z (m)	0,68	0,51	0,53	0,60
$\sigma_{\dot{x}}$ (m/s)	0,74	1,02	0,59	1,15
$\sigma_{\dot{y}}$ (m/s)	0,53	0,96	0,57	3,68
$\sigma_{\dot{z}}$ (m/s)	0,46	0,79	0,56	0,97
$\sigma_{\ddot{x}}$ (m/s ²)	0	0,97	0	1,54
$\sigma_{\ddot{y}}$ (m/s ²)	0	0,86	0	6,13
$\sigma_{\ddot{z}}$ (m/s ²)	0	0,60	0	0,91

Zaključak

Izloženi postupak praćenja preključivanjem dva Kalmanova filtera, obezbeđuje dovoljno precizno praćenje manevrišućeg cilja u vazdušnom prostoru bez smanjenja tačnosti praćenja cilja koji se kreće pravolinijski, konstantnom brzinom, što je najčešći režim kretanja ovakvih ciljeva. Za razliku od postupka praćenja primenom jednog Kalmanovog filtera devetog reda, čak i kada je on adaptivan, opisa-

ni postupak daje optimalne rezultate i u režimu leta cilja konstantnim ubrzanjem i u režimu leta konstantnom brzinom. Stoga je pogodniji za praćenje cilja koji menja način kretanja.

Opisani postupak može se pojednostaviti tako što će se Kalmanov filter devetog reda inicijalizovati na način dat u literaturi [2]. Posledica ovog pojednostavljenja biće produženo trajanje prelaznog procesa filtera devetog reda, bez degradacija ostalih karakteristika celokupnog postupka praćenja.

Literatura:

- [1] Bar-Shalom, Y., Birmiwal, H.: Variable Dimension Filter for Maneuvering Target Tracking, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, vol. 18, No. 5, p. 621—629, Sept. 1982.
- [2] Gutman, P., Velger, M.: Tracking Targets Using Adaptive Kalman Filtering, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, vol. 25, No. 5, p. 691—698, Sept. 1990.
- [3] Sorenson, H. W.: Kalman Filtering techniques, Ed. C. T. Leondes: Advances in Control Systems Theory and Applications, Vol. 3, 1966, p. 219—232, Academic Press.
- [4] Dodić, N.: Inicijalizacija Kalmanovog filtra metodom najmanjih kvadrata pri detekciji manevra, Naučno-tehnički pregled, god. XLIV, br. 8, str. 19—24, 1994.

KONCEPT SIMULACIONOG MODELA RADARSKOG SENZORA PREPREKA ZA NISKOLETEĆE PLATFORME

UDC: 629.735.052

Rezime:

U radu je predložen koncept simulacionog modela radarskog senzora prepreka za niskoleteće platforme. Zasnovan je na fenomenologiji refleksije (raspršenja) elektromagnetskih talasa od površine terena, odnosno na prostornoj selekciji vidljivih elementarnih reflektora (raspršivača) unutar rezolucionih ćelija na površini terena, kao i proceni njihovih doprinosa u odbircima tekućeg prijemnog signala. U suštini, to je koncept simulacionog modela tekućeg prijemnog signala, koji omogućava vernu karakterizaciju prostora (detekciju prepreka na trajektoriji leta) i ocenu parametara prijemnog signala, tj. merenje daljine do prepreke i ugla pod kojim se one vide sa NLP.

Ključne reči: radarski senzor prepreka, niskoleteće platforme, izbegavanje prepreka, automatsko praćenje terena, modeli raspršenja, simulacija, odmerak prijemnog signala.

CONCEPT OF COMPUTER SIMULATION MODEL OF OBSTACLE RADAR SENSORS FOR LOW-FLYING PLATFORMS

Summary:

A concept of computer simulation model of obstacle radar sensors for low-flying platform is presented in this paper. It is based on the phenomenology of electromagnetic wave reflection (scattering) from all visual surfaces (scattering) inside the resolutionary cell as well as on the evaluation of its contribution in sampling the current receiving signals. In fact, this concept is a computer simulation model of the current receiving signals, which enables the complete characterization of space: detection of obstacles on the fluent flight track and evaluation of receiving signal parameters (measurement of the range to the obstacle and the angle under which it is seen from a low-flying platform).

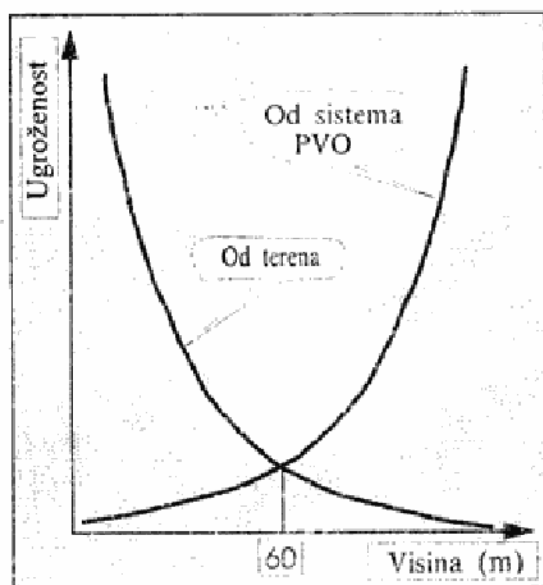
Key words: obstacle radar sensor, low-flying platform, obstacle avoidance, automatic terrain searching, scattering models, simulation, received signal sample.

Uvod

Savremena borbena dejstva izvode se po celoj dubini protivničke teritorije, u svim vremenskim i meteorološkim uslovima i uz maksimalno korišćenje iznenađenja. Zbog toga se od

savremenih sredstava ratne tehnike (SRT) zahteva: veliki domet, brzo otkrivanje i dejstvovanje po ciljevima u svim meteorološkim uslovima. Ovakvi zahtevi danas se realizuju sredstvima koja dejstvuju brzo, velikog su dometa i prostorne fleksibilnosti, što je od-

lika sredstava koja dejstvuju iz vazdušnog prostora. Dakle, borbena dejstva se sve više prenose u vazdušni prostor. U skladu sa tim, definisane su i koncepcije dejstva vodećih svetskih sila (trodimenzionalni rat, udar sa distance, itd.). Nosioći borbenih dejstava su: avioni, helikopteri, bespilotne letelice i krstareće rakete.



Sl. 1 — Ugroženost NLP u funkciji visine leta

Zbog ugroženosti od protivvazdušne odbrane (PVO) ova SRT su prinuđena da lete na malim i vrlo malim visinama [1—3], pa se zato i zovu niskoletеće platforme (NLP). Ukupan rizik pri letu na malim i vrlo malim visinama sastoji se od rizika da NLP udari o prepreku na zemlji i da bude oboren sistemima PVO sa zemlje (slika 1).

Radi izbegavanja udara o prepreku na zemlji, savremeni NLP opremaju se radarskim senzorima (RS) prednje polusfere [3] ili, kraće, radarskim senzorima prepreka (RSP). Za obavljanje ove funkcije primenjuju se RS iz prostog razloga što samo oni mogu da,

u svako doba dana i u otežanim meteorološkim uslovima, obezbede pouzdane informacije o preprekama na trajektoriji leta.

Istraživanja su pokazala [1] da minimalnu ugroženost imaju NLP opremljeni sa RSP i dobro uvežbanom posadom, pri letu na relativnoj visini od 60 m.

Osnovne pretpostavke u kojima RSP, s obzirom na karakteristike dejstava NLP, obavljaju svoju funkciju su:

- različiti reljefi terena (ravničarski, brdovit, planinski, i njihove kombinacije),
- relativno široka rezoluciona površina i veliki broj različitih reflektora (raspršivača) na njoj,
- velika brzina obrade signala, s obzirom na visinu leta i relativno malu daljinu do prepreka,
- zahtev za veliku verovatnoću pravilne detekcije, uz minimalnu verovatnoću lažne uzbune.

Funkcije radarskog senzora prepreka na niskoletеćim platformama

Funkcija RSP na NLP jeste da obezbedi pouzdanu informaciju o preprekama na trajektoriji leta za sledeće modove rada [1]:

- ručno praćenje terena (terrain clearance radar);
- ručno izbegavanje prepreka (terrain avoidance radar);
- automatsko praćenje terena (terrain following radar).

Za razliku od prvih realizacija, gde je svaki mod rada ostvarivan posebnim RS, savremeni višefunkcijski avionski radari ne samo da obavljaju više funkcija već i funkcije dveju bitno različitih misija [4]: vazduh — zemlja i vazduh — vazduh.

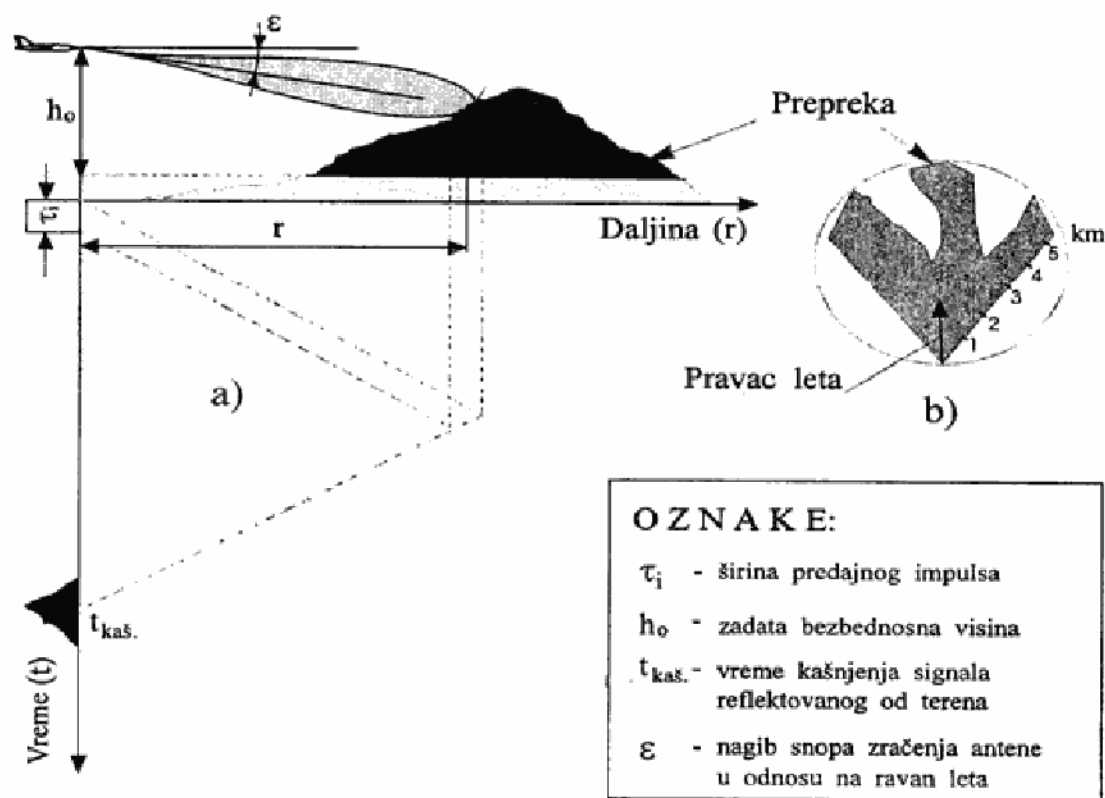
Navedeni modovi rada RSP za NLP često se kombinuju sa ostalim funkcijama višefunkcijskih radara, kao što su: mapiranje terena, praćenje ciljeva na terenu, merenje brzine leta i dr. Takvi su, na primer, američki avionski višefunkcijski radari AN/APG-66 [5] i AN/APG-68 [6] i radari francuske proizvodnje RDM i RDI [7].

Kod modova rada u misiji vazduh — zemlja nosioci informacija o terenu — moru, ciljevima na njima i hidrometeorološkim pojavama su reflektovani (raspršeni) elektromagnetski talasi. Kod modova rada u misiji vazduh — vazduh situacija je sasvim dru-

htevaju primenu određenih metoda obrade signala radi njihove eliminacije. U ovom radu razmatrane su samo funkcije RSP u modovima rada ručnog izbegavanja prepreka i automatskog praćenja terena.

Slika 2 ilustruje funkciju RSP u modu ručnog izbegavanja prepreka — stvaranja konturne mape. Suština se svodi na preslikavanje terena u pravcima leta NLP na radarski pokazivač. Prepreke na terenu, koje nadvišuju tzv. bezbednosnu visinu NLP moraju se izbeći.

Funkcija RSP u sistemu upravljanja letom u modu automatskog praće-



Sl. 2 — Princip rada RSP za izbegavanje prepreka:
a) geometrija formiranja konturne mape terena, b) slika terena prednje polusfere na radarskom pokazivaču

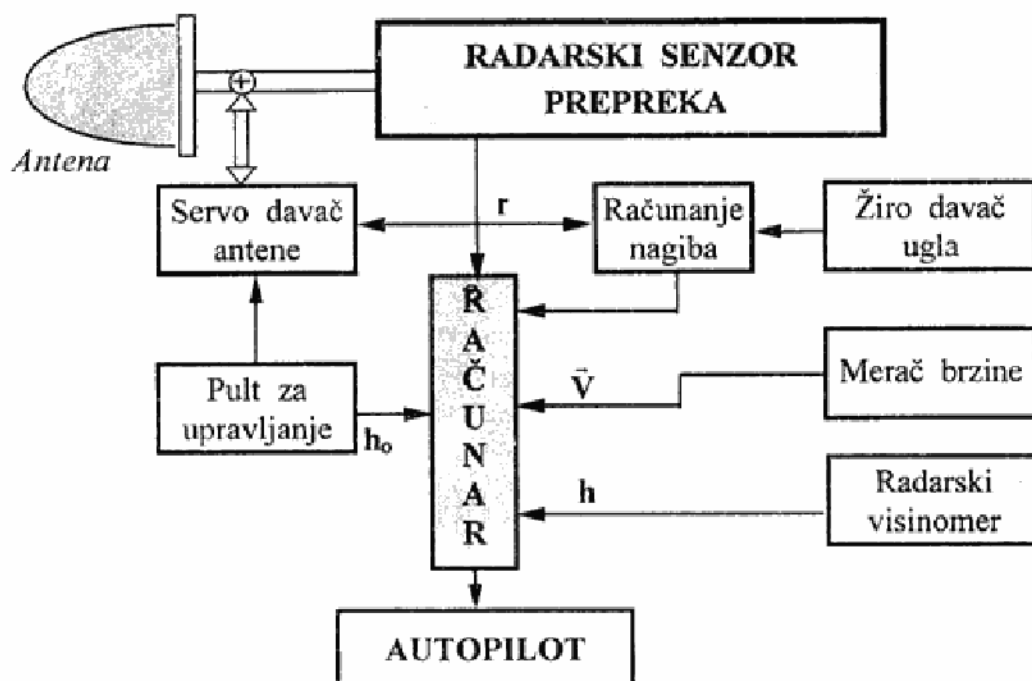
gačija. Reflektovani — raspršeni elektromagnetski talasi od terena (mora) i ciljeva na njima su smetnje, koje za-

nja terena može se shvatiti pomoću strukturne šeme prikazane na slici 3. RSP i radarski visinomer su senzori

ovog sistema. Za svaku prepreku, koja nadvišava bezbednosnu visinu (h_0) RSP određuje njenu udaljenost (r) i ugao (ϵ). Funkcija sistema za upravljanje letom NLP u modu automatskog praćenja terena jeste generisanje upravljačkih signala za njegovo prevođenje iznad prepreka terena. Posle prelaska prepreke, dok RSP traži sledeću, spuštanjem NLP do bezbednosne visine, kao i upravljanje letom iznad

stoje u funkcijama koje obavlja računarski podsistem.

U modu ručnog izbegavanja prepreka u sistem upravljanja letom uključen je i pilot, koji, na osnovu radarske slike terena bira putanju leta, tj. odlučuje o manevru u levu ili desnu stranu od prepreke na koju nailazi [2]. Naravno, pri tome RSP obavlja sektorsko skaniranje po azimutu.



Sl. 3 — Strukturna šema sistema za praćenje reljefa terena

mora i ravnog terena, obavlja se na osnovu informacija od radarskog visinomera.

U obezbeđenju sigurnog leta NLP, bilo da je reč o modu ručnog izbegavanja prepreka ili o automatskom praćenju terena, funkcija RSP svodi se na jednu te istu [2—7]: merenje udaljenosti do prepreka na terenu i uglova pod kojima se one vide. U prvom slučaju radi se o azimutu, a u drugom o elevaciji, respektivno. Veće razlike po-

U modu automatskog praćenja terena, u sistemu upravljanja nema pilota. Istina, on se može javiti kao nadzorni organ, koji ima mogućnost da koriguje let. Sistem upravljanja letom NLP u ovom modu koristi informacije još i od radarskog visinomera, merača brzine, itd. [2]. Antena RSP u modu automatskog praćenja terena skanira sektorski, u pravcu leta, po elevaciji.

Dostupna literatura i baze podataka ne nude puno informacija o RSP.

Zna se samo da su savremeni avioni bombarderi, npr.: TORNADO ISD, MIRAGE 2000, A/F-18 i drugi, opremljeni radarima za praćenje terena. S druge strane, savremene krstareće rakete ALCM¹, SLCM² (TOMAHAVK), SS-N3 (SNADDOCK) i druge koriste tzv. TERCOM³ navigacioni sistem. One lete na osnovu podataka o visini terena, koji se nalaze u memoriji računara, uz korigovanje putanje leta na kontrolnim tačkama. Korekcija se vrši na osnovu razlike između podataka o visini terena, koji postoje u memoriji računara i izmerenih visina terena iznad kojeg raketa trenutno leti. Funkciju senzora u ovom sistemu vrši radarski visinomer.

Očito funkcije RS na NLP spadaju u misiju vazduh — zemlja, gde su reflektovani (raspršeni) elektromagnetski talasi od površine terena (mora) nosioci informacije o prisustvu prepreka na trajektoriji leta, daljini do njih i uglovima pod kojima se sa trenutne lokacije NLP one vide.

Osnovni predmet istraživanja u ovom radu je koncept matematičkog, i njemu odgovarajućeg simulacionog modela RSP za NLP, koji treba da bude otvoren za različite vrste terena, visine i brzine leta NLP, načine i brzine skaniranja snopa zračenja antene, kao i dalje mogućnosti proširenja u prostoru parametara RSP sa osnovnom funkcijom da pribavlja informacije o preprekama na trajektoriji leta.

Dakle, RSP svoju funkciju u sistemu vođenja NLP ostvaruju vršeci detekciju prepreka na terenu i merenjem daljina do njih, i jednog od uglova pod kojim se prepreke vide (azimut ili elevaciju). Oblast istraživanja, matematičko modelovanje RS i simulacija njihovog rada na računaru, dosta je razvijena. To se posebno odnosi na modele refleksije (raspršenja) elektromagnetskih talasa od različitih vrsta terena, a i analizu i sintezu RS. Značajni radovi iz ove oblasti, devedesetih godina, objavljeni su i u našoj zemlji.

¹ ALCM — Air Launched Cruise Missiles — krstareće rakete lansirane iz vazduha;

² SLCM — Sea Launched Cruise Missiles — krstareće rakete lansirane s mora;

³ TERCOM — Terrain COntour Matching technique ili Terrain COmparison Method — tehnika praćenja konture terena.

Teorijska i fenomenološka zasnovanost modela

Radarske senzorske prepreke spadaju u aktivne monostatičke RS kod kojih nosilac informacije — signal, biva raspršen (reflektovan) od objekata u posmatranom prostoru. U teoriji radio-lokacije to su tzv. ciljevi s raspodeljenom radarskom površinom, pod kojima podrazumevamo ciljeve većih dimenzija (površina ili zapremina) od rezolucione površine (zapremine) RS. U osnovi svega leži sam proces raspršenja elektromagnetskih talasa od objekata u prostoru ili od površine terena i objekata na njemu. Elektromagnetski talasi, padajući na površinu terena pokrivenu prirodnim objektima (biljnim pokrivačem, obradive kulture, šume, pašnjaci, goleti i dr.) ili veštačkim objektima (putevi, željezničke pruge, naselja, itd.), raspršuju se od velikog broja slučajno raspoređenih elementarnih raspršivača. Model raspršenja od površine terena, kao skupa velikog broja nezavisnih elementarnih raspršivača, zasnovan je na tzv. Hajgens-Kirkofovom (Huyghens-Kirchoff) principu, po kome svaki elementarni raspršivač, na koji padaju elektromagnetski talasi, postaje sekundarni izvor zračenja (slika 4).

Prijemni signal, raspršen od ciljeva s raspodeljenom radarskom površinom, nastaje uz pretpostavke da:

— signal od jednog elementarnog raspršivača ne zavisi od drugih,

— broj osvetljenih raspršivača na rezolucionalnoj površini mora biti veliki, a njihove raspršne osobine su približ-

no jednake — nema dominantnih raspršivača.

Radarska površina rezolucione ćelije, po modelu relativne faze, iznosi:

$$\sigma = \left| \sum_{i=1}^N \sqrt{\sigma_i} \exp(-j\beta d_i) \right|^2 \quad (1)$$

gde je:

$$\beta = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \quad \text{— fazna konstanta,}$$

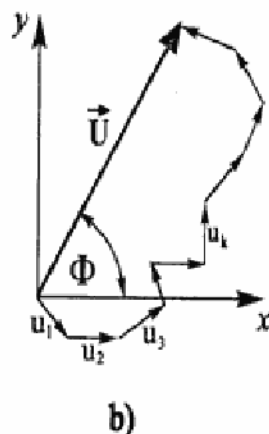
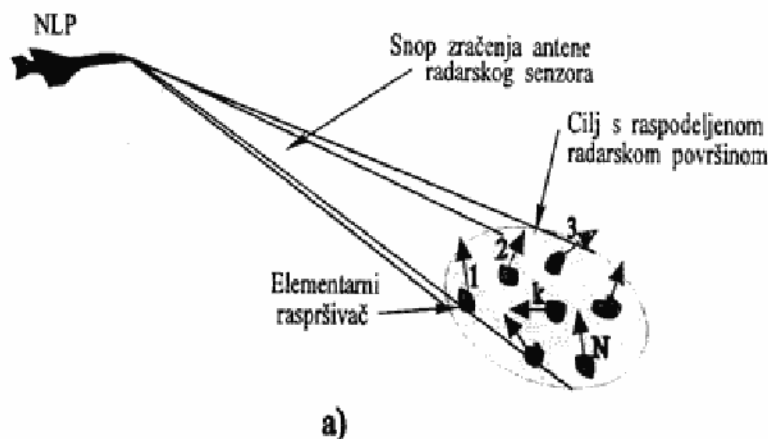
$$\sigma_i = \sigma_{0i} \cdot A \quad \text{— radarska površina elementarnog raspršivača A,}$$

Polazeći od modela (2), za signal koji nastaje raspršenjem od N elementarnih signala (slika 4), može se napisati:

$$\begin{aligned} \dot{u}_s &= \sum_{i=1}^N u_i \cos(\omega \cdot t - \omega t_i + \varphi_i) = \\ &= U \cos(\omega \cdot t + \Phi) \end{aligned} \quad (3)$$

gde je:

u_i — amplituda elementarnog signala, koja zavisi od energetske potencijala radarskog senzora, njegove udaljenosti od i-tog raspr-



Sl. 4 — Princip raspršenja elektromagnetskih talasa od ciljeva s raspodeljenom radarskom površinom:

a) elementarni signali, b) sumarni signal—suma svih fazora elementarnih signala »osvetljenih« raspršivača

d_i — relativna razdaljina između raspršivača.

Kako je, zbog prostornih fluktuacija elementarnih površina σ_i , teško odrediti međusobna relativna rastojanja d_i , makar u granicama reda veličine talasne dužine λ , u upotrebi je najčešće tzv. model slučajne faze:

$$\sigma = \left| \sum_{i=1}^N \sqrt{\sigma_i} \exp(-j\varphi_i) \right|^2 \quad (2)$$

gde je:

φ_i — slučajna faza uniformne distribucije u granicama $[0, 2\pi]$.

šivača, kao i od raspršnih osobina samog raspršivača;

t_i — vreme prostiranja talasa do i-tog raspršivača i natrag;

φ_i — slučajni fazni pomak (uniformna distribucija u granicama $[0, 2\pi]$);

N — broj elementarnih raspršivača na rezolucionalnoj ćeliji »osvetljene« površine;

U — amplituda sumarnog signala,

Φ — faza sumarnog signala.

S obzirom na to da RSP rade u impulsnom režimu, broj elementarnih

raspršivača u rezolucionim ćelijama »osvetljenih« površina određuje se iz vremenskih odnosa prikazanih na slici 5. Za impuls trajanja τ_i prijemni signal u trenutku t nastaje sumiranjem elementarnih signala raspršenih od raspršivača u oblasti $r_1 = c(t - \tau_i)/2$ i $r_2 = c \cdot t/2$. Elementarni signali raspršeni od raspršivača na udaljenosti $r < r_1$ već su prošli, a od raspršivača na udaljenosti $r > r_2$ još nisu došli do prijemne antene. Tako je površina terena, sa kojeg elementarni signali istovremeno dolaze u prijemnu antenu, u obliku isečka kružnog prstena s unutrašnjim i spoljnim poluprečnikom respektivno:

$$r_{01} = \sqrt{\left[\frac{c(t - \tau_i)}{2} \right]^2 - h_o^2},$$

$$r_{02} = \sqrt{\left(\frac{c \cdot t}{2} \right)^2 - h_o^2}.$$

Za $t_0 < t < t_0 + \tau_i$ ($t_0 = 2h_o/c$), površina terena sa koje istovremeno stižu raspršeni elementarni signali je u obliku kruga (slučaj radarskog visinomera), dok se kod RSP radi o većim udaljenostima ($t - t_0 \geq \tau_i$), pa su unutrašnji i spoljni poluprečnik prstena u

odnosu $r_{02} = r_{01} + c \cdot \tau_i / 2 \cdot \sec \epsilon$, a rezoluciona površina je samo deo prstena — površina S (slika 5).

Površina radarske rezolucione ćelije izračunava se pomoću izraza:

$$S = 2 \cdot r \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\Delta\beta}{2} \right) \cdot \frac{c \cdot \tau_i}{2} \sec \epsilon \quad (4)$$

gde je:

$$\operatorname{tg} \epsilon < \frac{2 \cdot r \cdot \operatorname{tg}(\Delta\beta/2)}{(c \cdot \tau_i)/2},$$

$$r = (r_1 + r_2)/2,$$

$\Delta\beta$ — širina snopa zračenja antene po azimutu na nivou pola snage.

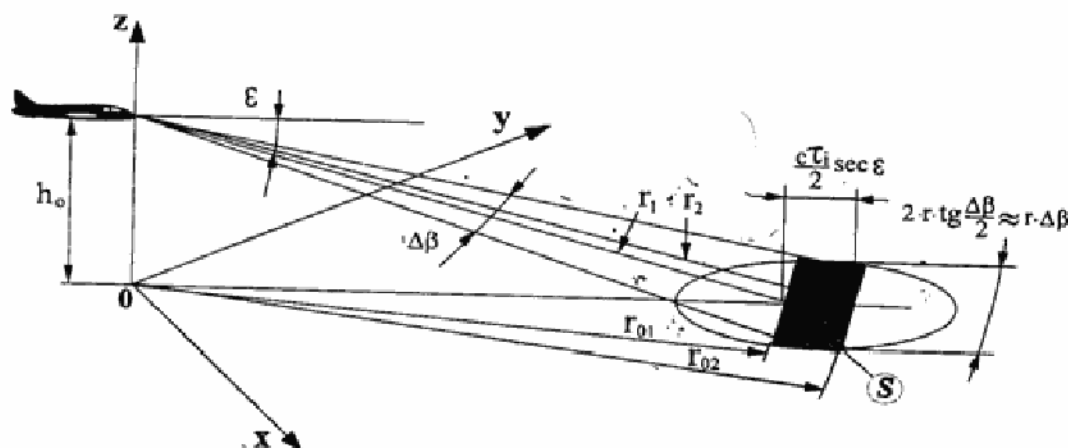
Za male širine snopa zračenja antene, koje kod RSP iznose 1 do 3° , izraz (4) dobija jednostavniji oblik:

$$S = r \cdot \Delta\beta \cdot \frac{c \cdot \tau_i}{2} \sec \epsilon \quad (5)$$

pri čemu je:

$$\operatorname{tg} \epsilon < \frac{r \cdot \Delta\beta}{(c \cdot \tau_i)/2}.$$

Princip preslikavanja terena na pokazivač RSP, u modu ručnog izbe-



Sl. 5 — »Osvetljena« i rezoluciona ćelija površinskog cilja za impulsni signal i mali ugao nagiba snopa zračenja antene

gavanja prepreka, zasnovan je na serijskom pretraživanju prostora po azimutu u sektoru (β_1, β_2) oko pravca leta, dok je $\epsilon = \text{const.}$ Sa druge strane, funkcija RSP u modu automatskog praćenja terena svodi se na specijalan slu-

čaj moda ručnog izbegavanja prepreka, gde je $\beta = \text{const.}$, a snop zračenja antene skanira po elevaciji u sektoru (ϵ_d, ϵ_g) oko horizontalnog pravca leta $\epsilon_0 = 0$.

Koncept simulacionog modela RSP za NLP zasnovan je na fenomenologiji refleksije (raspršenja) elektromagnetskih talasa od površine terena, odnosno na prostornoj selekciji vidljivih elementarnih reflektora (raspršivača) unutar rezolucionih ćelija na površini terena, koji učestvuju u formiranju tekućeg prijemnog signala, kao i proračunu njihovog doprinosa u odmerku tekućeg prijemnog signala na ulazu u antenu. U suštini, to je koncept simulacionog modela tekućeg prijemnog signala, koji omogućava vernu karakterizaciju prostora (detekciju prepreka na trajektoriji leta), i ocenu parametara prijemnog signala, tj. merenje daljine do prepreke i ugla pod kojim se ona vidi sa NLP.

Struktura simulacionog modela

Na osnovu opisanog principa rada RSP za NLP (modovi ručnog izbegavanja prepreka i automatskog praćenja terena), jedna od mogućih struktura simulacionog modela prikazana je na slici 6. Model je dekomponovan na odvojene blokove, pri čemu svaki od njih može biti realizovan u simulacionom programu, kao deo jedinstvenog programa ili kao potprogram. Za istraživanja širokog spektra problema pogodnija je realizacija blokova u obliku potprograma, jer omogućava struktuiranje modela RSP različite složenosti uz minimalne prepravke programa.

U blok za formiranje tekućeg prijemnog signala spadaju:

- elektrodinamički DMT⁴;
- model snopa zračenja antene;
- generator šuma,
- blok za formiranje tekućeg prijemnog signala.

⁴ Pojam elektrodinamički digitalni model terena (DMT) autor uvodi u svom radu [18]. Za potrebe razvoja simulacionog modela tekućeg prijemnog signala RSP za NLP dat je algoritam i, specijalno za tu namenu razvijen; programski paket za generisanje elektrodinamičkog DMT. Programski paket je razvijen na računaru CYBER 170/825 u programskom jeziku FORTRAN-5.

Uticaj parametara RSP trajektorije leta NLP i načina skaniranja snopa zračenja antene na formiranje tekućeg prijemnog signala, kao što se vidi i sa slike 6, direktan je.

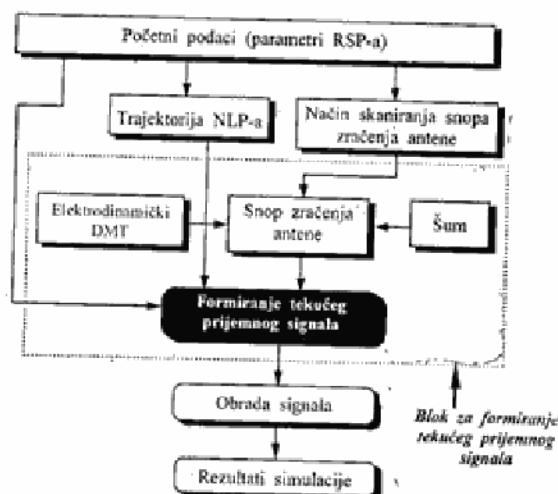
Pri eksperimentisanju sa simulacionim modelima veoma je važno dobro izabrati početne podatke. Loše izabrani početni podaci daju neočekivane rezultate i dovode u sumnju valjanost razvijenog modela.

U početne podatke računarskog simulacionog modela RSP za NLP spadaju:

- parametri kretanja NLP (visina h_0 , i vektor brzine $\vec{V}_1$);
- oblik trajektorije leta (pravolinijska ili manevarska);
- način kretanja (jednolikom ili promenljivom brzinom);
- parametri RSP (talasna dužina λ , impulsna frekvencija f_i , impulsna snaga P_i , dužina impulsa τ_i , osetljivost prijemnika,...);
- dimenzije snopa zračenja antene (širina po azimutu $\Delta\beta$, i elevaciji $\Delta\epsilon$),
- širina sektora osmatranja (po elevaciji ili azimutu).

Trajektorija leta NLP određuje se na osnovu njegovih početnih koordinata i parametara kretanja. Kako je modelovanje trajektorije leta NLP u re-

jeste srednji intenzitet raspršenja, tj. srednja specifična radarska površina σ_0 .



Sl. 6 — Struktura simulacionog modela

alnim uslovima složen problem, u ovom radu se predlažu jednostavni modeli kretanja, iz najmanje dva razloga. Prvo, zato što je on temeljito obrađen u nizu klasičnih monografija iz oblasti vođenja i upravljanja, i drugo, zato što postoji čitava lepeza problema koja se može rešavati ne uzimajući u obzir realne uslove leta konkretnog NLP. Primena prostih modela kretanja znatno će uprostiti razvoj simulacionog modela RSP za NLP i ubrzati njegov rad.

Skaniranje snopa zračenja antene može biti po elevaciji (u sektoru ϵ_1, ϵ_2) ili po azimutu (u sektoru β_1, β_2), u pravcu leta NLP što zavisi od moda rada. U oba slučaja, snop zračenja antene skanira jednolikom brzinom.

Elektrodinamički DMT treba da sadrži sve elemente koji omogućavaju što realniji opis procesa raspršenja elektromagnetskih talasa od realnog terena. Osnovna karakteristika, koja se koristi za opis procesa raspršenja,

Vrednost σ_0 zavisi od: upadnog ugla elektromagnetskih talasa na površinu raspršivača, talasne dužine, vrste raspršivača (vegetacija, golet, itd.), godišnjeg doba (vlažnost, vodljivost površine), trenutnih vremenskih prilika, brzine vetra i vrste polarizacije elektromagnetskih talasa, gde dominantni uticaj ima upadni ugao. Do ove karakteristike terena dolazi se merenjem. U klasičnoj literaturi iz oblasti radarske teorije nalaze se rezultati mnogobrojnih merenja σ_0 za različite vrste reljefa terena, vegetacije, godišnja doba, noseće frekvencije itd., provedena pedesetih i šezdesetih godina. Svi navedeni faktori imaju slučajan karakter.

U osnovi elektrodinamičkog DMT, s obzirom na proizvoljan izbor trajektorije, visinu i brzinu leta NLP kao i brzinu, ravan i sektor skaniranja snopa zračenja antene, nalaze se dva slučajna površinska polja [18]:

— polje reljefa terena, koje zavisi od uzajamnog rasporeda visina određenog dela terena,

— polje raspršivača, koje zavisi od vrste raspršivača: prirodnih (pašnjaci, šume, oranice, itd.), ili veštačkih (putevi, piste, gradsko zemljište, pruge, mostovi, reke itd.).

Šum potiče od samog RSP kao posledice termičkih efekata u antenskom delu i prijemniku. Modelira se kao aditivni beli šum i dodaje korisnom signalu. Atmosferske pojave su, takođe, izvori šuma, ali u ovom radu ne uzimaju se u obzir.

U bloku za *formiranje tekućeg prijemnog signala*, na osnovu proračuna trenutne lokacije i položaja pokretnog snopa zračenja antene, određuje se presek elektrodinamičkog DMT i modela snopa zračenja antene, što, zapravo,

predstavlja izdvajanje »vidljivih« elementarnih površina.

Odmerak tekućeg prijemnog signala formira se vektorskim sumiranjem svih elementarnih signala reflektovanih od »vidljivih« elementarnih površina unutar rezolucione ćelije. Simulacija efekata raspršenja elektromagnetskih talasa uzima u obzir karakteristike raspršivača koji se na elementarnim površinama terena nalaze, šum prijemnika, kretanje NLP i snopa zračenja antene. Vreme se uzima u obzir

kroz računanje trenutne vrednosti prijemnog signala za svaki reflektovani impuls, koji se zove tekući prijemni signal. Pod tekućim prijemnim signalom podrazumeva se kompleksna anvelopa signala $u_r(t)$ raspršenog od terena. Efekti sekundarnog i viših redova difrakcije elektromagnetskih talasa, uz pretpostavku da predajni signal trpi samo jednu transformaciju na putu RSP — teren i obratno, zanemareni su.

Struktura simulacionog modela RSP za NLP i njemu odgovarajućeg računarskog programa, zasnovana je na principu njegovog rada i mehanizmu preslikavanja terena na radarski pokazivač. Predloženi model je dekomponovan na blokove, pri čemu bi se svaki od njih, u računarskom programu, realizovao kao potprogram, što bi omogućavalo različito struktuiranje modela RSP za NLP, uz minimalne intervencije na glavnom programu, kao i istraživanja oba moda njegovog rada.

Zaključak

U obezbeđenju sigurnog leta NLP, bilo da je reč o modu ručnog izbegavanja prepreka ili o automatskom praćenju terena, funkcija RSP svodi se na [2—7]: detekciju prepreka na terenu i merenje udaljenosti do njih, kao i ugla pod kojim se one vide. U prvom slučaju radi se o azimutu, a u drugom o elevaciji, respektivno. Za ova dva moda veće razlike postoje samo u funkciji koje obavlja računarski podsistem.

U modu ručnog izbegavanja prepreka u sistem upravljanja letom uključen je i pilot, koji, na osnovu radarske slike terena, bira putanju leta, tj. odlučuje o manevru u levu ili desnu stranu od prepreke na koju nailazi [2]. Pri tome RSP vrši sektorsko skeniranje po azimutu.

U modu automatskog praćenja terena, pilota u sistemu upravljanja nema, mada se on može pojaviti kao nadzorni organ, koji ima mogućnost da koriguje let. Sistem upravljanja letom NLP u ovom modu koristi informacije i od radarskog visinomera, merača br-

zine, itd. [2]. Antena RSP u modu automatskog praćenja terena skanira sektorski (u pravcu leta), po elevaciji.

U radu je predložen koncept simulacionog modela RSP za NLP koji je zasnovan na fenomenologiji refleksije (raspršenja) elektromagnetskih talasa od površine terena, odnosno na prostornoj selekciji vidljivih elementarnih reflektora (raspršivača) unutar rezolucioni ćelija na površini terena, koji učestvuju u formiranju tekućeg prijemnog signala, kao i proceni njihovog doprinosa u odmerku tekućeg prijemnog signala na ulazu u antenu. U suštini, to je koncept simulacionog modela tekućeg prijemnog signala, koji omogućava vernu karakterizaciju prostora (detekciju prepreka na trajektoriji leta), i ocenu parametara prijemnog signala, tj. merenje daljine do prepreke i ugla pod kojim se one vide sa NLP.

Struktura simulacionog modela RSP za NLP i njemu odgovarajućeg računarskog programa, zasnivala bi se na principu njegovog rada i mehanizmu preslikavanja terena na radarski

pokazivač. Predloženi model je dokomponovan na blokove, pri čemu bi se svaki od njih u računarskom programu realizovao kao potprogram, što bi omogućavalo različito struktuiranje modela RSP za NLP uz minimalne inter-

vencije na glavnom programu, kao i istraživanja oba moda njegovog rada. Razlika je samo u ravni i granicama sektora skaniranja snopa zračenja antene.

Literatura:

- [1] Rode, R. & Hessel, A.: Automatic controled terrain following flight, Conference Proceedings, Military Microwaves, 1980.
- [2] Hovanessian, S. A.: Radar detection & Tracking systems, Artech House, Inc., Dedham, MA., 1982.
- [3] Andreev, G. A., Potapov, A. A.: Aktivnije sistemi orijentaciji po geofizičkim poljima, Zarubežna radioelektronika, Moskva, 9/1983.
- [4] Clarke, J. & Stewart, C. M.: Airborne radar, Part I: Air-to-surface, Microwave Journal, January 1986, pp. 32-46, & Airborne radar, Part II: Air-to-surface, Microwave Journal, February 1986, pp. 44-54.
- [5] Rigel, M. B., Mooney, D. H. & Long, N. H.: F-16 Pulse doppler radar (AN/APG-68) performance, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-19, No. 1, January 1985, pp. 301-311.
- [6] White, R. E.: Multiple role radar designed for F/A-18, Defence Electronics, January 1980.
- [7] Bordeaux.: RDM Enters productions for MIRAGE 2000, Flight International, April 1980.
- [8] Wenisch, G.: Pre'vision des e'chos radar du sol d'apre's la topographie' du terrain l'onde electrique, Sept. 1971, Vol. 51., fasc. 8, pp. 686-703. (Prevod na ruski jezik: Zarubežna radioelektronika, Moskva, No. 4., 1972).
- [9] Cynemen, J. J.: Radar computer simulation architecture & Organization, Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987, pp. 241-245.
- [10] Hancock, R. J., Autonik, P., Sherrill, F. G., McKay, J. A. & Clary, J. C.: Interactive Radar Environment Simulation Model (IRESM), Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987, pp. 272-274.
- [11] Potter, K. E.: Experimental desing study of an airborne interferometer for terrain avoidance, Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987, pp. 508-512.
- [12] Kostić, A., Kovačević, B., Radosavljević, Lj., Stanković, S. & Živojinović, V.: Funkcionalna simulacija radara, Naučno-mehanički pregled, No. 7-8, 1991, str. 49-55.
- [13] Zubkovič, S. G.: Statističeskie karakteristiki radiosignalov, otrazhenih ot zemnoj poverhnosti, Sovjetskoe radio, Moskva, 1968.
- [14] Friedlander, A. L. & Greenstein, L. J.: A generalized clutter computation procedure for airborne pulse-doppler radars, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, No. 1., 1970, pp. 51-61.
- [15] Rigel, M. B.: An advanced computer calculation of ground clutter in airborne pulse-doppler radar, Proceedings of the IEEE NAECON-77, Dayton, 1981, pp. 921-928.
- [16] Kulemin, G. P. & Raskazovskij, V. B.: Rasejanie milimetrovix radiovoln poverhnostju zemlji pod malimi uglami, Naukova dumka, Moskva, 1968.
- [17] Barton, D. K.: Land clutter models for radar desing and analysis, Proceedings of the IEEE, Vol. 73, No. 2., 1985.
- [18] Đorović, M.: Digitalni model terena za modeliranje radarskih senzora prepreka na niskoletnim platformama, Naučno-mehanički pregled, No. 7-8, 1991, str. 56-63.

Sc Marko Andrejčić,
kapetan I klase, dipl. inž.
Vladimir Bukvić,
kapetan I klase, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

KONCEPT SISTEMA ZA PODRŠKU OBUČAVANJU ORGANA TEHNIČKE SLUŽBE

UDC: 355.233.21

Rezime:

U radu je prikazan koncept sistema namenjen za podršku obučavanju organa tehničke službe za operativan rad u združenim taktičkim jedinicama. Težište u koncipiranju sistema usmereno je na rad organa tehničke službe na pripremi i organizaciji borbenih dejstava. Prikazan je scenario sprovođenja obučavanja korišćenjem predloženog sistema na bazi znanja, a date su i preporuke za rad na uvođenju predloženog sistema u praksu.

Ključne reči: sistem na bazi znanja, organ tehničke službe, podrška obučavanju, realni sistem, modularni pristup, metodika rada, faze rada, scenario.

CONCEPT OF THE SYSTEM FOR THE SUPPORT OF TRAINING TECHNICAL SERVICE OFFICERS

Summary:

The article deals with the concept of a knowledge-based system for the support of training technical service officers for the operational work in joint tactical units. The particular stress is laid on the work of technical service officers concerning the preparation and the organization of combat actions. The plan for the training realization by means of the proposed knowledge-based system is presented. The recommendations for actions towards putting this systems into practice are given as well.

Key words: knowledge-based system, technical service officer, training support, real system, modular approach, work methodology, work phases, plan.

Uvod

Pažljivim sagledavanjem rada organa tehničke službe (TSl), u fazi pripreme za borbeno dejstvo i u toku borbenih dejstava, uočeno je da je ovaj rad dosta složen, da se odvija u uslovima vrlo nepovoljnog delovanja okruženja (neprijatelj, zemljište, vreme, naše snage) i da zahteva dosta znanja, sposobnosti, iskustva i rutine, što je nemoguće imati, odnosno steći bez kvalitetnog obučavanja. Zato je u središtu razmatranja obučavanje organa tehničke

službe u združenim taktičkim jedinicama (ZTJ), jer njihov rad, s obzirom na dijapazon poslova, najbolje reprezentuje rad organa TSl u jedinicama taktičkog nivoa.

Oficiri TSl obučavani su za obavljanje funkcionalnih dužnosti (u miru, u mobilizaciji i u ratu na neposrednoj pripremi i organizaciji borbenih dejstava) do sada, uglavnom, kroz različite oblike usavršavanja u vojnim školama i, manjim delom, u matičnim jedinicama.

Obučavanje u jedinicama obavlja se putem poslova definisanih opisom konkretnog radnog mesta u skladu sa potrebama podrške borbene obuke i vaspitanja i manjim delom kroz učešće na zajedničkim taktičkim vežbama (ZTV), štabnim ratnim vežbama (ŠRV), mobilizacijskim vežbama, i sl.

Obučavanje kroz ZTV, ŠRV i mobilizacijske vežbe zahteva znatno angažovanje starešina iz pretpostavljenih komandi i druge pripreme, s obzirom na trenutne mogućnosti komandi ZTJ.

Takođe, transformacija VJ zahteva smanjenje brojnog stanja komandi, jedinica, ustanova i organa, uz povećanje efikasnosti u radu.

Savremene oružane snage odavno su u oblasti obučavanja učinile korak napred, primenjujući dostignuća savremene organizacije rada, informatičke tehnologije i kibernetike organizacionih sistema (ratne igre i simulacije korišćenjem računara).

Može se reći da se obučavanje organa TSl obavlja u skladu sa zahtevima, uslovima, rokovima, trenutnim mogućnostima prakse i navikama, uz stalno ograničenje u resursima svih vrsta i uz stalni nedostatak vremena, još uvek na klasičan način.

Da bi se blagovremeno sprečile i otklonile moguće negativne posledice parcijalnih rešenja u informatičkoj podršci obučavanja neophodno je, pored parcijalnog uvođenja savremenih tehnoloških dostignuća i otklanjanja kritičnih mesta u sistemu, sačiniti dugoročni koncept razvoja obučavanja u koji treba ugraditi organizacijski aspekt.

Polazeći od postojećeg načina obučavanja organa TSl na pripremi i organizaciji borbenih dejstava i uzimajući u obzir trend za sve većom primenom personalnih računara u jedinicama i ustanovama VJ, kao i dostignuća u razvoju nauke i tehnologije, uočava se da je potrebno i moguće obučavanje osavremeniti, intenzivirati i u-

činiti mogućim i na radnim mestima organa TSl, bez obzira na brojčano smanjenje komandi i nastavničkog kadra. Postojeći kadar, akumulirano znanje i raspoloživa oprema (koju treba još modifikovati, a delom nabaviti i novu) to omogućuju.

Cilj ovog rada jeste da se:

- ukaže na nužnost novog pristupa obučavanju organa TSl u ZTJ u skladu sa potrebama prakse i trendovima u savremenim oružanim snagama;

- predloži rešenje problema,

- ukaže na interdisciplinarnost (koja zahteva promene u načinu rešavanja ovog problema, ukoliko se želi njegovo kvalitetno rešavanje) i pokrene akcija za usavršavanje postojećeg načina obučavanja.

Kratak opis rada organa TSl

Da bi se predložilo rešenje za obučavanje, neophodno je izvršiti detaljnu analizu rada organa TSl na pripremi i organizaciji borbenih dejstava, zasnovanu na načelima i logici sistemskog pristupa, sagledati zadatke koji se realizuju kao i saradnju i obaveze prema ostalim organima komande i karakteristične faze rada i dimenzije tehničkog obezbeđenja (TOb-a).

U obzir se moraju uzeti prostorna, vremenska i organizacijsko-tehnička komponenta tehničkog obezbeđenja.

Potrebno je detaljno sagledati sve aspekte rada organa TSl, kao što je:

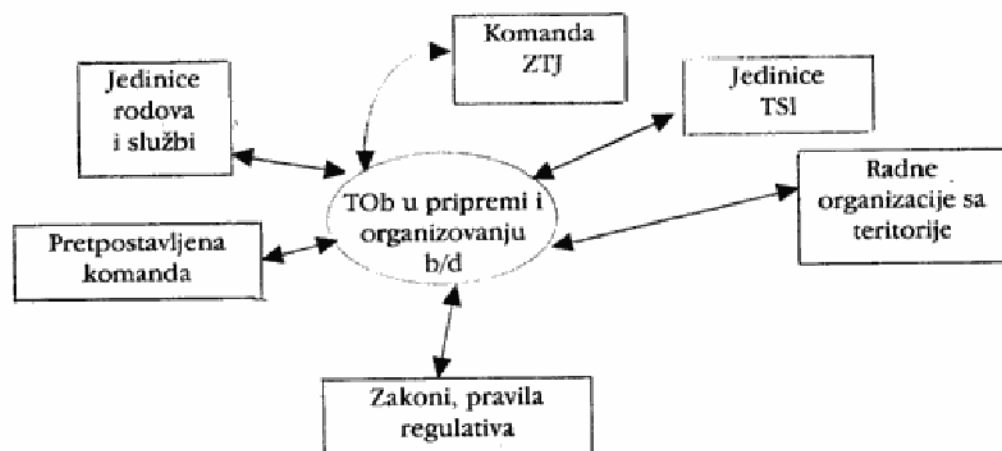
- odvijanje određenih aktivnosti u vremenu,

- razmena informacija (prijem i distribucija) sa okruženjem,

- rad sa ljudima (posredan i neposredan interpersonalan, recipročan i psihodinamičan, uzrokovan, usmeren i ciljno orijentisan odnos).

Pri ovladavanju pojedinim aspektima rada organa TSl, sagledavanju osnovnih procesa, izvora, tokova i skladišta podataka i znanja, potrebno je vršiti hijerarhijsku dekompoziciju složenih procesa, koristeći sredstva i te-

jedinice otpočnu sa izvođenjem borbenih dejstava. Radi toga se izrađuju adekvatni planovi, podsetnici i uputstva, pri čemu se koriste adekvatne tehnike, metode, raspoloživ softver i oprema za rešavanje određenih pro-



Sl. 1 — Dijagram konteksta procesa TOB-a

hnike strukturne sistem-analize (slika 1), logičko-formalne analize, analize sadržaja, itd.

Rad organa TSl može se podeliti na tri karakteristična perioda: rad koji se odvija u miru, rad koji se odvija u mobilizaciji i rad koji se odvija u borbenim dejstvima. U navedenim periodima neophodno je identifikovati najznačajnije aktivnosti. U svakom od navedenih perioda organ TSl rešava probleme planiranja, organizovanja, koordinacije, komandovanja i kontrole u oblasti tehničkog obezbeđenja.

U miru, rad organa TSl usmeren je na planiranje i organizovanje tehničkog obezbeđenja jedinica u funkciji podrške borbene obuke. Radi toga se realizuju funkcije snabdevanja i održavanja TMS realizacijom brojnih procesa. Posebno su značajni procesi planiranja održavanja i rukovanja i raspolaganja TMS. Takođe, u ovom periodu organ TSl radi na pripremi tehničkog obezbeđenja za period mobilizacije i za period ratnog stanja kada

blema. Svemu tome prethodi adekvatna odluka.

Rad organa TSl u periodu mobilizacije specifičan je i odvija se uz čvrsta nastojanja da se ispoštuju razrađeni planovi, uputstva i podsetnici. Podrazumeva se da moraju biti obezbeđeni uslovi da se izrađeni planovi sprovedu.

Period rada organa TSl u borbenim dejstvima (posebno rad na neposrednoj pripremi i organizaciji borbenih dejstava — svakog zadatka) karakteriše velika zavisnost rada organa TSl od rada drugih organa komande i nužnost poštovanja određene metodike rada.

U svakom navedenom periodu rada organ TSl komunicira sa određenim subjektima (organima) iz sastava komande ZTJ i sa teritorije na kojoj je ZTJ locirana, odnosno na kojoj izvodi ili će izvoditi borbena dejstva, koristi određene alate za rešavanje problema i donosi odluke.

Rešenje problema organ TSl (tabela 1) formuliše kroz određene zaključke i propisana akta komandovanja (dokumenta).

Dokumenta su formalizovana [6] i sadrže tačno određene informacije koje su neophodne organizatorima i izvršiocima određenih zadataka.

U pripremnom naređenju navode se:

- podaci o neprijatelju,
- za koju vrstu borbenih dejstava treba biti spreman,
- koje pripremne mere treba sprovesti do dobijanja zadatka,
- gde i kada će biti postavljeni borbeni zadaci,
- šta se stavlja na raspolaganje, kada i gde.

U radu organa TSl na pripremi i organizaciji borbenih dejstava izdaju se određene faze koje su ograničene karakterističnim događajima i koje se ciklično ponavljaju, po tačno određenom redosledu prilikom pripreme i realizacije svakog borbenog zadatka, a to su rad organa TSl:

- do prijema zadatka,
- od prijema zadatka do donošenja odluke komandanta,
- od donošenja odluke komandanta do početka b/d,
- u toku borbenih dejstava,
- posle završetka borbenih dejstava.

Posebno je značajan rad komande na donošenju odluke. Organizovan rad organa TSl u ovoj fazi zahteva postojanje i primenu razrađene metodike u rešavanju problema.

Rad komande ZTJ na pripremi i donošenju odluke može se odvijati na različite načine (različiti metodi) koji se, u principu, razlikuju po trajanju i broju učesnika.

Sa metodskog aspekta za obučavanje organa TSl najinteresantniji je

potpuni metod rada komande na donošenju odluke, a organizacioni oblik po formacijskim organima — sektorima.

Predlog rešenja za usavršavanje obučavanja

Rešavanju problema obučavanja mora se prići uz uvažavanje naučnih i tehnoloških dostignuća. Kao sredstvo za realizaciju ovog cilja preporučuje se modularni sistem na bazi znanja (instaliran na IBM PC-u) podržan savremenim tehničkim sredstvima za projekciju sadržaja i određenim nastavnim pomagalicama.

Ovaj sistem treba da bude prilagođen zahtevima krajnjih korisnika i mora da uvažava njihovo trenutno znanje, sposobnosti, iskustvo i intuiciju. Potrebno je da što realnije odlikava probleme koje organ TSl rešava u realnom sistemu i da u određenoj meri pri tome pomaže, da je prilagođen perceptivnom sistemu čoveka, vizuelnoj komunikaciji i logici ljudskog rasuđivanja. Treba da bude koncipiran tako da omogućava osposobljavanje oficira za realne procese trenutnog stanja i prognoze budućeg, jasno određivanje neophodnog dela svog učešća u ispunjavanju opštih ciljeva i zadataka boja i operacije, da podstiče razvoj stvaralačke misli i sticanje znanja potrebnih za obučavanje i vaspitavanje potčinjenih. Korišćenjem predloženog sistema oficiri TSl treba da steknu navike i brzinu u pravilnoj analizi različitih situacija, logičkom razmišljanju i donošenju stvaralačkih i argumentovanih odluka u najkritičnijim uslovima. Pored toga, treba da obezbedi obučavanje organa TSl na njihovim radnim mestima. Sistem bi trebalo da posluži kao metodski vodič za obučavanje organa TSl za rad u pripremi za borbena dejstva i u toku borbenih dejstava, a treba da sadrži i razrađene postupke rešavanja brojnih problema i dosta grafičkih interpretacija.

Tabela 1

Rad organa TSI u ratu na rešavanju problema TOB-a, kroz izradu borbenih dokumenata

Rad organa tehničke službe na rešavanju problema TOB-a		P1	P2	P3	P4	P5
U1	Zadatak primljen	Ne	Da			
U2	Odluka doneta			Da		
U3	Borbena dejstva u toku				Da	
U4	Borbena dejstva završena					Da
A1	Naređenje za saniranje stanja po TOB-u	X				X
A2	Izveštaj pretpostavljenoj komandi o stanju po TOB-u	X				X
A3	Pripremno naređenje		X			
A4	Izrada plana rada organa TSI		X			
A5	Procena opštevojne situacije značajne za TOB		X			
A6	Procena situacije po TOB-u		X			
A7	Formulisanje predloga po TOB-u		X			
A8	Izrada plana izviđanja			X		
A9	Izrada plana TOB-a na karti			X		
A10	Formulisanje sadržaja koji reguliše TOB, u zapovest komandanta			X		
A11	Formulisanje sadržaja za zapovest (naređenja) za TOB			X		
A12	Izrada naređenja za TOB sa priložima			X		
A13	Izrada operativnog plana održavanja			X		
A14	Priprema elemenata za izradu dokumenata TKT iz domena TOB-a			X		
A15	Izrada naređenja sa priložima za komandire jedinica TSI			X		
A16	Oformljenje radne karte			X		
A17	Izrada dopunskih naređenja				X	
A18	Izrada vanrednih i redovnih izveštaja				X	

Dakle, sistem na bazi znanja treba da podržava obučavanje organa TSl u rešavanju:

— odabranih problema koje organ TSl rešava u miru u okviru priprema za rat (podrška borbene obuke i priprema mobilizacije),

— osnovnih problema iz borbenih dejstava.

Težište u definisanju koncepta sistema za podršku obučavanja jeste na podršci obučavanju organa TSl za rad na neposrednoj pripremi i organizaciji borbenih dejstava i za rad u ratu.

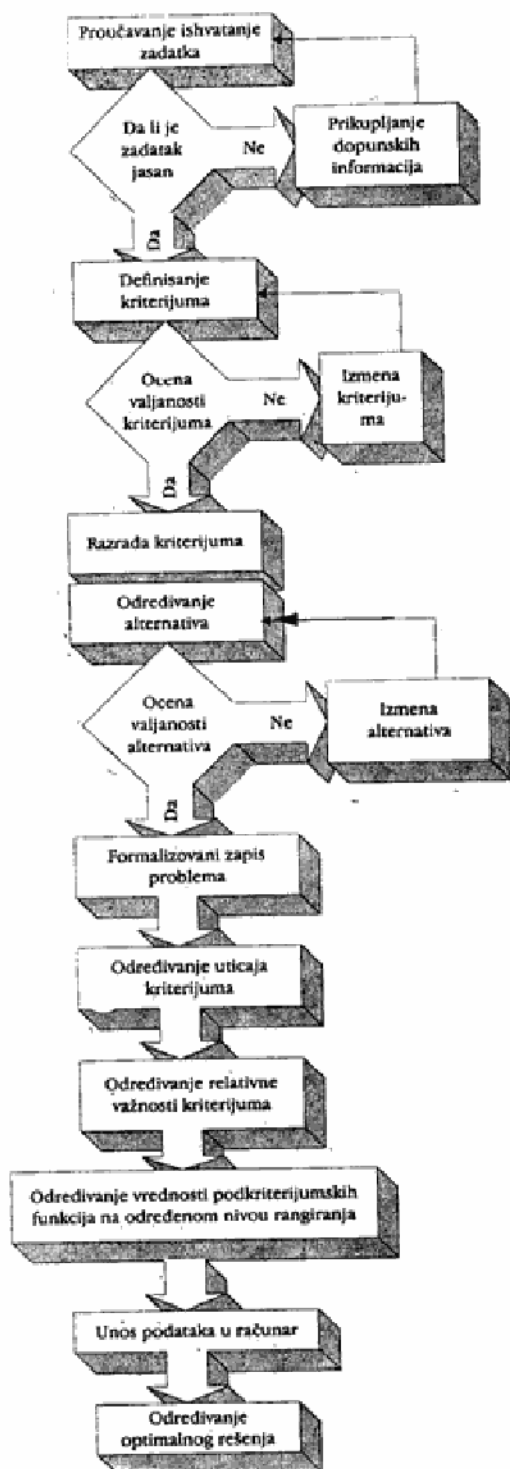
Elementi ovog sistema su: modulska baza znanja, mehanizam zaključivanja, trenutni podaci u memoriji računara (operativna memorija) i korisnički orijentisan interfejs.

Baza znanja sadrži (uslovno rečeno) dva modula. Prvi modul sadrži taktičke zadatke (od elementarnih do kompleksnih), razrađenu metodiku njihovog rešavanja sa indirektnim objašnjenjima postupaka u okviru svake faze rada organa TSl, materijalne i lične formacije jedinica, kriterijume ešeloniranja borbenih potreba, normative za održavanje i dijagnostičke tablice (u formi tabela odluka) za identifikovanje neispravnosti sklopova na sredstvima [9].

Pored navedenog, baza znanja sadrži softver koji omogućava određene proračune borbenih potreba municije, minskoeksplozivnih sredstava, pogonskih sredstava, operativnog planiranja održavanja, kao i formu i elemente borbenih i radnih dokumenata koje oformljuje organ TSl.

Pri razradi metodike rešavanja taktičkih zadataka u obzir je uzet potpuni rad komande na donošenju odluke, organizovan po formacijskim organima — sektorima.

Drugi modul sadrži karakteristične probleme koje organ TSl rešava tokom obavljanja svoje funkcionalne dužnosti u miru, naročito iz oblasti



Sl. 2 — Dijagram toka sprovođenja metode MENOR

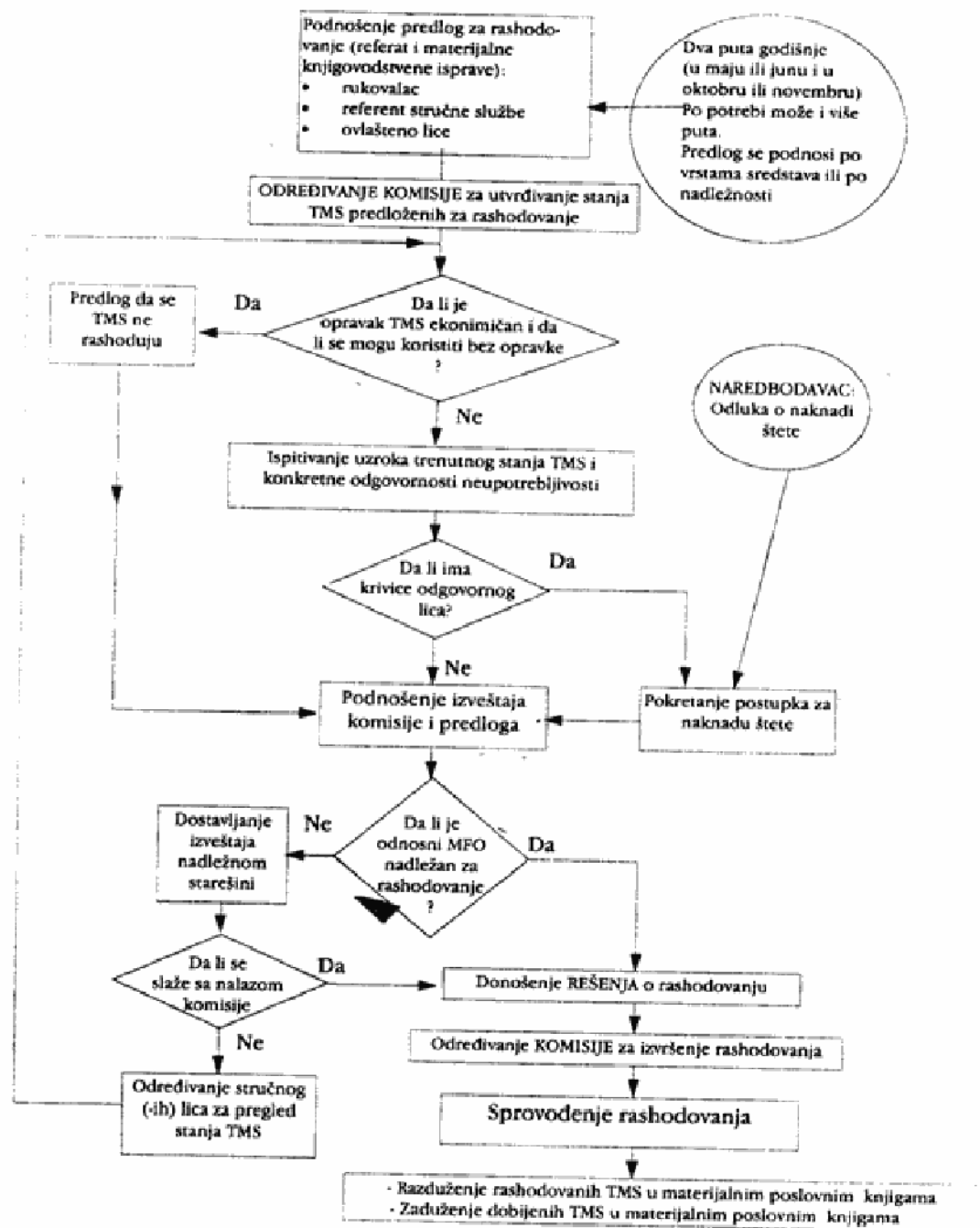
Tabela 2

Prikaz pojedinih problema, tehnika i metoda za njihovo rešavanje

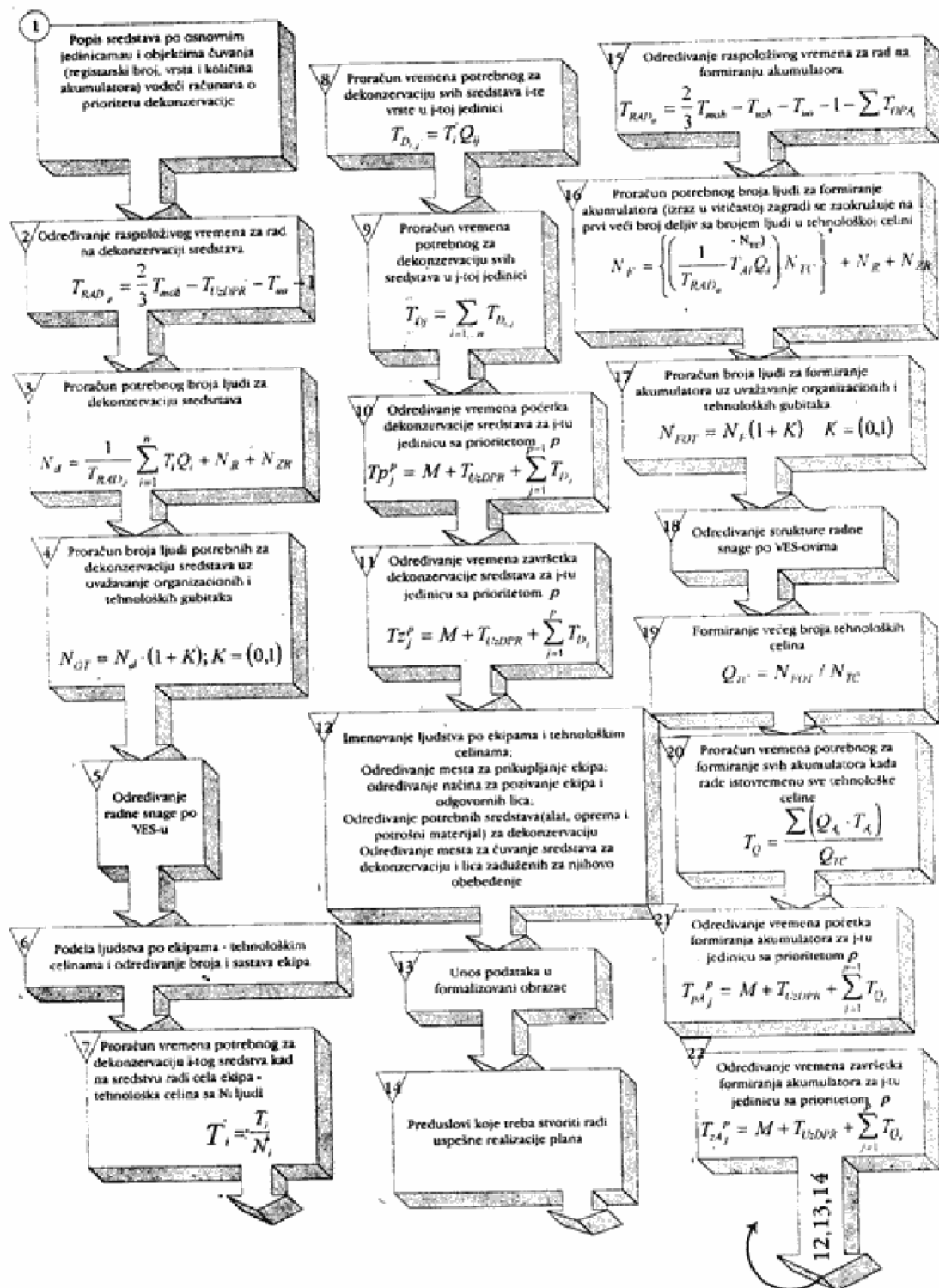
Neki od »alata« za rešavanje problema iz oblasti TOB-a										
	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P10
Prikaz sekvencijalnog odvijanja procesa u vremenu	■									
Formalizacija procesa odlučivanja, paralelne aktivnosti		■								
Prikaz odvijanja složenih konkurentnih procesa u realnom vremenu; prikaz međuzavisnosti aktivnosti			■							
Analiza optimalnosti sadržaja dokumenta, odvajanje informacija od podataka, opterećenje i prihvatljiva redundanca				■						
Modelovanje realnih procesa i sistema, međuzavisnost delova sistema i sistema prema okruženju					■					
Vrednovanje i izbor varijante, uz istovremeno zadovoljenje više kriterijuma						■				
Maksimizacija funkcije cilja uz minimalni utrošak resursa							■			
Određivanje zakonitosti pojava kada je eksperiment neizvodiv								■		
Određivanje uskih grla sistema i mesta koncentracije napora									■	
Određivanje zakonitosti odvijanja pojave na osnovu velikog broja statističkih podataka										■
Dijagram toka podataka	■									
Tabela odlučivanja		■								
Metoda rešetkastih dijagrama				■						
Pareto (ABC) analiza									■	
Strukturalna sistem-analiza					■					
Tehnika mrežnog planiranja i upravljanja			■							
Metode višekriterijumske analize						■				
Metode raspoređivanja i dodeljivanja							■			
Metode simulacije								■		
Statističke metode										■
.										
.										

planiranja i odlučivanja i preporuku metoda (tabela 2), u formi tabela odluka, koje se koriste pri rešavanju tih problema.

Za svaku metodu prikazan je postupak sprovođenja metode u formi dijagrama toka (slika 2) i prikazom početne forme zapisa problema radi



SI. 3 — Dijagram toka rashodovanja TMS



Sl. 4 — Postupak izrade plana dekontenzacije i aktiviranja MS

primene adekvatne automatizovane metode.

Ovaj model, takođe, sadrži dijagrame tokova sprovođenja dnevnog, mesečnog i godišnjeg planiranja održavanja u ZTJ [11, 12] i određenih procesa pri rukovanju i raspolaganju tehničkim materijalnim sredstvima (slika 4).

U ovom modelu biće, takođe, saržane i dijagnostičke tablice karakterističnih neispravnosti na sklopovima odabranih sredstava, u formi tabela odluka [9].

Zasebna celina u ovom modulu biće metodika izrade mobilizacijskih planova — dokumenata (slika 4), matematički modeli za proračun određenih resursa i kratak prikaz priprema koje treba sprovesti da bi se planovi realizovali.

Modularni pristup u gradnji baze znanja omogućava nadopunu baze novim znanjima (modulima) po njihovom prikupljanju, jer sistem ne rešava sve probleme već samo odabrane.

Komunikacija među modulima u bazi znanja moguća je i obezbeđuje korišćenje raspoloživog znanja za rešavanje problema koji se odnose na različite faze rada organa TSl.

Mehanizam za zaključivanje komunicira sa bazom znanja i znanje koje se čuva u bazi primenjuje na trenutne podatke u memoriji računara. Pretraživanje baze znanja vrši se po dubini, kombinacijom ulančavanja unapred i unazad (algoritmi za pretraživanje nad grafovima).

Koncept sprovođenja obučavanja

Ponudeni koncept sistema za podršku obučavanja organa TSl u rešavanju problema u toku pripreme za borbeno dejstva i u borbenim dejstvima podrazumeva da organ TSl raspolaze određenim iskustvom i znanjima koja je potrebno osvežiti (podsetiti, utrenirati), odnosno proširiti i kroz to

steći veću rutinu u rešavanju operativnih problema.

Obučavanje organa TSl za rešavanje realnih problema na pripremi i organizaciji borbenih dejstava sprovodi se u interaktivnom radu korisnika (organa TSl — lica koje se obučava) i računara, uz korišćenje pomoćnih sredstava za projekciju sadržaja sa ekrana računarskog sistema, topografske i reljefne karte (kasnije se mogu skenirati topografske karte). Zastupljena je postupnost u obučavanju.

Pri rešavanju prve grupe problema korisnik se stavlja pred realan problem korišćenja modela (taktički zadatak) i provodi kroz problem u skladu sa unapred razrađenom metodicom, pri čemu se od njega traži adekvatno reagovanje na zahteve situacije i postupnost u rešavanju problema.

Dinamika se ostvaruje prikazom većeg broja supozicija, kontrolisanim prilivom obaveštajnih podataka (kroz priloge) ili simuliranjem zahteva u realnom vremenu (nakon razvoja modela za simulaciju).

Scenario obučavanja sprovodi se na sledeći način:

- korisniku se prezentira, pomoću taktičkog zadatka, pomoćnih tehničkih sredstava i nastavnih pomagala, izabrani model realne situacije;

- korisnik čita taktički zadatak, upoznaje se sa situacijom, orijentiše u prostoru i vremenu, a zatim identifikuje zadatke koje treba da reši;

- kroz razrađenu metodiku rešavanja taktičkih zadataka [13] korisnik se postupno provodi kroz faze rada organa TSl na pripremi i organizaciji borbenih dejstava, a od njega se zahteva rešavanje problema putem izrade određenih borbenih dokumenata (akata komandovanja, planova, itd.) kojima se precizno definiše organizacija i realizacija TOB-a;

- pri izradi dokumenata korisnik se prikazuje određene ekranske for-

me (primer na slici 5) u koje treba da upiše odgovore. Na raspolaganju ima i pomoć (označeno »?«).

Korisnik može koristiti određeni softver za proračun borbenih potreba municije, MES i pogonskih sredstava

Pri rešavanju druge grupe problema, korisnik na osnovu prikazanih problema i pridruženih metoda za njihovo rešavanje identifikuje svoj problem i raspoložive alate za njegovo rešavanje. Postupak sprovođenja meto-

Sl. 5 — Ekranska forma za unos elemenata pripremnog naređenja

i za izradu operativnog plana održavanja, koji su neophodni za finalnu izradu dokumenata.

Nakon odgovora na pitanja čiji sadržaj ulazi u dokument, korisnik se upoznaje sa opštom formom dokumenta (prema Uputstvu za rad komandi — štabova), a zatim izrađuje i konkretan borbeni dokument (primer 1).

Sistem ne omogućava prelazak u sledeću fazu rada dok se ne reše problemi iz prethodne, što zahteva postupno i potpuno usvajanje znanja — rešavanje problema.

de prikazan je dijagramom toka, a određene metode prate i tabele (matrice) pomoću kojih se vrši početni formalizovani zapis problema radi njegovog rešavanja primenom automatizovane metode (metode višekriterijumskog odlučivanja, tehnika mrežnog planiranja, i dr.).

Varijante planiranja održavanja (dnevno, mesečno, godišnje) i procese rukovanja i raspolaganja TMS, korisnik bira sa spiska ponuđenih, a oni se prezentiraju preko dijagrama sprovođenja procesa. Na raspolaganju je

i određeni softver za planiranje održavanja. Kod dijagnostike neispravnosti sklopova korisnik bira sredstvo i sklop, a neispravnosti se prikazuju u formi tabela odluka, tj. u formi »AKO — ONDA«.

Pri rešavanju mobilizacijskih problema koristi se razrađena metodika planiranja mobilizacije: mobilizacij-

Mogućnost primene i usavršavanja koncepta obučavanja

Predloženi sistem može se koristiti kao dopunsko sredstvo u nastavi u vojnim školama, u komandama jedinica i ustanova za unapređenje obuke i štabnog rada, za samoobučavanje,

Primer 1

Komanda
Pozadina
09.15.09.05.

Vojna tajna
Poverljivo
Hitno
Kurirom

Komandantu pozb
Pripremno naređenje

Sekcija 1:00000, 480/4, 481/3, 530/2, 531/1, izdanje 1986. god.

Ispred Vas, na udaljenosti oko 45 km, sa linije Markovac - s. Rača - Đurđevac, očekuje se uvođenje u napad 19. divizije —, u ranim jutarnjim satima 11.05. U toku noći brigada vrši pokret iz očekujućeg rejonu pravcem s. Knić - Kragujevac - s. Rača i poseda zonu odbrane.

Radi postizanja visokog stepena b/g jedinica za izvršenje zadatka, ubrzajte započete radove na saniranju stanja po TOB-u, vlastite pripreme za pokret i stupite u kontakt sa preduzećima AGROREMONT u Kniću i ZASTAVA u Kragujevcu radi nesmetanog korišćenja dodeljenih resursa.

Za izvršenje zadatka, na raspolaganje Vam se stavljaju:

- 10 mehaničara za vozila točkaše iz preduzeća AGROREMONT, koje angažovati za defektažu i pripremu vozila za remont;
- 31 motorno vozilo iz preduzeća ZASTAVA, koja koristiti za prevoz odobrenih količina MES-a iz SkM Grošnica.

Oštećena TMS za SR i GR prikupljati u preduzeću AGROREMONT. Ekipa, iz brp, za remont motornih vozila, stiže do 11.00 u AGROREMONT.

Nakon popune jedinica brigade do norme, utrošene količine pogonskih sredstava izuzeti na Pumpnoj stanici Kragujevac a zatim na pumpnoj stanici Mrčajevci.

Naređenje za borbena dejstva primićete u popodnevним satima u očekujućem rejonu.

PP/NN

Pomoćnik komandanta za pozadinu
Potpukovnik
Petar Petrović

ska procena, razrađena metodika izrade dokumenata (primer na slici 4) koji regulišu TOB mobilizacije i matematički modeli za proračun određenih resursa.

prilikom provere i kontrole obučenosti, pri selekciji i rangiranju kadrova i na mobilizacijskim, štabnim i zajedničkim taktičkim vežbama.

Pored ovoga koncept može poslužiti i kao opšta metodološka osnova za izradu sličnih sistema za obučavanje ostalih organa rodova i službi. Time će se omogućiti jedinstveni pristup obučavanju organa rodova i službi u ZTJ, na savremen način. Predloženi model sistema za obučavanje organa TS1 može naći mesto (predstavlja deo) u razvoju vežbaonice za taktiku TS1 u kojoj će se, pored efekata koje predloženi sistem daje, moći dočarati i drugi prateći efekti rada organa TS1 (zvučni, svetlosni, temperatura, vlažnost i sl.), a sa ciljem da se organ TS1 stavi u situaciju što bližu borbenoj.

Unapređenje obučavanja oficira TS1 treba obavljati u skladu sa novinama i trendovima u obučavanju¹ u savremenim oružanim snagama i u skladu sa zahtevima vremena u kome živimo, a predloženi koncept je samo deo podrške obučavanju.

Zaključak

Predloženi pristup obučavanju organa TS1 u ZTJ, za rad u pripremi za borbena dejstva i u borbenim dejstvima, predstavlja nadogradnju postojećih načina rada, ali i jedan konceptijski zaokret dugoročno orijentisan, sa ugrađenim organizacijskim aspektom. Predloženi koncept omogućava

va poluautomatizovani način obučavanja a povećanje stepena automatizacije u tesnoj je vezi sa raspoloživom opremom i kadrom. Krajnji efekti primene predloženog sistema su dobijanje u vremenu, novcu i kvalitetu obučavanja i smanjenje zavisnosti obučavanja od eksperata. Tako će se najstručniji ljudi iz oblasti TOB-a osloboditi rutinskih i njima dobro poznatih poslova, i moći da se bave kreativnim poslovima usmerenim na usavršavanje postojećeg sistema.

Model sistema za obučavanje prikazan je uopšteno i bez veće konkretizacije, kako bi se što pre uspostavio neposredan i spontan kontakt sa velikim brojem potencijalnih davalaca i sakupljača znanja i budućih korisnika sistema. Pre potpune realizacije predloženog sistema neophodno je izvršiti kritičku analizu forme i sadržaja dokumenata (primenom metode analize sadržaja, metode rešetkastih dijagrama, i dr.) koji regulišu tehničko obezbeđenje radi optimizacije njihovog sadržaja i svođenja na oblik podesan vizuelnoj komunikaciji, perceptivnom sistemu i logici ljudskog rasuđivanja. Takođe pri izradi dijagnostičkih tablica neophodno je iznaći zajedničke neispravnosti za pojedine sklopove, bez obzira na tip i model sredstva (npr. neispravnosti benzin-skih ili dizel-motora, neispravnosti sistema za kočenje, i sl.).

Rasprava o opravdanosti predloženog rešenja je suvišna, jer su savremene oružane snage odavno promenile nekadašnje konceptijske pristupe. Predloženi sistem je već među nama i treba prići njegovoj realizaciji i usavršavanju,² uz puno uvažavanje dostignuća informatičke tehnologije, savremene organizacije rada, menadžmenta, komunikacija i ostalih novih disciplina koje naučno rasvetljavaju određene

¹ Trendovi u savremenim oružanim snagama, kada je u pitanju obučavanje oficira, jesu na promeni sistema i tehnologije obučavanja u skladu sa savremenim organizacionim i tehnološkim dostignućima. Težište je na većem samostalnom radu oficira i na praktičnim i popularnim metodama (situaciona obuka, seminari i praktične vežbe čiju osnovu čine diskusija i metoda konkretnih situacija). Pri diskusijama se primenjuju panel diskusija, forum i mala zasedanja. Kroz situacionu obuku oficiri rešavaju zadatke za konkretne uslove koji se razrađuju s maksimalnim približavanjem realnoj situaciji, pri čemu slušaoci samostalno primenjuju odgovarajuću metodu rasuđivanja i misaonog zaključivanja, analiziraju situaciju, rade nekoliko varijanti rešenja i od njih odabiraju najefikasnije. Izuzetan značaj pridaje se razvoju stvaralačkog mišljenja na bazi efekata korišćenja savremenih metoda stimulacije umne aktivnosti (moždani napad, sinetika, grupna dinamika, morfološka analiza [17] sa ciljem da se formira čovek koji se ne boji rizika, sposoban da nađe izlaz iz protivrečnih situacija — stvaralački inovator.

² Na katedri TOB-a VTA VJ postoji dobar deo softvera i respektivno znanje, u raznim formama i oblicima, koje je potrebno za realizaciju predloženog koncepta, ali ga je potrebno bolje informatički strukturirati i uvezati.

ne aspekte rada organa TSl.³ U rešavanju ovog interdisciplinarnog problema [3] u savremenim oružanim snagama rade veliki timovi vojnih i civilnih stručnjaka (eksperata), na čelu sa vrsnim poznavateljima vojne problematike. Timovi su izuzetno dobro podržani kvalitetnom opremom. Zbog toga je potreban veliki napor u podizanju nivoa organizacijske kulture, kao podloge za brzo prihvatanje, uvođenje u praksu i drugačije vrednovanje novih dostignuća u sferi obučavanja oficira TSl.

U izgradnju predloženog sistema treba uključiti veliki broj eksperata, kako bi se dobilo na vremenu, a pažljivim organizacijskim vođenjem nastojati da se od njih sakupi što više znanja. Dakle, to nije posao za pojedinca ili grupu entuzijasta već značajan projekat.

Razume se, pri izgradnji predloženog sistema za obučavanje organa TSl u obzir se mora uzeti bermudski trougao menadžmenta koji daje vezu između kvaliteta, cene i vremena (trajanja) izrade svakog proizvoda.

Literatura:

- [1] Borović, S.: Ekspertni sistem za rukovođenje tehničkim obezbeđenjem (doktorska disertacija), CVTŠ KoV JNA Zagreb, 1989.
- [2] Milovanović, B.: »Pandora« — Sistem na bazi znanja za procenu efekata dejstva NHB oružja.
- [3] Bruks, F. C., Merijem, L. V.: Grupa za borbeno istraživanje već danas planira armiju budućnosti.
- [4] Trninić, J., Đurković, J.: Komponenta dijaloga u sistemu za podršku odlučivanju, XXI SYM-OP-IS, 907—910.
- [5] Paskota, M.: Ekspertni sistem za izbor modela, metoda i tehnika u sistemu za podršku odlučivanju XXI SYM-OP-IS, 85—88.
- [6] Uputstvo za rad komandi i štabova — nacrt.
- [7] Mišković, V.: Nastavni materijali za predmet Snabdevanje TMS.
- [8] Casopis Expert systems, Vol. 7, No.2 ISSN 0266-4720.
- [9] Andrejić, M.: Tabele odluka i njihova primena u vojnoj organizaciji, Vojnotehnički glasnik 3/96.
- [10] Andrejić, M., Stanojević, P., Mišković, V.: Razmeštaj i rad bataljona remontne podrške

u borbenim dejstvima, Savremeni problemi ratne veštine br. 34—35.

- [11] Andrejić, M.: Prilog mesečnom planiranju rada radionice u združenim taktičkim jedinicama, Vojnotehnički glasnik 1/95.
- [12] Andrejić, M.: Prilog definisanju i formalizaciji dnevnog planiranja i organizacije rada u radionicama združenih taktičkih jedinica, Vojnotehnički glasnik 4/95.
- [13] Branković, Z., Andrejić, M.: Rešavanje taktičkih zadataka o ulozi organa TSl u ZTJ u borbenim dejstvima, Vojnotehnički glasnik 3-4/94.
- [14] Andrejić, M.: Tehničko obezbeđenje mobilizacije ratnih jedinica, Vojnotehnički glasnik 6/95.
- [15] Berglez, J.: Neki problemi određivanja sadržaja zapovesti, Vojno delo 5/72.
- [16] Maksić, R., Mišković, V.: Neke metode za sprečavanje većih poremećaja u toku raseljavanja skladišta, Vojnotehnički glasnik 1/88.
- [17] Priprema oficira armije SAD, Vojno delo, članak.
- [18] Lazović, M.: Determinante profila komandno-štabnog oficira, CVS VJ, Beograd, 1994.

³ Tako, na primer, teorija grupne dinamike daje izvanredna saznanja potrebna za objašnjenje interakcije organa TSl sa drugim subjektima (rad sa ljudima) kao jednim od najvažnijih aspekata rada organa TSl u rešavanju problema TOB-a. Ne-

poznavanje dostignuća ove teorije dovodi do toga da i najbolji planovi koje rade dobri poznavaoци TOB-a ostaju samo zamisao na papiru koja nikada u potpunosti ne zaživi tamo gde je potrebno — u praksi, među ljudima koji neposredno izvršavaju zadatke.

Miroslav Radosavljević,
major, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd
Dr Radivoje Petrović,
profesor, dipl. inž.
Saobraćajni fakultet,
Beograd

EKSPERTSKI SISTEM SPARTA II

UDC: 681.518.5:519.712

Rezime:

Ekspertski sistemi su inteligentni računarski programi koji koriste znanja i procedure zaključivanja u rešavanju različitih problema. Njihova pomoć je u pojedinim oblastima presudna jer bi za rešavanje pojedinih problema trebalo uložiti veoma veliki intelektualni napor, a procedura zaključivanja ekspertskog sistema može se posmatrati kao model razmišljanja najboljeg stručnjaka. U ovom članku prikazana je logička kompozicija i logika zaključivanja ekspertskog sistema Sparta II, kao i preporuka koju daje za sistem brodski motor.

Ključne reči: redundansa, ekspertski sistem, logička kompozicija, procedura zaključivanja.

SPARTA II EXPERT SYSTEM

Summary:

Expert systems are intelligent computer programs which use knowledge and inference procedures to solve problems. Their help in some areas is a final one, because for solving some problems a lot of intellectual effort should be made but inference procedure can be considered like a reflection model of the best qualified expert person from that area. In this article the logical composition and the inference mechanism of SPARTA II expert system is presented as well as the recommendation for ship engine system.

Key words: redundancy, expert system, logical composition, inference procedure.

Uvod

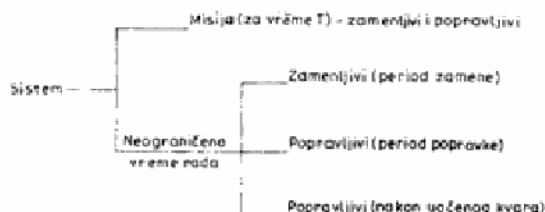
Sparta II je ekspertski sistem koji može podjednako da posluži proizvođaču, koji drži rezervne delove za održavanje svojih proizvoda u garantnom roku, i za organizacije koje imaju svoje sopstvene servise za održavanje.

I u jednom i u drugom slučaju neophodno je raspoređivanje novčanih sredstava, što je uvek i najosetljivije. Da se ne radi o malim izdacima govore podaci da se u svetu izdvaja do de-

setak procenata vrednosti proizvoda, kao i da je raspon izdvajanja veoma bitan. Od posebnog je značaja pronalaženje veze između količine redundanse i izdvojenog novca za zahtevanu pouzdanost rada sistema. Zbog toga je interesovanje za proučavanje redundanse sve veće. Zahtev za bezotkaznim radom uređaja dobija posebno na značaju u avioindustriji, vojnoj tehnici, ali i u drugim oblastima, tako da dobra selekcija redundanse ima ogroman značaj.

Oblast ekspertize SPARTE II

Sparta II ima ograničenu ekspertizu, jer može da predvidi zahteve za redundantom podsistema, upotrebljavajući pristup »podsistem po podsistem«. Sistem preporučuje količinu potrebne zalihe u dva specijalna slučaja: za misiju, koja ima ograničeno vreme trajanja rada sistema T, i za zamenljive i popravljive elemente u misiji sa neograničenim vremenom rada sistema.



Sl. 1 — Domeni ekspertize sistema SPARTA II

Postavka problema u formiranju SPARTE II

Model sistema koji se razmatra je I-serijski sistem koji čine I podsistema, a važeće su sledeće pretpostavke: otkazi podsistema su statistički međusobno nezavisni događaji; podsistemi u aktivnoj redundansi imaju isti intenzitet otkaza kao i osnovni sistem; podsistemi u pasivnoj redundansi ne mogu otkazati dok ne rade; brojevi otkaza podsistema raspodeljeni su po Poasonovoj raspodeli, odnosno vreme do otkaza se menja po eksponencijalnoj raspodeli; registrovanje otkaza podsistema je trenutno, a promenljive koje opisuju ispravnost sistema i misije imaju vrednosti ispravan i neispravan.

Logička kompozicija SPARTE II

Ekspertski sistem Sparta II logički se može podeliti u tri celine. U prvom delu se izračunavaju brojevi ot-

kaza ili odgovarajuća verovatnoća, u drugom delu se heurističkim pravilima iznalaze i koriguju verovatnoće otkaza, a u trećem se, na osnovu predloženih zaliha i objektivnih uslova, koje diktira korisnik, predlaže lista zaliha.

U prvom delu sistema određenim algoritmima obavlja se sekvencijalno dodeljivanje pouzdanosti svakom podsistemu. Pouzdanost se, obično, izražava u očekivanom broju otkaza podsistema u vremenu T. Na osnovu izraza (1) izračunava se očekivani broj otkaza:

$$\Lambda_i = M \cdot e \cdot n_i \cdot \lambda_i \quad (1)$$

gde je:

M — broj identičnih sistema koji se razmatraju,

e — intenzitet rada celog sistema,

n_i — broj identičnih podsistema tipa i,

λ_i — kataloški ili procenjeni intenzitet otkaza i-tog podsistema.

Intenzitet otkaza λ_i dobija se na osnovu odgovora korisnika na pitanje: da li postoji katalog otkaza posmatranog podsistema? Na osnovu odgovora formira se kataloški ili procenjeni intenzitet otkaza λ_i . Ako je kataloški

Tabela 1

Nivoi pouzdanosti (ponuđene opcije)	λ_i
Veoma nepouzdan	10^{-3} [1/h]
Nepouzdan	$5 \cdot 10^{-4}$ [1/h]
Malo pouzdan	10^{-4} [1/h]
Srednje pouzdan (nepoznat)	$5 \cdot 10^{-5}$ [1/h]
Pouzdan	10^{-5} [1/h]
Veoma pouzdan	$5 \cdot 10^{-6}$ [1/h]
Veoma, veoma pouzdan	10^{-6} [1/h]

podatak o otkazima poznat, on se unosi za 10^6 časova rada podsistema, a ako nije nudi se jedan od odgovora koji je dat u tabeli 1.

Ekspertski sistem Sparta II, na osnovu unete procene o intenzitetu otkaza vrši izbor brojčane vrednosti λ_i (tabela 1). Verovatnoća broja otkaza, za ograničeno vreme trajanja misije, izračunava se korišćenjem Poasonove funkcije. U opštem slučaju ona daje mogućnost izračunavanja verovatnoće da je slučajno izabrani broj s manji od datog broja n . Za dati očekivani broj (ΛT) ova funkcija ima oblik:

$$P_{s < n}(T) = e^{-\Lambda T} \cdot \sum_{i=0}^n \frac{(\Lambda T)^i}{i!} \quad (2)$$

U slučaju zamenljivih i popravljivih podsistema, vreme popravke se označava sa μ_i . Postoji slučaj gde se popravka realizuje odmah nakon nastanka otkaza, ili kada se čeka novi ciklus popravke perioda π_p . Za ove slučajeve koristi se izraz:

$$P_n(\alpha) = \frac{\alpha^n}{n! \sum_{i=0}^n \frac{\alpha^i}{i!}}, \quad \alpha = \mu \cdot \Lambda \quad (3)$$

Izraz (3) izražava mogućnost da se na povratak u radni režim sistema čeka u n kanala za popravku ili zamenju.

Za sisteme koji imaju podsisteme u otkazu a koji se zamenjuju u određenim periodima održavanja, vreme potrebno za popravku računa se pomoću relacije:

$$\mu = \pi \cdot \Theta \quad \Theta = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda \pi)} - \frac{1}{\Lambda \pi} \quad (4)$$

Ako se podsistem u otkazu popravljiva na kraju perioda πR vreme potrebno za popravku izračunava se po izrazu:

$$\mu = \pi R \cdot \Theta + \mu_i \quad (5)$$

gde je:

μ_i — vremenski interval popravke i-tog podsistema, nakon početka novog perioda πR .

Ako proces popravke započinje odmah nakon otkrivanja otkaza onda je intenzitet popravke:

$$\mu = \mu_i \quad (6)$$

U drugom delu ekspertski sistem Sparta II, korišćenjem heurističkih pravila, za svaki podsistem, bira adekvatnu pouzdanost. Postupak određivanja pouzdanosti isti je za konačno i beskonačno vreme rada sistema. Pouzdanost podsistema zavisi od izbora promenljivih. Za sistem u celini to su: zahtevana pouzdanost sistema sa redundantnom i složenost redundantnog sistema u smislu broja posmatranih podsistema. Za podsisteme to su esencijalnost podsistema za rad celog sistema, cena podsistema, njegova težina i zapremina.

Ove veličine predstavljaju se lingvističkim promenljivim. Za svaku promenljivu definišu se skup izraza (deskriptora ili nivoa) kojih može biti više. U sistemu Sparta II korišćena su tri deskriptora: veliki, srednji i mali. Tako će zahtevana pouzdanost sistema biti: visoka, srednja i mala, a masa podsistema: težak, srednji i lak.

Na osnovu vrednosti statusnih promenljivih određuju se vrednosti upravljačke akcije, koju reprezentuje upravljačka promenljiva koja utiče na promenu pouzdanosti podsistema sa redundantnom, a ona je, takođe, lingvistička promenljiva. Nivoi lingvističke promenljive za pouzdanost su: povećaj pouzdanost, ne menjaj pouzdanost i smanji pouzdanost.

Preciznost lingvističkih promenljivih očito je mala, međutim, pogodno ih je koristiti iz više razloga. Naime, određivanju vrednosti nekih promenljivih nije potrebna velika preciznost

(npr. masa i zapremina podsistema); predstavljanje vrednosti nekih promenljivih mora biti neprecizno, jer ne postoji standardna mera za merenje njihovih vrednosti, niti kvantitativni kriterijum za predstavljanje na utvrđenoj skali. Primer takve promenljive je esencijalnost podsistema za rad celog sistema. Relacije između upravljačke promenljive i statusnih promenljivih koje opisuju podsisteme neodređene su po prirodi i opisuju se heurističkim pravilima.

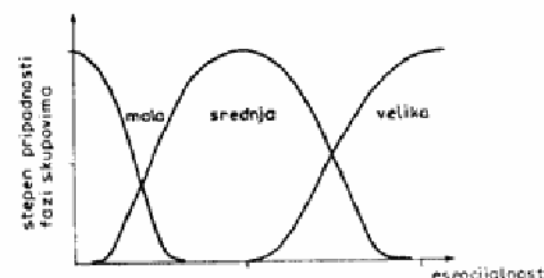
Osnovno heurističko pravilo koje se primenjuje u ekspertskom sistemu Sparta II je AKO — ONDA. Na primer, heurističko pravilo za statusnu promenljivu esencijalnost podsistema u odnosu na sistem glasi:

— AKO je esencijalnost podsistema visoka, ONDA povećaj pouzdanost;

— AKO je esencijalnost podsistema srednja, ONDA ne menjaj pouzdanost;

— AKO je esencijalnost podsistema niska, ONDA smanji pouzdanost.

Navedeno heurističko pravilo primenjeno je za svaku statusnu promenljivu sekvencijalno. Počinje se od promenljive statusa sistema, koje definišu vrednost upravljačke akcije sa odgovarajućom trenutnom pouzdanošću. Kada je odluka formirana, s obzirom na datu verovatnoću, preporučeni nivo redundanse dobija se direktno iz formule (2) ili (3).



Sl. 2 — Fazi skupovi za esencijalnost podsistema

Ne ulazeći u dublju analizu dat je primer kako se bira veza između lingvističkih promenljivih i njihovih odgovarajućih brojevnih vrednosti. Primer je dat za status esencijalnost podsistema, koja ima tri nivoa: visoki, srednji i niski.

Utvrđena je subjektivna skala od nule do 100. Nula na skali označava da je zavisnost rada sistema od datog podsistema mala ili nikakva, a što označava da sistem, praktično, ne može da radi bez datog podsistema. Veza između numeričkih i lingvističkih vrednosti za esencijalnosti prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2

X skala	Funkcije pripadnosti fazi skupova		
	Velika	Srednja	Mala
0	0	0	1
10	0	0,04	0,50
20	0	0,26	0
30	0	0,62	0
40	0	0,90	0
50	0	1	0
60	0,08	0,90	0
70	0,32	0,62	0
80	0,68	0,26	0
90	0,92	0,04	0
100	1	0	0

U trećem delu ekspertski sistem Sparta II, na osnovu predloženih zaliha iz druge faze, postupa tako da svaki podsistem sekvencijalno proverava s obzirom na data ograničenja. Ukoliko ima (nema) rezerve u ograničenjima, a postoji mogućnost povećavanja (smanjenja) redundanse, ona se povećava

(smanjuje), ali u dopustivom preporučenom opsegu pouzdanosti i raspoloživosti novčanih sredstava.

Ulazi i izlazi sistema SPARTA II

Konsultacija sa ekspertskim sistemom Sparta II odvija se kroz dijalog. Nakon uvodnih napomena o sistemu i njegovim mogućnostima, dolazi se do maske koja nudi dve opcije rada: *Misija* (MISSION) i *Neodređeno vreme rada* (INFINITE TIME HORIZON).

Misija daje preporuke za redundansu sistema koji radi u određenom

vremenskom intervalu a *neodređeno vreme rada* daje preporuku za neograničen vremenski interval o redundansi sistema.

Misija

Nakon izbora ove opcije pokreće se ekspertski sistem koji prvo traži podatke o sistemu u celini, a nakon toga podatke o njegovim podsistemima.

Radi ilustracije rada sistema za analizu uzet je brodski motor sa realnim podacima prikazanim u tabeli 3.

Tabela 3

Element motor	Broj elemenata	Broj otkaza za vreme misije	Vreme potrebno za zamenu (radni sati)
Turbina	1	3	8
Kompresor	1	7	8
Kopča	1	13	8
Klipnjača	6	3	60

Ulazni podaci, koji se unose sekvencijalno, za sistem motor, prikazani su u tabeli 4.

Tabela 4

Naziv podsistema	motor
Broj identičnih sistema	69
Intenzitet rada sistema (u % od 0—100)	10
Zahtevana pouzdanost sistema (vrlo, vrlo pouzdan; vrlo pouzdan i pouzdan)	vrlo, vrlo pouzdan
Složenost sistema (vrlo složen; složen i manje složen)	manje složen
Broj različitih podsistema	4
Vremenski period za koji se traži redundansa	60

Nakon unetih podataka iz tabele 4 zahteva se unos podataka o podsistemima koji čine dati sistem. Ulazni po-

daci za podsisteme motora dati su u tabeli 5.

Tabela 5

Naziv podsistema	Turbina	Duvalo	Kopča	Klipnjača
Broj identičnih podsistema	1	1	1	6
Da li postoji katalog otkaza (da—ne)	da	da	ne	ne
Broj otkaza (u milion časova rada)	139	200	—	—
Klasifikacija pouzdanosti (tab. 1)	—	—	veoma pouz.	pouzdan
Težinski značaj (da—ne)	da	ne	ne	ne
Zapreminski značaj (da—ne)	da	ne	ne	ne
Cena podsistema (u novčanim jed.)	1000	1000	700	300
Značaj cene (0—100 po 10)	20	20	10	0
Procena esencijalnosti	100	100	30	100
Procena težine	30	—	—	—
Procena zapremine	30	—	—	—

Nakon unetih podataka za tekući podsistem, ekspertni sistem Sparta II daje preporuku u vidu izlaznih podataka koji su dati u tabeli 6.

Tabela 6

Naziv podsistema	Turbina	Duvalo	Kopča	Klipnjača
Broj redundantnih podsistema	52	73	4	32
Cena redundanse	52000	73000	2800	9600
Pouzdanost sistema sa redundansom	0,95304	0,96039	0,98187	0,99913
Pouzdanost sistema bez redundanse	0,00000	0,00000	0,22528	0,00000

Analizom izlaznih podataka može se zaključiti da će najmanju pouzdanost imati podsistem turbina, a najveću klipnjača.

Izlazni podaci koje sistem Sparta II preporučuje za ceo razmatrani sistem, dati su u tabeli 7.

Tabela 7

Ukupna cena preporučene redundanse	137400
Ukupna pouzdanost sistema sa redundansom	0,89793
Ukupna pouzdanost sistema bez redundanse	0,00000

Podaci navedeni u tabelama 6 i 7 mogu se prikazati na monitoru ili štampaču, što korisnik bira sam.

Na samom kraju rada postoji mogućnost korekcije preporučenih rezultata. Može se izvršiti povećavanje — smanjivanje pouzdanosti sistema, ili ostati na prvobitnim preporukama. Sistem Sparta II to će učiniti tako što

će povećavati pouzdanost onog podsistema koji ima najmanju pouzdanost od podsistema koji se razmatraju, uz istovremenu korekciju novčanih sredstava.

Primer povećavanje — smanjenje pouzdanosti prikazan je u tabelama 8, 9, 10 i 11.

Tabela 8

Naziv podsistema	Turbina	Duvalo	Kopča	Klipnjača
Broj redundantnih podsistema	52	73	5	32
Cena redundanse	52000	73000	3500	9600
Pouzdanost sistema sa redundansom	0,95304	0,96039	0,99568	0,99913
Pouzdanost sistema bez redundanse	0,00000	0,00000	0,22528	0,00000

Tabela 9

Ukupna cena preporučene redundanse	138 100
Ukupna pouzdanost sistema sa redundansom	0,91055
Ukupna pouzdanost sistema bez redundanse	0,00000

Tabela 10

Naziv podsistema	Turbina	Duvalo	Kopča	Klipnjača
Broj redundantnih podsistema	52	73	5	31
Cena redundanse	52000	73000	3500	9300
Pouzdanost sistema sa redundansom	0,95304	0,96039	0,99568	0,99835
Pouzdanost sistema bez redundanse	0,00000	0,00000	0,22528	0,00000

Tabela 11

Ukupna cena preporučene redundanse	137800
Ukupna pouzdanost sistema sa redundansom	0,90984
Ukupna pouzdanost sistema bez redundanse	0,00000

Neodređeno vreme rada

Testiranje ekspertskeg sistema Sparta II za ovu opciju odvija se kao i za opciju Misija, što znači da se prvo unose podaci za sistem u celini, a nakon toga za podsisteme, sekvencijalno. Suštinska razlika između ovih opcija je u tome što se u opciji Neodređeno vreme rada ne zahteva da se odredi in-

terval na kome se traži potreba za redundansom. Upravo ta razlika diktira i nešto drugačiji redosled unosa ulaznih podataka.

Primer rada ove opcije vidi se u podacima iz tabele 3.

Ulazni podaci za sistem u celini za zamenljive podsisteme prikazani su u tabeli 12 i 13.

Tabela 12

Naziv sistema	Motor
Broj identičnih sistema	69
Intenzitet rada sistema (u % od 0—100)	30
Zahtevana pouzdanost sistema (vrlo, vrlo pouzdan; vrlo pouzdan i pouzdan)	vrlo, vrlo pouzdan
Da li se radi o zamenljivim delovima (da — ne)	da
Broj različitih podsistema	3
Vreme periodične zamene	200

Tabela 13

Naziv podsistema	Ventil	Ležaj	Klipnjača
Broj identičnih podsistema	60	6	7
Da li postoji katalog otkaza (da — ne)	ne	da	ne
Broj otkaza (u milion časova rada)	—	200	—
Klasifikacija pouzdanosti (tab. 1)	pouzdan	—	srednje pouzdan
Cena podsistema (u novčanim jed.)	100	200	500
Značaj cene (0—100 po 10)	0	0	10
Procena esencijalnosti (0—100)	100	100	100
Procena zamene (0—100 po 10)	70	80	70

Na osnovu ulaznih podataka za sistem motor i njegove podsisteme

Sparta II generiše poruku kao što je dato u tabeli 14.

Tabela 14

Naziv podsistema	Ventil	Ležaj	Klipnjača
Broj zamenljivih podsistema	2	3	2
Ukupna cena podsistema	200	600	1000
Verovatnoća otkaza podsistema	0,00143	0,00021	0,00049
Ukupna cena redundanse	1800		

Na osnovu ulaznih podataka za sistem, a na pitanje da li postoje podsistemi koji će se odmah popravljati, nude se odgovori »da« ili »ne«. Izborom

odgovora »da«, da bi generisao preporuku, Sparta II traži podatke prema tabeli 15 i 16.

Tabela 15

Naziv sistema	Motor
Broj identičnih sistema	69
Intenzitet rada sistema (u % od 0—100)	30
Zahtevana pouzdanost sistema (vrlo, vrlo pouzdan; vrlo pouzdan i pouzdan)	vrlo, vrlo pouzdan
Da li postoje podsistemi za zamenu (da — ne)	ne
Da li postoje podsistemi za popravku (da — ne)	da
Da li se podsistemi odmah popravljaju nakon nastalog kvara (da — ne)	da
Broj različitih podsistema	3

Tabela 16

Naziv podsistema	Ventil	Ležaj	Klipnjača
Broj identičnih podsistema	60	6	7
Da li postoji katalog otkaza (da — ne)	ne	da	ne
Broj otkaza (u milion časova rada)	—	—	—
Klasifikacija pouzdanosti (tab. 1)	srednje pouzdan	srednje pouzdan	srednje pouzdan
Vreme potrebno za popravku (u h)	60	60	60
Cena podsistema (u novčanim jed.)	100	200	500
Značaj cene (0—100 po 10)	0	0	10
Procena esencijalnosti (0—100)	100	100	100
Procena popravke (0—100 po 10)	70	80	70

Na osnovu ovih ulaznih podataka generiše se preporuka prikazana u tabeli 17.

Tabela 17

Naziv podsistema	Ventil	Ležaj	Klipnjača
Broj zamenljivih podsistema	7	2	2
Ukupna cena podsistema	700	400	1000
Verovatnoća otkaza podsistema	0,04946	0,04814	0,06179
Ukupna cena redundanse	2100		

Ukoliko bi se na pitanje da li se otkaz odmah otklanja, odgovorilo sa »ne«, sistem postavlja novo pitanje: da li se popravka neispravnog podsistema obavlja periodično? I ovde posto-

je dva ponuđena odgovora. Odgovorom »da« inicira se unos podataka za podsisteme koji se periodično popravljaju, kao što je prikazano u tabelama 18 i 19.

Tabela 18

Naziv sistema	Motor
Broj identičnih sistema	69
Intenzitet rada sistema (u % od 0—100)	30
Zahtevana pouzdanost sistema (vrlo, vrlo pouzdan; vrlo pouzdan i pouzdan)	vrlo, vrlo pouzdan
Da li postoje podsistemi za zamenu (da — ne)	ne
Da li postoje podsistemi za popravku (da — ne)	da
Da li se podsistemi odmah popravljaju nakon nastalog kvara (da — ne)	da
Da li se podsistemi popravljaju periodično (da — ne)	da
Broj različitih podsistema	3
Vreme periodične popravke	200

Naziv podsistema	Ventil	Ležaj	Klipnjača
Broj identičnih podsistema	60	6	7
Da li postoji katalog otkaza (da — ne)	ne	da	ne
Broj otkaza (u milion časova rada)	—	—	—
Klasifikacija pouzdanosti (tab. 1)	srednje pouzdan	srednje pouzdan	srednje pouzdan
Vreme potrebno za popravku (u h)	60	60	60
Cena podsistema (u novčanim jed.)	100	200	500
Značaj cene (0—100 po 10)	0	0	10
Procena esencijalnosti (0—100)	100	100	100
Procena popravke (0—100 po 10)	70	80	70

Na osnovu navedenih ulaznih podataka generiše se preporuka data u tabeli 20.

Tabela 20

Naziv podsistema	Ventil	Ležaj	Klipnjača
Broj zamenljivih podsistema	18	3	4
Ukupna cena podsistema	1800	600	2000
Verovatnoća otkaza podsistema	0,08979	0,07840	0,03477
Ukupna cena redundanse	4400		

Dakle, sa nekoliko jednostavnih unosa podataka, ekspertni sistem Sparta II daje preporuke veoma značajne za lica koja donose odluku o tome koji će se vid održavanja primeniti.

Nakon prolaska svih opcija sistem Sparta II, na isti način kao i u opciji Misija, nudi korekcije u smislu povećanja — smanjivanja novčanih izdataka za redundansu.

Zaključak

Pored primene za ešeloniranje redundanse za elektronske i elektromehaničke sisteme, ekspertski sistem Sparta II može se uspešno koristiti i za mašinske sisteme. Najveći doprinos može da pruži u preporuci optimalne raspodele budžeta za redundansom na osnovu zahtevane pouzdanosti rada sistema, a veoma uspešno može se pri-

meniti na području analize tipa održavanja sredstava, kako onih koja su u eksploataciji, tako i onih koja tek treba uvesti u eksploataciju.

Ukoliko se u eksploataciju želi uvesti novi sistem, pomoću podataka koje daje proizvođač i opcije Misija, može se izračunati kolika je cena i količina optimalne redundanse potrebna za određeni period eksploatacije sa željenim procentom intenziteta rada. Po-

moću opcije Neodređeno vreme rada, bira se koji je od tri vida održavanja najjeftiniji, čime se može zaokružiti finansijska konstrukcija.

Osnovni nedostaci ekspertskog sistema Sparta II su u nemogućnosti memorisanja ulaznih i izlaznih podataka, neprihvatanju više desetina podataka i to što je vođenje kroz program skromno, pa s njim mogu raditi samo upućeni u konkretan problem.

Literatura:

- [1] Petrović, R., Vujošević, M., Petrović, D.: Optimizacije redundantnih sistema, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, 1993.
- [2] Petrović, D., Petrović, R.: SPARTA II: Further development in an expert system for advising on stocks of spare parts, European journal of operational research 90, 617-628, 1990.
- [3] Petrović, R.: Specijalne metode u optimizaciji sistema, Tehnička knjiga Beograd, 1977.
- [4] Ivković, Z.: Matematička statistika, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [5] Petrić, J., Jevtić, M., Tošić, T., Stojanović, V.: Pouzdanost, Privredni pregled, Beograd, 1972.
- [6] Radosavljević, M.: Testiranje ekspertskog sistema Sparta II, Seminarski rad na PDS na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, 1996.
- [7] Damjanovski, M.: Analiza uticaja faktora na pouzdanost brodskih pogonskih postrojenja s dizelmotornom propulzijom velike specifične snage, magistarski rad, Rijeka, 1989.

STANJE I TENDENCIJE RAZVOJA SREDSTAVA ZA PVO

Uvod

Do kasnih pedesetih godina, osnovnu vazдушnu opasnost na bojištu predstavljalo je bombardovanje sa velikih visina ili napad letelica obrušavanjem. To su bili jedini načini da se pogode i unište ciljevi na zemlji, jer je oprema za navođenje na avionima bila relativno jednostavna. Protivvazдушna odbrana (PVO) bila je nesofisticirana, a činili su je mitraljezi manjeg kalibra sa velikom brzinom gađanja ili topovi velikog kalibra sa malom brzinom gađanja i jednostavnim sistemima za upravljanje vatrom (SUV).

Razvoj automatskih topova sa većom brzinom gađanja i poboljšanje SUV uvođenjem novih nišana, radara i računara, učinilo je PVO efikasnijom, ali i opasnosti iz vazdušnog prostora postale su mnogobrojnije. Brzi mlazni avioni, razvijeni početkom i sredinom šezdesetih godina nosili su mnogo više oružja za dejstvo po odabranim ciljevima, a poboljšanja njihovih letnih performansi znatno su promijenila okruženje u kome dejstvuje PVO.

Kako se raketna tehnologija naglo razvijala, rezultirajuća visoka verovatnoća uništenja ciljeva povezana je sa većim dometom, čime su protivavionske rakete dobile atribut nadmoćnog oružja u PVO.

Nove opasnosti

Tokom perioda hladnog rata, zapadne zemlje očekivale su da će glavna vazдушna opasnost dolaziti od zemalja Varšavskog ugovora, a njihovi naponi bili su usredsređeni na protivdejstvo. Međutim, od tada su političke i vojne promene u Evropi i mogućnosti novog načina globalnih konflikata postale vrlo široke i sa vrlo različitim pristupima PVO, posebno kada je tradicionalni pojam vazduhoplova, kao osnovnog cilja, proširen na opasnost od više moćnih i različitih ciljeva, uključujući avione, helikoptere, rakete i bespilotne letelice.

Avioni se, ipak, smatraju osnovnom opasnošću iz vazdušnog prostora. Oni su sposobni da izvedu niskeleće napade velikom brzinom, mogu da nose »pametno« oružje i mogu se opremiti navigacionim i napadačkim sistemima koji omogućavaju napade iz različitih pravaca. Zajedno sa smanjenim radarskim i IC odrazom, ojačavanjem važnih komponenti i širokom upotrebom elektronskih protivmera, IC i laserskih ometanja, vazduhoplovi su postali manje osetljivi, a PVO daleko ranjivija.

Značaj helikoptera na bojištu uveliko je povećan u poslednjih 15 godina, tako da su postali važni ciljevi u vazdušnom prostoru. Do sada koriš-

ćeni za različite zadatke, helikopteri mogu da lete na ekstremno malim visinama, da koriste konfiguraciju terena kao prirodni zaklon i da dejstvuju u noćnim uslovima i uslovima ograničene vidljivosti. Mogu, takođe, da nose savremena oružja, zbog čega su apostrofirani kao osnovna opasnost za oklopno-mehanizovane snage.

Opasnost od bespilotnih letelica je, možda, najviše određena prisustvom različitih vrsta i sistema, koji obuhvataju:

- vođene (»pametne«) bombe sa laserskim, TV ili IC vođenjem;
- vođene letelice;
- daljinski upravljane letelice;
- rakete van zone PVO;
- krstareće rakete;
- taktičke balističke rakete sa vrlo velikom brzinom.

Sva ova oružja imaju vrlo male radarske ili IC odraze. Mnoge rakete lete supersoničnim brzinama (2 do 5 Maha), a njihova manevarska sposobnost se kontinuirano poboljšava.

Vođene i daljinski upravljane letelice mogu se koristiti za napad na zemaljske ciljeve — radarske stanice i tenkove. Opremljene radarima ili video kamerama ove letelice se sve više koriste za izviđačke zadatke. Današnje tehnologije omogućavaju da se podaci izviđanja prenesu i obrade u realnom vremenu, iako je vreme između upoređenja rezultata izviđanja i vazdušnog udara na određeni cilj skraćeno. Zbog toga se vođene i daljinski upravljane letelice smatraju osnovnom opasnošću na bojištu.

Odgovori na pitanje šta danas predstavlja osnovnu opasnost iz vazdušnog prostora znatno se razlikuju. To znači da mnoge zemlje danas razvijaju vrlo različite sisteme PVO prilagođene specifičnim (često »nacionalnim«), zadacima i popunjavanjem stvorenih međuprostora za vrlo karakteristične opasnosti iz vazdušnog prostora.

Povećani zahtevi

Kao posledica razvoja oružja i taktike, značajno su povećani zahtevi za efikasnom PVO na bojištu u poslednjih nekoliko godina, kao što su:

- povećanje pokretljivosti i živosti PVO sistema;
- prenosivost vazдушnim putem radi izvršavanja zadataka brzog reagovanja;
- PVO sistemi moraju biti zaštićeni od elektronskog ometanja;
- sposobnost detekcije posebno ciljeva sa malim radarskim odrazom i niskom IC emisijom;
- mogućnost istovremenog dejstva po više ciljeva;
- autonomnost delovanja;
- cena razvoja mora biti prihvatljiva kako bi omogućila primenu znatnog broja sistema koji će se razvijati;
- operativnost sa sistemima združenih snaga.

Istovremeno, za pojedine snage karakteristike bojišta su se promenile. Snage zapadne alijanse, u vreme blokvske podeljenosti, bile su opredeljene za rat u centralnoj Evropi, sa zadatkom suprotstavljanja snažnim vazдушnim napadima ili napadima sa zemlje na njihovu teritoriju. Sada su one predodređene za vođenje zajedničke borbe združenim snagama ili u okviru zadataka UN u različitim delovima sveta, po različitim scenarijima i pod različitim uticajima, što se odražava i na PVO. Predmet zaštite od protivničkog dejstva iz vazdušnog prostora nisu samo jedinice na bojištu već i civilni ciljevi, kao što su radarska postrojenja, električne centrale, mostovi, luke, itd.

Ne postoji precizan odgovor na pitanje koja vrsta PVO sredstava i na koji način će se dalje razvijati: topovi ili rakete. Obe vrste oružja imaju svoju ulogu, prednosti i nedostatke. Uostalom jedinice naoružane sa oba

sistema oružja moraju biti u bliskoj koordinaciji na bojištu.

Prednosti PVO raketnih sistema nad topovima su:

- veći domet,
- manja ukupna masa koja omogućava veću prenosivost vazдушnim putem,
- veće pokrivanje manevrišućih ciljeva,
- veća efikasnost bojnih glava,
- veća verovatnoća uništenja jednim pogotkom,
- kraće vreme lansiranja do cilja,
- bolja prihvatljivost od onih koji ih smatraju »modernim« sistemima.

Protivavionski topovi pružaju sledeće prednosti:

- kraće vreme reagovanja,
- veća otpornost na ometanje,
- velika brzina gađanja,
- sposobnost delovanja po više ciljeva,
- niža cena municije i ukupna cena sistema,
- sposobnost samoodbrane od ciljeva na zemlji.

Protivavionski topovi su potrebni za dejstvo protiv niskoletećih vazдушnih ciljeva na distancama od 3 do 4 km, posebno kada konfiguracija terena omogućava njihovo vrlo kratko vreme izlaganja i kada vreme od detekcije cilja do protivmera (vreme reagovanja) treba da bude vrlo kratko. Savremenim topovskim sistemima potrebno je 3 do 5 s od detekcije cilja do prvog opaljenja, dok je raketnim sistemima potrebno 7 do 12 s.

Sistemi PA topova vrlo su raznovrsni. Još uvek su u mnogim zemljama u upotrebi topovi kalibra 20 ili 23 mm, uključujući i armije sa savremenim naoružanjem. Njihova efikasnost je još uvek vrlo dobra na određenom dometu. Topovi kalibra 30 mm su vrlo efikasni do 3 000 m. To znači da

topovi većeg kalibra imaju određene prednosti nad topovima manjeg kalibra u odnosu na domet i masu projektila, ali brzina gađanja, koja je bitan činilac verovatnoće pogađanja, opada sa povećanjem kalibra.

Najviše korišćen kalibar PA topova je 25 mm. Radi povećanja brzine gađanja mnogi savremeni sistemi imaju konfiguracije sa višecevnim topovima ili princip »getling« (Gatling) sa po 6 rotacionih cevi (kalibra 20 do 0 mm). Top kalibra 27 mm, razvijen za lovac TORNADO, jedini je koji koristi princip »mauzer« (Mauser). Topovi kalibra 30 i 35 mm takode su široko u upotrebi (kasnije su nazvani ERLIKON). Projektili tih kalibara omogućavaju primenu elektronike u blizinskim i tempirnim upaljačima bez velike redukcije mehanizama.

Kako se kalibri povećavaju, povećava se i masa topova, brzina gađanja opada, ali se efikasna masa ispaljena na cilj povećava sa svakim novim zrnom. Kalibar 40 mm je, manje ili više, »rezervisan« za sistem Bofors i njegove poznate PA topove 40L/60 i 40L/70. Novi topovi koje će u sledećoj deceniji uvesti u naoružanje francuska firme GIAT i britanska Royal Ordnance, imaju kalibar 45 mm. Ruski i neki švedski PA topovi su kalibra 57 mm, a najveći koji se koristi za PA sisteme jeste 76 mm.

Usavršavanja PA sredstava

Kako su današnji budžeti za odbranu ograničeni, može se očekivati da će se odobravati razvoj samo novih PA sistema ukoliko oni uverljivo opravdaju povećanje odnosa cena-efikasnost. Istovremeno, novi PA sistemi oružja moraju se skladno taktički i logistički, uklopiti u oružane strukture, što je često lakše postići modernizacijom postojećih nego razvojem novih sistema. Tada se mogu koristiti iste procedure obuke i simulatori kao i postojeća municija.

Prethodno uključivanje proizvođača oružja u istraživanje i razvoj drugi je presudan činilac, mada kompanije koje proizvode oružje često snose deo ili ukupne troškove novog razvoja. Cilj je da se poboljša prihvatljivost sistema oružja (npr. ponudom novih nišana, SUV ili novih vrsta municije), tako da uvođenje novog kalibra nije jednostavan zadatak.

Današnja i buduća usavršavanja mogu se podeliti na:

- poboljšanja upravljanja vatrom,
- nove vrste municije,
- nove sisteme topova.

Performanse pogađanja sistema PA topova mogu se znatno povećati korišćenjem novih SUV. Upotreba starih optičkih nišana omogućavala je malu verovatnoću pogađanja i zahtevala dugotrajno uvežbavanje. Novi elektrooptički nišani, kombinovani sa savremenim SUV, čine ulogu nišandžije mnogo lakšom. Savremeni SUV dovode do znatnog povećanja mogućnosti pogađanja i tako smanjuju potrošnju municije, što je presudan korak prema autonomnoj borbenoj sposobnosti PA topova.

Savremeni nišani sadrže:

- kameru za osmatranje,
- mogućnost termalnog odraza,
- laserski daljinomer,
- inercijalne senzore,
- senzore pritiska, temperature i bočnog vetra,
- računar za upravljanje vatrom,
- ekran (displej).

Ovakvi nišani, obično ugrađeni na top, mogu automatski da odrede azimut i elevaciju pomoću posebnih sistema, kao što su akvizicijski radari i (ili) pasivni IC sistemi praćenja, koji znatno smanjuju vreme reagovanja. Senzor na aktivnom radaru ima prednost u odnosu na senzor za rad u svim vremenskim uslovima, ali se on

može detektovati i ometati. Nasuprot tome termalni senzor je pasivan, ali ima kratak domet i neefikasan je u slučaju lošeg vremena. Akustični senzori mogu se, takođe, koristiti, posebno za detekciju helikoptera. Oni mogu detektovati buku koju generiše elisa rotora na daljini preko 15 km, zavisno od vrste helikoptera, sa tačnošću po azimutu od 2° do 10° .

Odgovarajuća brzina gađanja i ukupne performanse PA topova mogu se povećavati povezivanjem njihove izviđačke, komandno-upravljačke mreže. Takva mreža, sa nekoliko radara visokih performansi i pasivnim senzorima (3D radari su posebno pogodni za PA izviđanje) čine mogućim koordiniranu i efikasniju PVO sa različitim vrstama oružja — raketama ili topovima.

Standardna, već široko korišćena municija za dejstvo protiv aviona ili helikoptera je HE (High Explosive — razorna) ili HEI (High Explosive Incendiary — razorno-zapaljiva). Ona ima udarni upaljač čija je funkcija optimizirana u odnosu na tačku detonacije (poželjno unutar cilja), ugaonu osetljivost i mogućnost samolikvidacije. Prednost ove municije je niska cena, ali zbog relativno niske verovatnoće pogađanja, potrošnja municije je vrlo velika. Osim toga, HE zrna su manje efikasna protiv savremenih, oklopljenih ciljeva, kao što su borbeni helikopteri i bespilotne letelice. U određenom stepenu primenjuje se SAP-HEI (semi-armour piercing HEI — protivoklopna razorno-zapaljiva) municija, sa ojačanom čeličnom košuljicom i odgovarajućim protivoklopnim performansama.

Pošto je municija osnovni činilac efikasnosti i pošto varira u konstrukcijama, ceni i brzini leta, trend je da se razvijaju različite vrste municije, optimizirane za specijalne zadatke. To može biti jeftiniji put za poboljšanje PA topova, jer se oni koji se nalaze u upotrebi mogu i dalje efikasno koristiti.



TP-T



HE-I



HEI-T



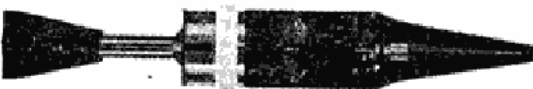
SAPHEI-T



FAPDS



APDS



APFSDS-T



AHEAD

Sl. 1 — Različite vrste PA municije 35 mm

Usavršavanje municije

APDS

APDS (Armour Piercing Discharging Sabot — potkalibarna municija) koristi se protiv oklopnih ili utvrđenih ciljeva u vazдушnom prostoru i na zemlji. To je municija koja deluje kinetičkom energijom i potkalibarnim penetratorom izrađenim od volframa

ili osiromašenog urana. Njena početna brzina je za 20 do 35 % veća u odnosu na konvencionalna zrna, što je uslovljeno manjom masom zrna, gorivom veće energije i manjim koeficijentom čeonog otpora. Zbog nižeg koeficijenta čeonog otpora ima veću tačnost nego HEI municija. Kao posledica toga, APDS ima veću verovatnoću pogađanja i veći efikasan domet.

Ova vrsta municije koristi se u mornaričkim zatvorenim sistemima oružja, a namenjena je za uništenje protivbrodskih raketa koje se ostvaruje eksplozijom 50 do 180 zrna, ispaljenih iz višecevni »getling« ili dvocevni ili četvorocevni topova. Za zemaljsku primenu eksplozija tako velikog broja zrna nije potrebna, izuzev ako je zadatak da se zaštite visokovredni ciljevi od dejstva raketa van zone PVO.

FAPDS

FAPDS (Frangible APDS — potkalibarno zrno sa tankom košuljicom), koje razvijaju neke kompanije, slično je APDS municiji po početnoj brzini i balističkim karakteristikama. U Nemačkoj i Holandiji ova municija se proizvodi prvenstveno za protivavionski sistem GEPARD. Posebne su karakteristike oblika i kompozicija materijala penetratora koji se danas koriste (izrađeni od legure volframa koja ima izraženu krtost). FAPDS ima približno istu sposobnost penetracije oklopnih ciljeva kao i APDS, ali se penetrator dezintegriše u brojne fragmente pri malim uglovima udara i sudaru sa tankim pločama oklopa. Pri tome, unutrašnje komponente cilja se višestruko razaraju i uništavaju fragmentima i izraženim zapaljivim efektom.

APFSDS

Ako se zahteva visoka sposobnost penetracije oklopa, najbolja je APFSDS municija (Armour Piercing

Fin Stabilized Discharging Sabot — potkalibarno zrno stabilisano krilcima), prvenstveno razvijena za protivoklopnu namenu. Ova vrsta municije ima šipku od volframa ili strelu. Zbog velike energije i niske površine udara strele, ona probija oklope najvećih debljina.

Municija 3P

Za sve do sada razmatrane vrste municije zahteva se direktan pogodak u cilj. Međutim, moguće je ostvariti efikasan učinak ukoliko se obezbedi da košuljica detonira blizu cilja i da fragmenti imaju dovoljnu snagu udara. To se može postići primenom municije sa nekontaktnim blizinskim upaljačem.

Poslednji iz serije blizinskih upaljača za municiju 40 mm potiče iz Boforsa, koja se uvodi u švedsku armiju pod nazivom municija 3 P (Programmable Prefragmented Proximity

— fuzed Round — programibilno prefragmentirano zrno sa blizinskim upaljačem). Ekstremno otporna na elektronska ometanja, zrna 3P, kalibra 40 mm, imaju masu 975 g, 120 g eksploziva tipa oktol i 1100 kuglica od volframa prečnika 3 mm. Njihova početna brzina iznosi 1012 m/s (ili 1100 m/s za 3P-HV verziju velike brzine, koja se može koristiti u većini sadašnjih modela topova sa ojačanom cevi). Svako zrno pojedinačno je programirano pomoću programera elektronskog upaljača, povezanog za računar SUV-a i senzor dometa na topu. Upaljač je programiran na osnovu podataka o vremenu leta.

Posle 15 s leta zrno se aktivira. Maksimalna distanca od cilja na kojoj se zrno aktivira zavisi od veličine cilja — oko 10 m za avione, 5 m za rakete i 3 m za pomorske rakete. Spособnost penetracije zrna direktnim pogotkom je 15 do 20 mm RHA oklopa (Rolled Homogenous Armour — valjani homogeni oklop).



Sl. 2 — Dejstvo municije 3P na helikopter i efekat probijanja rakete OERLIKON-CONTRAVES

Upaljač može da se podesi na sledeće funkcije:

— upravljačku blizinsku sa udarnim prioritetom — primenjuje se protiv velikih transportnih aviona i helikoptera zadržavanjem blizinske eksplozije za nekoliko sekundi;

— kontinuiranu blizinsku — za topove bez sistema za upravljanje vatrom ili sredstava za programiranje;

— vremensku — za osetljive otkrivene ciljeve, helikoptere ili male brodove (plovila). Nišanjem oko 5 m iznad cilja može se ostvariti zona

uništenja od 140 m², u poređenju sa 25 m² za razorno zrno sa verovatnoćom uništenja 90% na 1500 m;

— udara — protiv vozila i malih plovila sa eksplozijom unutar cilja (osetljivost funkcije udara odgovara debljini spoljne oplata cilja);

— protivoklopnog udara — protiv lakooklopnih letelica i snaga u objektima.

Municija 3P može se nazvati i municijom za sve ciljeve. Ugrađene elektronske komponente znače da nije jeftina, ali je vrlo efikasna u odnosu na cenu. Cena po zrnu je za oko 4 puta veća nego za razorno-zapaljivo zrno.

AHEAD

Municija AHEAD (Advanced Hit Efficiency and Destruction — municija poboljšane efikasnosti pogađanja i uništenja), razvijena u firmi Oerlikon-Contraves u Švajcarskoj za PVO sistem kalibra 35 mm, asocira na »letalni pljusak« 152 subprojektila oslobođenih ka cilju koji se približava.

Da bi municija funkcionisala optimalno, potrebno je da poseduje savremen, visoko precizan SUV koji prati cilj i određuje vreme leta zrna do optimalne distance. Podaci se tada šalju do računara koji proračunava vreme postavljanja na upaljaču, zasnovano na početnoj brzini oružja, mereno za svako zrno pomoću merača početne brzine sa dve zavojnice na ustima cevi. Vreme dejstva upaljača tada se programira pomoću elektronske indukcije. To uravnotežuje preciznost programiranja sa minimalnim promenama početne brzine i smanjenjem distance do cilja. Nominalna početna brzina za novi OERLIKON-CONTRAVES 35/1000 revolver top iznosi 1050 m/s, sa tačnošću od 15 do 20 m/s.

Rastojanje od tačke detonacije do cilja, uglavnom, zavisi od udaljenosti cilja i može biti: 20 m na 1 km, 30 m na 2 km i 40 m na 3 km. Te distance

se optimiziraju nakon uravnoteženja sa greškama ometanja i željenim brojem fragmenata na cilju. Detonacija zrna AHEAD stvara fragmente košuljice od volframa koji oslobađaju 152 subprojektila čija je masa po 3,3 g. Subprojektili dobijaju potrebnu rotaciju i brzinu, stvarajući letalni konus »rilazećem cilju od oko 10°. Municija AHEAD posebno je projektovana za male, vrlo niske i brzoleteće ciljeve, kao što su bespilotne letelice i rakete, i može se koristiti na svim topovima kalibra 35 mm. Opremljena programabilnim vremenskim upaljačem, municija je neosetljiva na poremećaje u toku leta na malim visinama i ne zavisi od njihove interakcije sa ciljem. Daljina samouništenja je oko 5 km. Pošto subprojektili imaju sposobnost penetracije oko 15 mm na daljini od 4 km (stacionarni cilj), mogu se koristiti protiv lakooklopljenih zemaljskih ciljeva. Ako se zrna ometaju nekoliko metara iznad zemaljskih ciljeva i programiraju za iste prostore i simultane detonacije, letalni sloj se može raspršiti preko osetljivih i maskiranih ciljeva.

Municija sa korekcijom kursa

Mada mnoge kompanije pokušavaju da razviju novu i tačniju PA municiju, uvođenjem korekcije kursa, za sada nijedan takav projektil nije razvijen i proizveden. Ova vrsta municije namenjena je za kompenzaciju grešaka ometanja i neočekivanih manevara brzoletećih ciljeva korekcijom trajektorije projektila tokom leta. Cilj se, ako je moguće, prati pomoću vrlo osetljivog senzora, računar SUV-a proračunava devijaciju cilja od unapred određene tačke udara, i obavlja se korekcija kursa. Promena kursa moguća je samo za nekoliko stepeni.

Zbog velike cene razvoja sistema korekcije moguće su samo jedna do dve korekcije kursa. Relativno veliki

prostor potreban za smeštaj elektro-
nike, ubrzivača ili impulsnog punje-
nja mogući su samo u većim kalibri-
ma (76 mm i više). Greške pri udaru
znatno će se smanjiti, rezultirajući ve-
ćom verovatnoćom pogađanja, većim
efikasnim dometom i potrebom za ma-
njim zrnima. Međutim, nedoumica je
kakav je stvarni odnos cena-efikas-
nost, pošto će razvoj i proizvodnja
ove municije koštati mnogo više od
ostalih vrsta municije.

Vođena municija

Vođena municija sa IC ili radar-
skim sistemima vođenja svrstava se u
topovsku municiju sa ili bez pogona
tokom leta. Kao i kod municije sa ko-
rekcijom kursa, ovakva municija mo-
že se primeniti samo kod velikih ka-
libara zbog zahteva koje nameće si-
stem vođenja. Poslednjih deset godi-
na ispitivano je nekoliko eksperimen-
talnih vrsta municije, kao npr. EP-
HAG (Endphasegelenktes Hubschra-
uberabwergeschosses — protivhelikop-
terska municija upravljana na završ-
nom delu putanje), koja je, u stvari,
vođeno protivhelikoptersko zrno za
top 120 mm sa glatkom cevi na osno-
vnom borbenom tenku LEOPARD 2.
Razvile su je, 1980. godine, firme Rhe-
inmetall i BGT u Nemačkoj. EPHAG
ima pasivno IC vođenje i aerodinami-
čka krstasta krilca za korekciju puta-
nje. Cilj se uništava kinetičkom ener-
gijom zrna i malim eksplozivnim pu-
njenjem smeštenim u osnovi zrna.
Stečena iskustva sa municijom EPHAG
i drugom eksperimentalnom vođenom

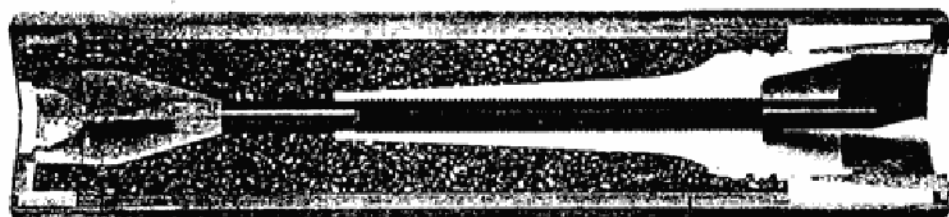
protivhelikopterskom municijom (TA-
PIR), koriste se u studiji nazvanoj
TRG, (Technologie Rasanter Geschose
— tehnologija zrna velike početne br-
zine). Ta zrna imaju početnu brzinu
oko 2000 m/s. U posebno projektova-
nim sistemima za kontrolu ekspanzi-
je gasova, koji prolaze kroz upravlja-
čke mlaznice, impulsno definisanje
snage i pravca može se izvoditi bez
potrebe za mehaničkim elementima.

Nove vrste municije imaju za cilj
poboljšanje PVO topovima, i ne zah-
tevuju razvoj i uvođenje novih sred-
stava. Potrebne su samo male modi-
fikacije topova ili SUV-a. Mana posto-
jećih topova je u njihovoj velikoj ma-
si, u nekim slučajevima maloj brzini
gađanja. Pošto velika brzina gađanja
i velika početna brzina, kao i manje
rasturanje, poboljšavaju verovatnoću
pogađanja, opšti trend je u vučnim la-
kim vazdušnoprenosivim PA sistemi-
ma.

Usavršavanje PA topova

CTA 45

Prvenstveno projektovan za kori-
šćenje u sledećoj generaciji lako i sre-
dnjeoklopljenih vozila, firme GIAT i
Royal Ordnance razvile su novi top
CTA, kalibra 45 mm, sa teleskopskom
municijom (cased telescopic ammuni-
tion). Te dve kompanije sarađuju u ok-
viru međunarodnog sporazuma o raz-
voju. Prva konkretna primena novog
topa biće na VAD (Vehicle Appi Dire-
cte) verziji francusko-nemačke famili-
je VBM/GTK 8×8 oklopnih vozila, na-

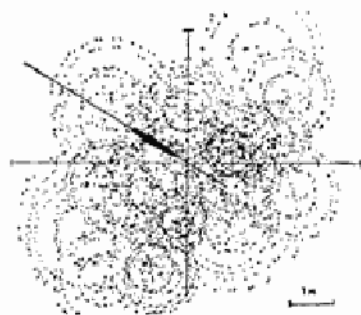
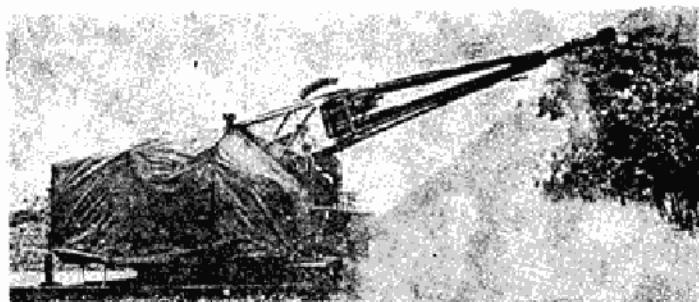


Sl. 3 — Oblik CTA municije za PA topove

menjenih za dejstvo po lakooklopljenim borbenim vozilima, nezaštićenim objektima, i ako je potrebno, helikopterima. Biće raspoloživo nekoliko vrsta municije za uvođenje u upotrebu oko 2002. godine: FAPDS i APFSDS, HEI sa elektronskim tempirnim upaljačem i za osetljive ciljeve i helikoptere — programabilna municija slična AHEAD. Osnovni nedostatak tog razvoja jeste kalibar topa 45 mm koji još nije međunarodno verifikovan i standardizovan.

OERLIKON-CONTRAVES 35/1000

Zadržavanjem kalibra 35 mm i mogućnosti korišćenja postojećih vrsta municije, firma Oerlikon — Contraves razvila je gasno pokretni top 35/1000, mase samo 450 kg. Velika brzina gađanja (preko 1000 metaka/min) i velika početna brzina od 1050 m/s (za AHEAD) i 1440 m/s (za APDS) omogućavaju široku primenu topa, posebno u PVO.



Sl. 4 — Top CONTRAVES 35/1000 i slika pogodaka na cilju

Automatski top MAUZER RuMaKa

Trzanje kao osnovna karakteristika topovskih sredstava znači da je sistem top — lafet (postolje) relativno težak, tako da su potrebna vozila mase preko 10 t, da bi se obezbedila stabilna platforma za topove kalibara ve-

ćih od 30 mm. Idealno rešenje je bestrajni top, kome je dodata poboljšana elektronska i optoelektronska oprema.

MAUZER, kao i novi deo Rheinmetall grupe, trenutno ispituje bestrajni top 30 mm, pod nazivom RuMaKa (Ruckstossfreie Maschinenkanone). Rezultati ispitivanja su, uglavnom, ohrabrujući. Top se može razviti za opremanje nemačke verzije helikoptera TIGAR, vozila 4×4 ili guseničnog vozila kao što je WIESEL, sa mnogo snažnijim topovskim sistemom od prethodnih. Bestrajni PA top radi na sličan način, kao i dobro poznati bestrajni top za pešadiju, dozvoljavajući kompaktan projekat male mase. Sa Lavalovim mlaznikom, brzina gasova, koji ističu unazad, rapidno se smanjuje, tako da je opasna zona iza oružja samo 1 do 2 m.

Revolver-top sa odvođenjem gasova imaće brzinu gađanja oko 700 metaka/min, i masu od samo 50 kg. Kupola za lako PA vozilo imaće borbe-

nu masu oko 480 kg, koju čini 100 kg za dva topa, 100 kg za rakete i lanser, 100 kg za municiju (oko 300 zrna), 110 kg za sklop kupole, a ostatak je pomoćna oprema. Teleskopska municija imaće induktivno paljenje, visokoenergetsko gorivo i sagorljivi omotač. Početna brzina biće preko 1000 m/s.

Različiti zahtevi i vojna tradicija, kao i različite industrijske mogućnosti pružaju široke mogućnosti PA sistema za upotrebu u KoV i mornariici. Može se reći da se svi mornarički PA sistemi mogu razvijati i kao zemaljski. Međutim, zatvoreni mornarički vatreni sistemi su visokosofisticirani i namenjeni za zaštitu brodova od vrlo brzih raketa.

Mogućnosti međusobne operativnosti i standardizacije kalibara, vrsta municije ili čak čitavih sistema, planirane su zbog povećanog značaja dodeljene uloge. Zadržavanje široko korišćenih kalibara čini lakšim i jeftinijim postepeno uvođenje novih topova i novih vrsta municije, pošto postojeća municija ili topovi mogu i dalje da se koriste.

Mobilnost (pokretljivost)

Mobilnost je opšti činilac zaštite, posebno za PA sisteme, pošto ta vrsta oružja predstavlja unosan cilj na bojištu. Zbog toga se sve više izrađuju mobilni PA sistemi montažom na gusenična vozila ili vozila točkaše, ili sa poboljšanim sposobnostima transporta vazдушnim putem. Na primer, američki avion C-130 HERCULES može poneti 20 PA sistema.

Danas PA topovi imaju efikasan domet preko 4000 m. Zbog toga je korisno da na bojištu postoji kombinacija jednog mobilnog i stacionarnog sistema — PA raketa (sa većim dometom) i topova koji brzo reaguju (sa prednostima u niskoj ceni municije i mogućnostima primene i protiv ciljeva na zemlji). Na tržištu oružja već se nalazi nekoliko novih modela koji predstavljaju hibridne sisteme. U većini slučajeva PA topovi i rakete koriste iste sisteme SUV-a optoelektronike.

AVANGER

Sistem AVANGER predstavlja dnevno-noćni raketni sistem za pozadinsku PVO. To je najmanji hibridni sistem, a montiran je na vozilo HOMMER. Pored mitraljeza 12,7 mm ima 8 raketa STINGER i 2 lansera.

ZSU 23-4 23 mm

Ruski ZSU 23-4 je PA tenk sa četiri topa kalibra 23 mm koji je najčešće korišćen u oklopni PA sistem uopšte.

SIDAM 25 mm

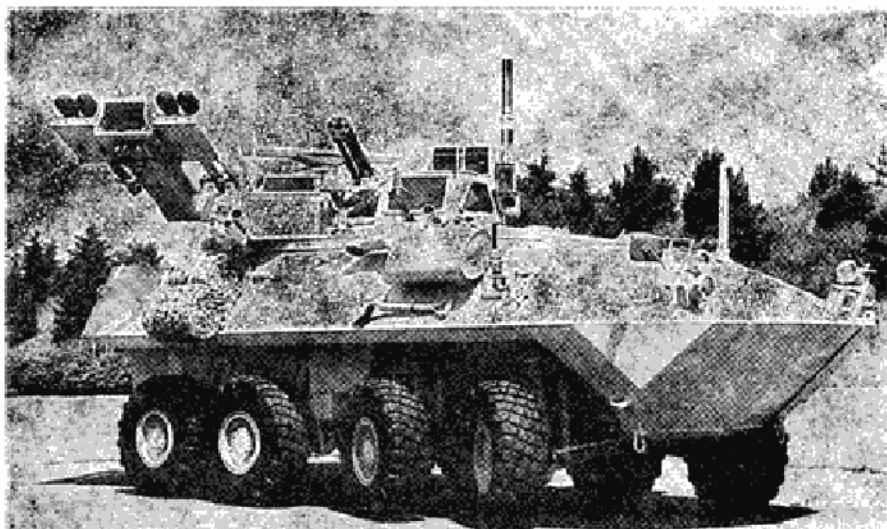
Kasnih osamdesetih godina firma OTO Breda uvela je u italijansku armiju PA top SIDAM 25 mm sa OERLIKON 25 mm KBA principom. Kupola je izrađena od legure aluminijuma za jednog člana posade (borbena masa 3200 kg) i montirana na usavršenu šasiju američkog transportera M113, a može se ugraditi i na ostale vrste oklopnih vozila točkaša ili guseničara. Komandir se nalazi u kupoli, a nišandžija je smešten u zadnjem delu vozila. Četiri topa imaju ukupnu brzinu gađanja od 2400 metaka/min, a u četiri kontejnera smešteno je 640 zrna. Početna brzina iznosi 1100 do 1335 m/s. SUV koristi TV sistem praćenja cilja i laserski daljinomer. Studije su pokazale izvodljivost opremanja SIDAM 25 mm sa dve grupe sa po 3 rakete MISTRAL.

BLAZER 25 mm

Sistem BLAZER koji je razvila firma Lockheed Martin, podrazumeva više koncept nego posebnu PA kupolu za vozilo točkaš mase 12 do 15 tona. Standardna oprema kupole, čija je borbena masa 2700 kg, jeste električno pokretni top 25 mm GAU — 120 GE.

TLING sa 360 zrna. Vrsta raketa i SUV zavisi od postavljenih zahteva. Instalacija može imati 2×4 rakete STINGER i integrisan FLIR-TV sistem, koji se koristi u lakom oklopnom vozilu LAV-AD (Light Armoured Vehicle — Air Defence), a moguće su razne kombinacije raketa STINGER ili MISTRAL, FLIR-TV sistem, laserski daljinomer i Doplerov radar, koji su u upotrebi kod poznatog PA sistema CROTALE NG AA.

stavlja najefikasniji PA sistem na gusenicama. Vozilo mase 34 t, sa posadom od četiri člana, bio je prvi hibridni sistem sa radarom ili optički kontrolisanim topovima ili raketama. Ima dva spolja montirana dvocevna topa kalibra 30 mm (ukupna brzina gađanja 4000 do 5000 metaka/min) i 8 SA-19 GRISON (ruska oznaka 9M311) raketa zemlja-vazduh, instaliranih bočno i ispod topa. Rakete su dometa oko 6 km.



Sl. 5 — Hibridna PA kupola sa topom GETLING i raketama na sistemu BLAZER 25 mm

WILDCAT 30 mm

Nemačka firma Krauss Maffei razvila je kupolu WILDCAT sa dva topa MAUZER, kalibra 30 mm, za srednje oklopno gusenično vozilo ili vozilo točkaš. Poslednja verzija ima IC vođene rakete, kao što su STINGER ili MISTRAL.

TUNGUSKA 2S6M 30 mm

Ruski sistem 2S6 TUNGUSKA nalazi se u upotrebi od 1986. godine. U najmodernijoj verziji 2S6M ona pred-

GEPARD 35 mm

Još sedamdesetih godina glavni mobilni oklopni PA sistem NATO bio je GEPARD na koji su montirana dva topa kalibra 35 mm OERLIKON KDA na šasiji tenka LEOPARD-1. On će se zadržati, verovatno, još oko 15 godina u upotrebi u armijama Nemačke, Holandije i Belgije. Nemačko-holandski sistem biće snabdeven poboljšanim digitalnim SUV-om i novom FA-PDS municijom (pored HEI i APDS) dometa 4,5 km.

MARKSAM 35 mm

Dva topa 35 mm montirana u kupoli MARKSAM (za dva člana posade) proizvedena su u kompaniji Marconi Radar & Control System, a predviđeni su za montažu na tenkove ili vozila točkaše bez drugih modifikacija. Finska armija nabavila je određeni broj kupola MARKSAM koje su ugrađene na tenkove T-55. Svaki top ima 230 PA i 20 protivoklopnih zrna. U automatskom modu sa akvizicijskim radarom, sistem MARKSAM ima vreme reakcije ispod 5 sekundi.

eGLaS 35 mm

Odsek poznate južnoafričke kompanije Denela, LIW, razvio je vučni PA sistem nazvan eGLaS 35, montiran na platformu prikolice. Najnoviji je jednocevni GA top 35 mm sa brzinom gađanja 500 do 600 metaka/min i početnom brzinom od 1175 m/s.

SKYSHIELD 35 mm (AHEAD PA sistem)

U svetu ima preko 1000 dvocevnih topova OERLIKON 35 mm GDF 001/002/003 i 005, sa 500 SUV SKY-GUARD (i 100 lansera raketa SPARROW), koji će se zameniti novim sistemom. Razvijena su dva nova revolver topa 35 mm/1000 sa 228 AHEAD (ili drugih zrna) na dve nove računarnom upravljane platforme, sa SUV na multisenzorskoj jedinici za automatsko praćenje i komandnim mostom za dvočlanu posadu. Sa masom manjom od 3 t (u poređenju sa gotovo 8 t GDF005) top se može lako transportovati vozilom, avionom ili helikopterom. Novi ADATS raketni lanser obezbeđuje sistem većeg dometa. Oerlikon-Contraves ispitivao je mogućnost stvaranja mobilnog automat-

skog PA sistema montiranjem topa 35/1000 sa integrisanim senzorom praćenja i radarom na vozilo 6×6.

TRIAD 40 mm

Boforsov TRIAD (ranije poznat kao CHAMELEON LVKV90) predstavlja PA verziju borbenog vozila pešadije CV90, koji je razvijen za švedsku armiju. Namenjen je za zaštitu bataljona CV90 i LEOPARD-2 od osnovne vazdušne opasnosti koja dolazi od helikoptera. Kupola za komandira i nišandžiju opremljena je dobro poznatim topom L/70 40 mm sa 24 metka u magacinu na oružju i 48 metaka u rotirajućem magacinu na podu kupole, THOMPSON-CSF radarom dometa 14 km, FLIR-TV sistemom i laserskim daljinomerom. Sa 3P i APDSFS municijom, TRIAD se može koristiti za dejstvo protiv ciljeva u vazдушnom prostoru i protiv oklopnih vozila.

TRIDON 40 mm

Švedski sistem TRIDON 40 mm ima poboljšani top kalibra 40 mm EL/70 i integrisani SUV, montiran na 6×6 VME A25C šasiju. Borbena masa mu je 23 tone, a posadu čini 5 članova (vozač i obeleživač objekta dejstva u kabini vozila, komandir, crtač i nišandžija u kupoli). TRIDON je opremljen različitim konfiguracijama SUV koji variraju od verzije niske cene (vremena reakcija oko 9 s) do visokosofisticiranih TRIDON 3 (sa 4 s ukupnog vremena reakcije — 1 s za označavanje, 0,5 s za detekciju, 1 s za automatsko praćenje i 1,5 s za predviđanje puta).

OTOMATIC 76 mm

OTOMATIC PA top 76 mm (na šasiji tenka LEOPARD-1), koji je razvila i testirala italijanska kompanija

Oznaka topa Proizvođač Municija	KBA Oerlikon- Contraves 25 x 137 mm	BK27 Mauzer 27 x 145 mm	MK30 Mauzer 30 x 173 mm	KDA Oerlikon- Contraves 35 x 228 mm	35/1000 Revolvier top Oerlikon- Contraves 35 x 228 mm	40 mm L/70 Bofors 40 x 225 mm	45 CTA Giat + RO 45 x 305 mm
Masa (kg)	112	100	152	430 ili 640	450	640	330
Brzina gađanja (metaka/min)	600	1700	800	550	1000	300	400
Početna brzina (m/s):							
HEI	V ₀ 1100	V ₀ 1025	V ₀ 1050	V ₀ 1175	V ₃₀₀₀ 373	V ₀ —	V ₀ 1175
AHEAD	—	—	—	1050	398	—	—
3P	—	—	—	—	—	1012	—
APDS	1335	—	1440	1390	854	—	—
FAPDS	1310	—	—	1440	926	—	1244
APDSFS	1405	1100	—	1430	970	1470	1310
Masa metka (g):							
HEI	508	516	694	1572	1572	—	2600
AHEAD	—	—	—	1770	1770	—	—
3P	—	—	—	—	—	2500	—
APDS	486	—	—	1420	1420	—	—
FAPDS	480	—	—	1440	1440	—	2200
APDSFS	437	480	—	1445	1445	2300	2400
Masa projektila (g):							
HEI	180	260	369	550	550	—	1200
AHEAD	—	—	—	750	750	—	—
3P	—	—	—	—	—	975	—
APDS	150	—	150	380	380	—	—
FAPDS	150	—	—	375	375	—	500
APDSFS	150	225	—	380	380	500	—

OTO Breda, predstavlja mobilni PA sistem sa najvećim efektivnim dometom od svih postojećih (6000 do 10000 m). Ima posadu od tri člana, a osnovno naoružanje čini top 76 mm L/62, izveden od mornaričkog topa SUPER RAPID 76 mm. Top ima brzinu gađanja od 120 metaka/minuti, sa početnom brzinom od 910 m/s ili 1100 m/s sa novom protivraketnom municijom AMARTOF (anti-missile ammunition with reduced time of flight — protivraketna municija sa smanjenim vremenom leta) koja ima višestruki traser za smanjenje osnovnog čeonog otpora. Otomatik može da nosi 90 metaka, a SUV za primenu u svim vremenskim uslovima ima radar za otkrivanje i praćenje, LLLTV kameru i laserski daljinomer.

Zaključak

Većina sadašnjih PA topova i municije ostaće u upotrebi i sledećih 10 do 20 godina, možda čak i duže. Neki će poboljšati SUV i performanse municije kreirane za specijalne ciljeve. U istraživanju se zadržavaju čelične cevi topova i municija sa barutnim punjenjem, dok veliki posao predstoji u poboljšanju konstrukcije topova. Početna brzina mora se i dalje povećavati, jer od nje zavise verovatnoća pogađanja i efikasan domet.

Međutim, velika poboljšanja mogu se dobiti primenom novih tehnologija, kao što su laserski, elektrotermalni i elektromagnetni topovi.

Laserski top, sa efikasnim dometom oko 5 km i sposobnošću da »zaslepi« cilj oštećenjem senzora i elektronike, biće idealna dopuna za konvencionalne topove. Međutim, ovde će mnogi problemi ostati nerešeni, posebno snabdevanje energijom i upravljanje zracima, mada se zbog oštećenja koje energija lasera stvara na cilju laserski zrak mora fokusirati na jed-

nu tačku nekoliko sekundi. Tehnički problemi sa laserskim topovima neće, verovatno, biti rešeni do 2010. godine, a konačni razvoj PA laserskih sistema ostvariće se tek nakon tog perioda.

Elektrotermalni top koristi konvencionalnu cev, ali ima električnu komoru za sagorevanje, koja generiše visokotemperaturnu plazmu početne brzine oko 2500 m/s. PET (Powder electro thermal — barutni elektrotermalni) top je kombinacija barutnog topa i elektrotermalne propulzije.

Šinski elektromagnetni topovi sa efikasnošću 30 do 40%, mogu generisati početnu brzinu 2500 do 4000 m/s za zrna mase oko 300 g, u odnosu na topove na bazi indukcije — koji imaju teoretsku efikasnost 50 do 70% i mogu generisati početnu brzinu preko 3500 m/s. Vrlo velike početne brzine rezultiraju mnogo većim efikasnim dometom i verovatnoćom pogađanja. Moguće je, čak, pogoditi ciljeve na daljinama preko 8 km. Oba elektromagnetna topa imaju vrlo velike energetske zahteve, ali novi razvoji u pogledu akumulatora i izvora ukazuju na to da je moguće instalirati elektromagnetni top i na vozila.

Elektrotermalni i elektromagnetni topovi nalaze se u fazi ispitivanja u mnogim zemljama, a rezultati su više nego ohrabrujući. Međutim, proći će nekoliko decenija pre nego što se takvi topovski sistemi uvedu u operativnu upotrebu. Najpre, to bi mogao da bude elektrotermalni top oko 2015. godine, zatim šinski, a tek nakon toga elektromagnetni top na bazi indukcije. Međutim, da li će oni uvek biti aktuelni za vojsku ne zavisi samo od tehnologija — finansijski i politički činioci su, očigledno, značajniji.

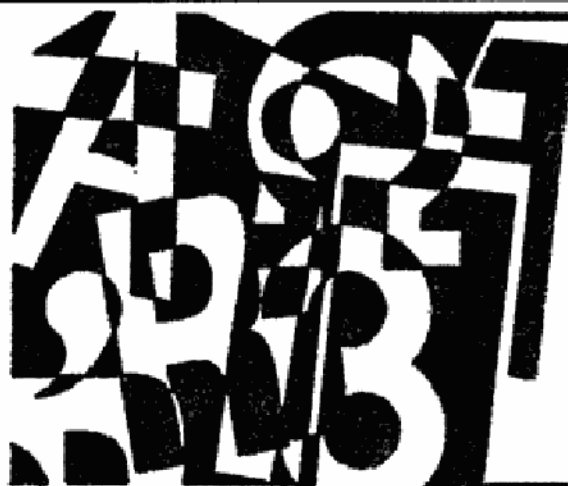
NATO trenutno radi na analizi zahteva i tehničkih rešenja za PVO budućnosti. Dva industrijska konzorcijuma sa kompanijama iz osam zemalja NATO proučavaju tehnička rešenja

sistema vrlo kratkog i kratkog dometa za period upotrebe posle 2015. godine. Rezultati studije biće poznati 1998. godine, kada će se saznati koja uloga će

biti dodeljena sistemima topova (većina uključenih kompanija su sa raketnim programima) i da li će električni topovi biti pogodni.

Literatura:

- [1] Armada International, 1994, 1995, 1996.
- [2] Wehrtechnik, 1994, 1995, 1996.
- [3] Soldat und technik, 1994, 1995, 1996.
- [4] International Defence Review, 1994, 1995, 1996.
- [5] Military Parade, 1—6/1995, 1—6/1996.
- [6] Defendory '94, '96, izložba naoružanja i vojne opreme, Atina, Grčka, (prospektni materijali).
- [7] Hemus '96, izložba naoružanja i vojne opreme, Plovdiv, Bugarska, (prospektni materijali).
- [8] Tehnika i vooruženie, 1995, 1996.
- [9] Air & Cosmos, aviation international, 1996.
- [10] Trupendienst, 1996.



prikazi iz inostranih časopisa

SAMOHODNI PROTIVOKLOPNI RAKETNI SISTEM HRIZANTEMA*

Smatra se da najveća oštećenja oklopnim vozilima mogu naneti samohodni protivoklopni raketni sistemi. Analiza razvoja ove vrste naoružanja i procena regionalnih vojnih sukoba omogućuje da se utvrde sledeći osnovni uslovi za protivoklopni raketni sistem na početku 21. veka:

- mogućnost korišćenja u svim vremenskim uslovima, danju i noću, i u uslovima ograničene vidljivosti,

- mogućnost gađanja nekoliko ciljeva primenom principa »lansiraj i zaboravi«,

- velika moć kumulativne bojne glave vođenog projektila u probijanju oklopa,

- veliki domet i visok stepen preciznosti gađanja, uz veliki stepen verovatnoće opstanka na bojištu.

Danas u svetu nema protivoklopnog raketnog sistema sa karakteristikama koje bi zadovoljavale navedene uslove u celini. Pojedini uslovi su parcijalno realizovani u protivoklopnim sistemima, kao što su: JAVELIN, HE-

LLFIRE, TOW-2A, SATURN-S, KORNET-E i neki drugi.

Implementacija ovih uslova u jedan agregat predstavlja složen naučni i tehnički problem koji zahteva napore mnogih firmi i visokokvalifikovanih stručnjaka, kao i duži vremenski period za projektovanje i razvoj. Potrebno je krenuti od tradicionalnih prilaza koji se koriste za konstruisanje savremenih sistema protivoklopnog oružja, i primeniti principijelno nova naučna i tehnička rešenja za razvoj vođenog protivoklopnog raketnog sistema. Sistem HRIZANTEMA u potpunosti zadovoljava zahteve koji se postavljaju pred savremene protivoklopne sisteme, a u njemu je rešen naj-složeniji problem — korišćenje radar-skog sistema. Rešenje problema sastoji se u osiguranju stabilnog i veoma preciznog praćenja ciljeva na zemlji, i vođenja projektila na daljinama od 5000 do 6000 m, neposredno iznad površine zemlje. Ovaj problem uspešno je rešen primenom milimetarskog talasnog opsega u radarskom sistemu.

Automatski radarski sistem za otkrivanje cilja i njegovo praćenje sa jednovremenim upravljanjem projektilom u toku njegovog vođenja ka cilju, razvijen je za protivoklopni raketni sistem HRIZANTEMA.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, 8/1996.

Proces praćenja cilja koji odabere nišandžija i vođenje projektila obavlja se automatski, čime je primenjen princip »lansiraj i zaboravi«.

Sistem HRIZANTEMA opremljen je i dodatnim poluaktivnim sistemom vođenja po laserskom snopu koji omogućuje da se efikasno napadnu sve vrste ciljeva u uslovima optičke vidljivosti. Postojanje dva sistema za vođenje omogućuje gađanje u tri režima:

— sa automatskim radarskim vođenjem,

— sa poluautomatskim vođenjem po laserskom snopu,

— sa kombinovanim vođenjem.

Kada se dejstvuje u kombinovanom režimu, projektili se lansiraju

jedan za drugim. Prvi projektil vodi se automatski, a drugi poluautomatski. Projektili se mogu voditi jednovremeno po dva kanala. Na taj način, sistem HRIZANTEMA ima mogućnost rada na više kanala, čime se materijalno poboljšava njegova borbena efikasnost.

Vođeni projektil ima kumulativnu ili razornu bojnu glavu. Kumulativnom bojnou glavom mogu uspešno da se napadaju savremeni tenkovi sa eksplozivnim reaktivnim oklopom. Razorna bojna glava može se koristiti za dejstvo po ciljevima svih vrsta. Vođeni raketni projektil ima nadzvučnu prosečnu brzinu.

Sistem HRIZANTEMA ugrađen je na šasiji borbenog vozila pešadije BMP-3 čije su tehničke i operative karakteristike poznate.

Karakteristike protivoklopnog raketnog sistema HRIZANTEMA

Vrste ciljeva	savremeni i budući tenkovi, borbena vozila pešadije, lakooklopljeni ciljevi, bunker i logistički položaji, živa sila u skloništima, avioni i helikopteri koji lete nisko i malom brzinom
Vrsta bojne glave vođenog projektila	kumulativna i razorna
Moć probijanja kumulativne bojne glave	obebeđuje uništavanje savremenih i budućih tenkova koji imaju reaktivni oklop
Sistem vođenja	automatsko radarsko vođenje u milimetarskom talasnom području i poluautomatsko vođenje po laserskom snopu
Maksimalni domet (danju i noću) (m)	5000 do 6000
Brzina leta vođenog projektila	nadzvučna
Otpornost sistema na ometanje	visoka
Uslovi borbenog korišćenja	u svim vremenskim uslovima, danju i noću, u uslovima ograničene vidljivosti
Osnova borbenog vozila	šasija BMP-3
Posada	2 člana
Punjenje bacača	automatsko
Borbeni komplet raketnih projektila (kom.)	15

Nadzvučna brzina vođenog projektila i jednovremeno lansiranje po dva kanala obezbeđuje veliku brzinu gađanja. Kombinacija maksimalnog dometa i oklopne zaštite omogućava veliku verovatnoću opstanka sistema HRIZANTEMA na bojištu.

Procene borbene efikasnosti sistema, obavljene u različitim operativnim uslovima, uključujući kriterijum cena — efikasnost, pokazuju nadmoć u odnosu na postojeća protivoklopna oružja.

Sistem HRIZANTEMA sastoji se od borbenog vozila 9P157-2, vođenog projektila 9M123-2 sa kumulativnom bojnog glavom, vođenog projektila 9M-123F-2 sa razornom bojnog glavom i od ispitne opreme za borbeno vozilo i vođeni projektil.

P. Marjanović

KOMBINOVANI ARTILJERIJSKO-RAKETNI SISTEMI PVO*

Da bi PVO bila dovoljno efikasna, sistem protivavionskog oružja trebalo bi da se sastoji od nekoliko tipova oružja. Sistemi protivavionskog oružja mogu se, uslovno, podeliti na tri grupe:

— najjednostavniji i najjeftiniji prenosni raketni sistemi PVO tipa STINGER, MISTRAL, IGLA;

— sistemi bliskog dejstva kao što su ROLAND, CROTALE, GEPARD, TUNGUSKA, THOR;

— protivavionski raketni sistemi srednjeg i velikog dometa tipa HAWK, PATRIOT, S-300 i drugi.

Maksimalnu efikasnost grupacije PVO prema kriterijumu efikasnost-ce-

na obezbeđuje optimalni odnos različitih tipova sistema PVO.

U većini zemalja — proizvođača sredstava za blisku PVO vlada praksa zajedničkog korišćenja raketnih sistema PVO: ROLAND, CROTALE i cev-nih (artiljerijskih) sistema tipa GEPARD i OERLIKON. Smatra se da je ovakvo organizovanje PVO neracionalno sa aspekta troškova, i da je najpogodnije korišćenje sistema PVO sa kombinovanim artiljerijsko-raketnim naoružanjem.

Kombinovani sistem PVO TUNGUSKA

Dometa sistema TUNGUSKA (slika 1), ne bi trebalo da bude ispod 10 km, kako bi se obezbedilo da sredstva PVO prva otvore vatru na avione i helikoptere koji nose danas najrasprostranjenije vrste oružja — vođene raketne projektili i avionske bombe sa optičkim sistemom navođenja na cilj (laserske i IC glave za samonavođenje, lasersko-emisioni sistemi) i nevođena ubojna sredstva (nevođeni raketni projektili, malokalibarsko i topovsko naoružanje), i to pre nego što dođu do navedene daljine.

Na ovim daljinama nesumnjivo preimućstvo imaju sistemi sa komandnim vođenjem, što omogućuje da se konstruiše vođeni projektil malih dimenzija i sa velikim manevarskim mogućnostima, što je vrlo bitno kada se vođeni projektili zemlja-vazduh masovno koriste — to je potrošna komponenta sistema, a rešavanje svih zadataka u vezi sa vođenjem preneto je na zemaljski uređaj, gde se to jednostavnije ostvaruje.

Druga specifičnost sistema TUNGUSKA jeste korišćenje optičkog sistema vođenja projektila. Poznato je da u 80% slučajeva i napadačka sredstva imaju optički sistem vođenja koji obezbeđuje:

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar—oktobar 1986.



SL. 1 — Protivvazdušni artiljerijsko-raketni sistem TUNGUSKA

— najveću preciznost gađanja cilja u vazдушnom prostoru, bez obzira na visinu njegovog leta, a omogućuje i gađanje ciljeva na zemlji,

— pasivni režim rada i visoki stepen zaštite od ometanja,

— veliku pouzdanost i izdržljivost sistema pri zajedničkom korišćenju sa radarskim kanalom.

Karakteristika TUNGUSKE jeste i univerzalnost borbene primene, tj. uništavanje ne samo ciljeva u vazдушnom prostoru kao prioritetni zadatak, već i kopnenih vozila i žive sile protivnika.

Sistem obezbeđuje:

— potpuno autonomno dejstvovanje kao i dejstvo u sastavu jedinice;

— gađanje iz mesta i iz pokreta;

— uništenje cilja na većoj daljini raketnim projektilom, a na manjoj — topovskom vatrom;

— gađanje ciljeva na malim visinama i ciljeva koji se iznenada pojave;

— gađanje ciljeva u vazдушnom prostoru i na zemlji;

— dejstvovanje i u složenim vremenskim uslovima;

— jednostavnost korišćenja.

Sistem nove generacije, izrađen na istim principima kao i TUNGUSKA, jeste PANCIR-S1 (slika 2) za dejstvo na malim daljinama. Nalazi se u završnoj fazi razvoja i ispitivanja, a serijska proizvodnja predviđena je za 1998. godinu.

Osnovna namena sistema PVO PANCIR jeste zaštita vitalnih objekata od savremenih sredstava napada iz vazdušnog prostora, a, takođe, i ojačanje grupacije PVO za dejstvo na malim visinama.

PANCIR je orijentisan na uništenje širokog dijapazona ciljeva u vaz-

dušnom prostoru koji su objedinjeni pod opštim nazivom »oružje velike preciznosti«.

Sistem PANCIR ima, pre svega, sledeće dodatne mogućnosti:

— isključuje mogućnost da protivnik primeni najmasovnije oružje, tj. obezbeđuje preventivni udar protiv napadača;

— proširuje mogućnost korišćenja radarskih režima vođenja, jer ima radar sa dva opsega. Time se obezbeđuje velika preciznost vođenja vođenog projektila zemlja-vazduh na račun uskog snopa i smanjivanja grešaka pri dejstvu po ciljevima na malim vi-

nezavisna kanala vođenja i mogućnostima gađanja cilja jednovremeno sa dva vođena projektila zemlja-vazduh i malom vremenu borbenog ciklusa.

Vođeni raketni projektil zemlja-vazduh 5/E6 sistema PANCIR izrađen je po bikalibarskoj tandemskoj šemi sa odvajajućim startnim motorom. Mali kalibar drugog (marševskog) stepena motora obezbeđuje izvanredne sposobnosti vođenog projektila zemlja-vazduh i kratko vreme leta do cilja. Ovakva konstrukcija omogućuje izradu bojne glave šipkastog tipa sa velikim izduženjem, čija se efikasnost postiže uvećanjem dužine i smanjivanjem poprečnog preseka.



Sl. 2 — Protivvazdušni artiljerijsko-raketni sistem PANCIR

sinama u milimetarskom opsegu, kao i zajednički rad u santimetarskom i milimetarskom opsegu;

— obezbeđuje dejstvo danju i noću u optičkom režimu;

— velika borbena produktivnost sistema, zahvaljujući postojanju dva

Veliko izduženje bojne glave obezbeđuje ravnomerni front udarnog talasa po dužini bojne glave i smanjuje energetske gubitke po bokovima. Na taj način postiže se velika brzina razletanja šipki (do 1600 m/s) i stvaraju se bolji uslovi za »zahvatanje« cilja. Bojna glava sa šipkama je, u stva-

ri, bojna glava usmerenog dejstva. Ako se upoređi sa rasprskavajućom (parčadnom) bojnog glavom, koja, uglavnom, uništava cilj izbacivanjem iz stroja organa upravljanja, bojna glava sa šipkama razara zmaj letelice rezanjem i paljenjem motora.

Pošto se kod vođenog raketnog projektila 57E6 koristi bojna glava sa šipkama on je efikasniji od raketnih projektila iste klase sa parčadnom bojnog glavom za 1,5 do 2 puta.

Vođeni raketni projektil 57E6 prevazilazi druge projekte iste klase za 1,8 do 2,5 puta prema sledećim parametrima:

- srednjoj brzini leta,
- efektivnosti bojne glave sa šipkama,
- daljini vođenog leta,
- odnosu mase bojne glave prema masi raketnog projektila.

Modularni princip konstruisanja protivvazdušnog artiljerijsko-raketnog sistema TUNGUSKA omogućio je: smeštanje sistema na različita vozila, i razvoj drugih modifikacija.

Osnovna varijanta sistema TUNGUSKA smeštena je na kamionskoj šasiji URAL-5323, nosivosti 10 t, a na osnovu nje razvijene su sledeće modifikacije:

- zaklonska varijanta, čija je specifičnost da se gađa sa prenosnih pultova, a posluga može da bude smeštena u opremljenoj i zaštićenoj prostori;

- varijanta sa pojednostavljenim sastavom instrumenata, smeštena na malim plovnim objektima (patrolnim, stražarskim), a sastoji se samo od optičkih kanala vođenja. Odlikuje se funkcionalnom jednostavnošću, pa je zbog toga i jeftinija. Ova varijanta može da bude zadovoljavajuća za dobre klimatske uslove gde nema ograničenja zbog složenih meteoroloških uslova.

Po svojim borbenim svojstvima i principima konstrukcije sistem PAN-CIR spada u novu generaciju protivvazdušnih sistema, zasnovanih na uvođenju najnovijih sistema vođenja, što mu obezbeđuje velike mogućnosti i vodeću poziciju u toj vrsti vojne tehnike.

Brodski protivvazdušni sistemi

Izloženi problemi, pred kojima se nalaze snage KoV pri organizaciji PVO, javljaju se i u RM. Naime, brod je vrlo unosan cilj, čije izbacivanje iz stroja smanjuje borbeni potencijal RM. Zato su za njihovo uništavanje konstruisani specijalni tipovi oružja — protivbrodski krstareći raketni projektili — koji su vrlo efikasni i uspešno se koriste u nizu lokalnih vojnih konflikata.

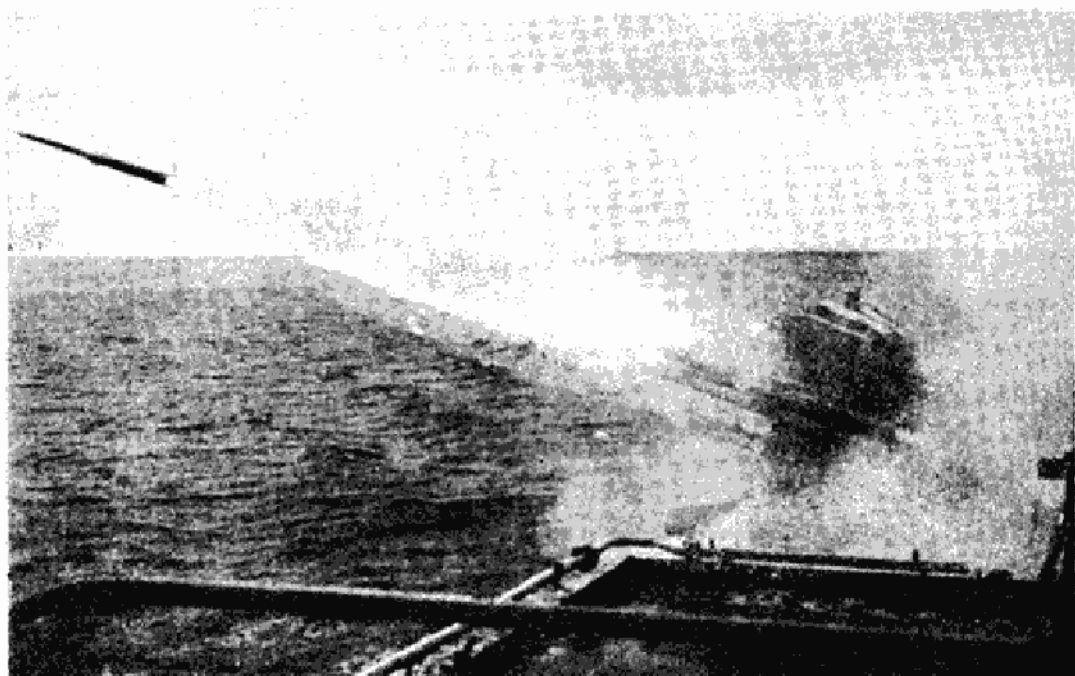
Brodovi sa malim depasmanom, uključujući raketne čamce, veoma su slabo zaštićeni od protivbrodskih krstarećih raketnih projektila, jer se na njih ne mogu smestiti glomazni sistemi protivvazdušne odbrane. Zato površinski brod koji nema mogućnost samoodbrane i zaštite, gotovo nema šanse za opstanak. Naime, protivbrodski krstareći projektili raspolažu ogromnom razornom snagom i nizom prednosti koji čine borbu protiv njih vrlo teškom. To je lansiranje protivbrodskog raketnog krstarećeg projektila sa velike daljine, van dometa brodskih sredstava PVO (stand-off), male dimenzije i male visine leta (iznad površine vode), zbog čega su ovi projektili praktično neuhvatljivi za ranija sredstva brodske PVO, koja su, uglavnom, bila namenjena za borbu protiv aviona i helikoptera. Važno je, takođe, i da protivbrodski krstareći projektili nisu iscrpli mogućnosti svog daljeg razvoja, pa treba očekivati njihovo dalje poboljšavanje. Zbog toga se radi na razvoju sistema malih dimenzija za borbu protiv protivbrodskih krstarećih projektila na malim daljinama.

Radi bezbednosti broda potrebno je da protivbrodski krstareći projektil bude uništen na određenom minimalnom odstojanju od broda. Da bi se uređaj za upravljanje krstarećim projektilom uništio ili ošteti tako da padne u more, projektil treba da se nalazi na minimalnom odstojanju 1500 m od broda.

Da bi se razorilo telo krstarećeg projektila treba da se gađa na daljinama od 750 do 1000 m od broda na

bezopasnim daljinama, potrebno da brod bude naoružan i artiljerijskim i raketnim sistemima.

Jedinstven po svojim karakteristikama je sistem KAŠTAN (slika 3) koji u svom sastavu objedinjava snažno artiljerijsko i efikasno višerežimsko raketno naoružanje. Ovaj sistem može jednovremeno da napada do četiri protivbrodska krstareća raketna projektila u vazдушnom prostoru. Smatra se da po svojoj efikasnosti preva-



Sl. 3 — Protivvazdušni artiljerijsko-raketni sistem KAŠTAN

račun detonacije bojne glave na daljini od oko 300 m. Ovde treba imati u vidu da za nadzvučne krstareće projekte i krstareće projekte koji napadaju brod iz poniranja, navedena rastojanja moraju da budu veća.

Zona efikasnog dejstva brodskih protivvazdušnih artiljerijskih sistema iznosi 300 do 1500 m, a raketnih sistema 1500 m do 5—6 km. Zbog toga je radi sigurnog uništenja protivbrodskog krstarećeg projektila na minimalnim

zilazi sistem CROTALE NAVAL za 1,5 do 2 puta, a sistem GOALKEEPER 2,5 do 3 puta.

Sistem KAŠTAN podvrgnut je obimnim ispitivanjima, kako na obalskim položajima, tako i na plovnim objektima i serijski se proizvodi.

Na veliku efikasnost uništenja protivbrodskih raketnih krstarećih projektila uticale su sledeće specifičnosti sistema KAŠTAN:

— modularni princip konstrukcije. Zavisno od klase broda postoji jedan komandni modul i do šest borbenih modula koji zajedno omogućuju brzu i elastičnu odbranu broda;

— kombinacija artiljerijskog i raketnog oružja u jednom sistemu, što garantuje uništenje protivbrodskog krstarećeg projektila kada se na većim daljinama dejstvuje raketnim projektlima, a na malim — artiljerijskim oružjem. Na taj način povećava se uništavajući potencijal sistema pri odbijanju masovnog napada;

— razvoj integrisanog sistema vođenja velike preciznosti sa radarskim kanalom u milimetarskom talasnom području i televizijsko-optičkim kanalom sa automatskim praćenjem cilja. Mogućnost navođenja na cilj je sa velikom tačnošću na svim visinama leta cilja.

Radarski sistem vođenja u milimetarskom dijapazonu takođe omogućuje vođenje projektila brod-vazduh na niskoleteci krstareći protivbrodski raketni projektil (bez ograničenja visine leta) sa tačnošću do 2—3 m na račun niskog koeficijenta usmerenosti antene i difuznog karaktera odbijanja

talasa od morske površine u milimetarskom dijapazonu;

— zajednička obrada signala od radarskog i optičkog kanala sa automatskim izborom optimalnog režima;

— korišćenje korelaciono-kontrastne obrade signala sa memorisanjem cilja, što obezbeđuje pouzdano praćenje u različitim situacijama cilja i pozadine;

— korišćenje dva automatska brozometna topa sa ukupnom brzinom gađanja od 10000 do 12000 metaka/min.;

— korišćenje potpuno automatskog režima rada;

— korišćenje dinamičkog vođenog projektila brod-vazduh malih dimenzija.

Borbena produktivnost i uništavajući potencijal sistema KAŠTAN sa artiljerijsko-raketnim naoružanjem su 2 do 4 puta veći nego kod sistema sa artiljerijskim naoružanjem.

Jedan borbeni modul sistema KAŠTAN, kada gađa raketnim i artiljerijskim naoružanjem, može pouzdano da uništi 3 do 4 protivbrodska krstareća projektila jednovremeno, što je dovoljno za brodove malog deplasma-

Osnovne karakteristike protivvazдушnih sistema

	TUNGUSKA M-1	PANCIR S-1	KAŠTAN
Zona uništenja (km):			
— raketnim naoružanjem:			
po daljini	1,5—10	1—12	1,5—8
po visini	0,015—6	0,005—6	0,005—3,5
— topovskim naoružanjem:			
po daljini	4	4	4
po visini	3	3	3
Vreme reagovanja (s)	6—8	4—6	6—8
Borbeni komplet (kom.)			
— raketa	8	12	8 (na lanseru)
— metaka	1.904	750	1.000
Kalibar topa (mm)	30	30	30

na. Dva borbena modula mogu da odbiju jednovremeno šest krstarećih projektila, a kada lete u intervalu od 2 do 4 s, mogu da napadnu do 15.

Ovakva kombinacija tehničkih rešenja u sistemu KAŠTAN doprinosi visokom stepenu borbene stabilnosti broda.

Sistem KAŠTAN ima dva automatska šestocevna topa 30 mm GŠ-6-30K. Pojedinačna brzina gađanja jednog topa je 6000 metaka/min, a radi na principu pozajmice barutnih gasova.

Velika brzina gađanja potrebna je radi uništenja protivbrodskih krstarećih raketnih projektila na malim daljinama od broda, kada je gađanje najefikasnije. Brzina gađanja topa GŠ-6-30K je 2,5 puta veća nego kod američkog topa GAU-8/A, i omogućava da se trajanje rafala skрати na 1,2 s i za 1,5 puta skрати srednja daljina gađanja cilja do linije uništenja (300—500 m), čime se verovatnoća uništenja krstarećeg projektila povećava za 1,4 puta.

Korišćenje hlađenja pomoću tečnosti omogućava intenzivno gađanje bez smanjivanja izdržljivosti, što je vrlo važan kvalitet za odbijanje masovnih napada krstarećih projektila.

P. Marjanović

POBOLJŠANJE KVALITETA OKLOPA KORIŠĆENJEM KERAMIČKIH MATERIJALA*

Povećani broj protivoklopnih oružja doveo je do povećane upotrebe keramičkih materijala za poboljšavanje otpornosti oklopa. Međutim, keramika se sastoji od raznovrsnih smeša različitih karakteristika i načina reak-

cije zavisno od dejstva protivoklopnog ubojnog sredstva. Prema tome, keramiku treba koristiti na različite načine sa različitim stepenima efikasnosti.

Najraniji i najčešće korišćeni keramički materijali su oksidi aluminijuma ili alumina (Al_2O_3). Alumina obuhvata široki spektar materijala čija se svojstva i cena razlikuju, uglavnom, zbog procenta oksida aluminijuma koji se u njima nalaze. Ovaj procenat kreće se od 85% za materijal koji se smatra konvencionalnom aluminom do najnovijeg materijala veće čistoće sa 99,5% oksida aluminijuma, koji je skoro dvostruko skuplji. Ostali keramički materijali su još skuplji, kao što je silicijum-karbid (SiC) koji do sada nije korišćen u većoj meri za oklop vozila. Dve američke firme proizvode titan-diborid (TiB_2) i bor-karbid (B_4C) koji je i najskuplji keramički oklopni materijal. Smatra se da je preskup za oklopna vozila, ali je rentabilan za oklopnu zaštitu helikoptera.

Upoređujući osnovna fizička svojstva keramičkih materijala koji se koriste za oklopnu zaštitu sa fizičkim svojstvima metalnih oklopa može se zaključiti da su keramički oklopi tvrdi od svih metalnih oklopa i da imaju manju gustinu od čelika. Međutim, nedovoljna jačina keramičkih materijala na istezanje znači da ne mogu da izdrže veliko naprezanje na savijanje, pa im se mora dodati čvrsta podloga, kao u slučaju primene na oklopnim pločama borbenih vozila.

Keramički materijali velike tvrdoće posebno su pogodni za zaštitu od pušćane municije i drugih projektila malog do srednjeg kalibra koji dejstvuju kinetičkom energijom, a brzine su im 1000 do 1200 m/s. Oni predstavljaju i najveću opasnost za laka oklopljena vozila.

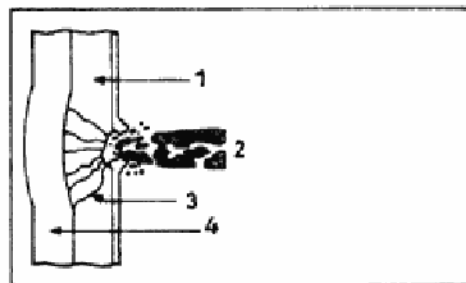
Keramički oklop naipre je bio razvijen za zaštitu američkih helikoptera posle gubitaka u Vijetnamu 1962. godine. Ova upotreba zatim je proširena predlogom da se koristi i za ok-

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 9/1996.

lopnu zaštitu lakih borbenih vozila, ali to nije primenjeno sve do rata u Zalivu 1990—1991. godine kada je dodatni oklop LAST (Light Appliqué System Technique) bio ugrađen na vozila mornaričke pešadije LAV. Od tada se keramički oklop sve više koristi za laka borbeno vozila, posebno ona koja su se koristila na prostorima prethodne Jugoslavije.

Vozila kao što su oklopni transporter na gusenicama, kanadski M113 i švedski Pbv 302, a nedavno i nemački TPz FUCHS opremljeni su dodatnim oklopom MEXAS koji je razvijen u Nemačkoj, a viđen je i na oklopnom transporteru sa 8 točkova PI-RANHA III. Keramički oklop dodavan je za poboljšanje zaštite vozila na gusenicama M113 u Singapuru.

Dodavanje keramičkog oklopa poboljšava nivo balističke zaštite lakih borbenih vozila od municije 7,62 mm ili pancirne municije, do municije kalibra 14,5 mm (pancirne), pa čak i municije 30 mm sa odbacujućim nosačem potkalibarskog jezgra (APDS) uz cenu neznatnog povećanja mase vozila.



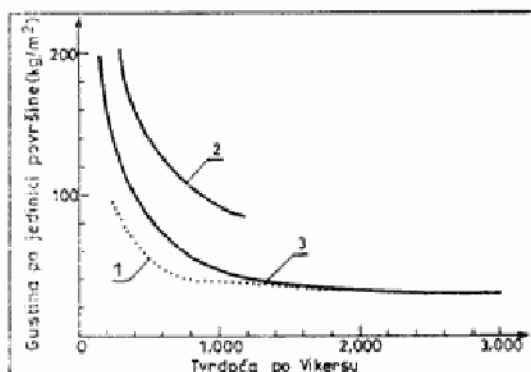
Sl. 1 — Način na koji keramički oklop razbija pancirno zrno. Konus rastura preostalu energiju zrna na širu površinu oklopnice ploče:

1 — keramički oklop, 2 — razbijeno zrno, 3 — konus rasprsnuća keramičkog oklopa, 4 — podloga keramičkog oklopa

Keramički oklop je u stanju da razbije ili bar dovede do rasprskavanja tvrdog, ali relativno krtoeg pancirnog zrna. Time se snižava probojna moć zrna i apsorbira njegova kinetička ener-

gija u konusu rasprsnutog oklopa od keramike. Konus takođe rastura preostalu energiju zrna preko veće površine materijala koji služi kao podloga oklopu od keramike, kako je to prikazano na slici 1.

Da bi došlo do razbijanja pancirnog zrna potrebno je da keramički materijal bude tvrđi od zrna. Što se tiče standardne pancirne municije to znači da mora da nadmaši njeno čelično jezgro koje ima čvrstoću po Vickersu (Hv) 800. Kako se vidi iz njihovih svojstava, to može da se postigne sa aluminom, dok se sa ostalim vrstama mnogo tvrđe keramike može malo šta dobiti (grafikon na slici 2).



Sl. 2 — Dijagram gustine po jedinici površine u odnosu na tvrdoću po Vickersu za čelični i keramički oklop koji su potrebni protiv običnog zrna 7,62 mm sa mekim jezgrom, pancirnog zrna sa čvrstim jezgrom i zrna sa jezgrom od karbida volframa pri neposrednom gađanju pod pravim uglom: 1 — obično zrno, 2 — zrno sa jezgrom od karbida volframa, 3 — pancirno zrno

Da bi izdržao udare municije visokih performansi sa probojnim jezgrom koje ima Hv oko 1200, kao što je BS 41 kalibra 14,5 mm ili novo švedsko pancirno zrno 7,62 mm, keramički oklop alumina mora da bude tvrđi od konvencionalne alumine. Tu spadaju titanijum diborid (koji je upotrebljen za oklop eksperimentalnog borbenog vozila pešadije M2 BRADLEY sa telom vozila od kompozitnog materijala), kao i silicijum karbid, koji je uklopljen u oklop samohodnog

američkog topa XM8 (čiji je program razvoja napušten). Međutim, ni tita-nijum-diborid ni silicijum-karbid ni-su upotrebljeni za novo američko bor-beno vozilo sa kompozitnim oklopom CAV (Compisite Armored Vehicle), ko-je je najnovije američko vozilo sa ke-ramičkim oklopom, već će se koristi-ti alumina, uprkos činjenici da ona i u najčistijem obliku nije tvrđa od po-menuta dva keramička oklopa.

Što se tiče malokalibarske muni-cije sa mekim jezgrom, keramički ok-lop ima malo preimućstvo u odnosu na nešto tvrđi čelični oklop, koji, ta-kođe, razbija zrna. Staviše, površinska gustina (po jedinici površine) kerami-čkog oklopa, koja je potrebna da raz-bije malokalibarsku municiju sa obi-čnim zrnom nije mnogo manja od one koja je potrebna protiv probojnih (pancirnih) zrna, što se može videti na grafikonu na slici 2. Iako je kera-mički oklop efikasan protiv pancirne municije, on je osetljiv na neintenzi-vnije oblike napada. U stvari, kerami-čke ploče treba da budu opremljene jednim spoljašnjim slojem plastičnog materijala ojačanog staklenim vlakni-ma ili gumenom oblogom kako bi se sprečilo da kamenje ili neka druga par-čad, koja imaju malu energiju, razbi-ju oklop.

Spoljašnji zaštitni sloj, takođe, može da doprinese poboljšanju izdr-žljivosti keramičkog oklopa na više-struko pogađanje. Ta sposobnost je mala, ali se može znatno povećati u-nošenjem ojačavajućih parčića u ke-ramički materijal. Primer za to su plo-čice LANXIDE ranije pomenutog ok-lopa LAST koji se sastoji od parčića silicijum-karbida u matrici alumina.

Važno je pitanje koliko su kerami-čki oklopi superiorniji od drugih vr-sta oklopa. Svojstva keramičkih ok-lopa obično se mere prema njihovoj efektivnosti po masi (Em) koja pred-stavlja odnos površinske gustine (gu-stina po jedinici površine) konvencio-nalnog čeličnog oklopa, koja je potre-bna za razbijanje drugog projektila,

prema gustini po jedinici površine ke-ramičkog oklopa. Što se tiče najčeš-ćih opasnosti po oklopna vozila, a to je pancirna municija 7,62 i 12,7 mm, Em monolitnog keramičkog oklopa va-rira između 2,5 za običnu aluminu do preko 3,5 za najtvrdje keramičke ok-lope.

Keramički oklop se ne može ko-ristiti sam već se postavlja na tela borbenih vozila od aluminijuma ili če-lika kao i na kupole, koji mu služe kao potrebna podloga. Efektivnost ove kombinacije je neizbežno manja nego kada bi se keramički materijal kori-stio sam, zbog manje efektivnosti me-talnog oklopa koji služi kao podloga. U svakom slučaju, Em kompozitnog oklopa može se povećati kada se ke-ramički materijal kombinuje sa alu-minijumskim, a ne čeličnim oklopom. To znači da korišćenje keramičkih ma-terijala lakim borbenim vozilima obe-zbeđuje dvostruko bolju zaštitu od balističke municije nego homogeni če-lični oklop bez povećanja mase vozila.

Pre nego što su keramički mate-rijali razmatrani za poboljšanje zaš-tite lakih oklopnih vozila od pancirne municije, oni su bili ponuđeni kao sredstvo za poboljšanje zaštite tenko-va od kumulativne municije. Pedese-tih godina u SAD su ispitivani isto-pljeni silicijum-dioksid i staklo, a ko-mpleti ovog dodatnog oklopa sa oba materijala bili su namenjeni za oklo-pnu zaštitu tenkova M48. Međutim, ovaj pravac razvoja u SAD je napu-šten 1958. godine, ali je nastavljen šez-desetih godina u SSSR, gde je kera-mički oklop ugrađen u prednji deo ku-pole tenkova T-64.

Posle toga su livene kupole sa ke-ramičkim materijalima bile masovno korišćene za tenkove T-72 i kasnije za T-80, ali još nije objavljen pravi sa-stav tog oklopa. Postoji mišljenje da su keramički materijali u tenkovskim kupolama u obliku kuglica ili granu-la, a ne da su to blokovi ili ploče.

Pored keramičkih materijala u oklopu tenkovskih kupola, Rusi su ko-

ristili i staklena vlakna za poboljšanje zaštite prednjeg dela tela tenka, ali ne u obliku ploča sa čeličnom oblogom, kao kod eksperimentalnih kompleta namenjenih tenkovima M48. Umesto toga, korišćeni su slojevi laminata sa staklenim vlaknom koji su bili pričvršćeni između čeličnih ploča. Ovi laminati mogli su da sadrže do 80% staklenih vlakana po masi, a reagovali su na mlaz kumulativnih projektila na sličan način kao monolitni materijali od staklenih vlakana što se pokazalo vrlo efikasnim.

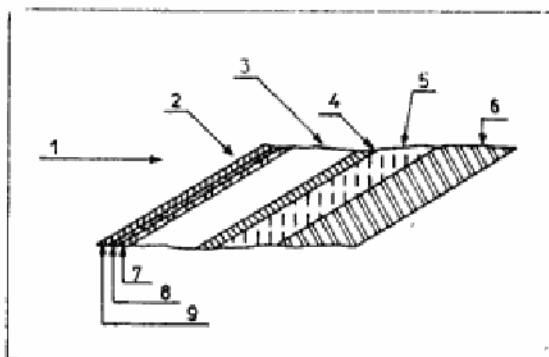
Malo zemalja koristi keramički oklop za svoje tenkove. U Južnoj Africi razvijen je keramički dodatni (add-on) oklop za tenkove T-55, a u Japanu kompozitni oklop za tenkove TYPE 90.

Keramički materijali koji služe za zaštitu od kumulativne municije, kao i oni koji se koriste protiv pancirne municije, spadaju u alumine. Međutim, zbog probojne moći, čak i relativno malih kumulativnih punjenja, keramički oklopi moraju da budu znatno deblji od onih koji se koriste za zaštitu od zrna, koji su reda 5—20 mm. Keramički oklopi štite od kumulativnih punjenja drugačije nego od pancirne municije. Kod pancirne municije ovi oklopi razbijaju malokalibarske projekte dok kod kumulativnih punjenja oni dovode kumulativni mlaz do erozije pri njegovom pokušaju proboja, formirajući duboki, ali uzani krater. Kako maksimalna brzina tipičnog kumulativnog mlaza dostiže 8000 do 9000 m/s, njegova probojnost može se opisati kao hidrodinamička struja, uprkos krtoj prirodi keramičkog materijala. Može se reći da je Em keramičkog oklopa jednaka kvadratnom korenu odnosa gustine valjanog homogenog oklopa i gustine keramičkog oklopa, odnosno od 1,3 do 1,8. Realno to je i znatno više, jer na proces probijanja kumulativnog mlaza ne utiče samo gustina materijala oklopa već i njegova jačina (u slučaju keramičkog oklopa on sužava kratere

koje stvara mlaz i time ubrzava njegovu eroziju).

Iz toga proizlazi da Em keramičkog oklopa protiv kumulativnih punjenja iznosi 2,5 do 3,5, što zavisi od kvaliteta keramičkog oklopa i kumulativnog punjenja. Kada je keramički materijal kombinovan sa metalnom podlogom, Em te kombinacije je manja nego kod samog keramičkog materijala, mada može da bude i veća od 2. Čak i jednostavni sistemi, sastavljeni od keramičkog i metalnog oklopa, mogu da budu dvostruko efektivniji od konvencionalnog čeličnog oklopa, u odnosu na njihovu masu, protiv kumulativnih punjenja.

Keramički oklopi mogu biti još efektivniji kada se ispred njih postavi kosi snop od čeličnih ploča sa elastomernim međuslojem (slika 3) i sa jednim vazдушnim (praznim) prostom



Sl. 3 — Konstrukcija oklopa sa kosim čeličnim pločama ispred keramike:

1 — pravac napada, 2 — kosi sendvič, 3 — vazdušni prostor, 4 — čelična zaštitna ploča, 5 — keramički oklop, 6 — oklopno telo vozila, 7 — čelična ploča, 8 — elastomerni međusloj

rom između njih. Suština je u tome što te ploče narušavaju kumulativni mlaz, a keramički oklop još više dovodi do njegove erozije.

Treća i najnovija opasnost kojoj keramički oklop treba efikasno da se suprotstavi su udari potkalibarnih artiljerijskih projektila koji se stabi-

lizuju na putanji pomoću krilaca, a po izlasku iz cevi odbacuju nosač potkalibarskog jezgra. Oni imaju dugo probojno jezgro. Njihov originalni naziv je APFSDS (Armour-Piercing, Fin-Stabilised, Discarding-Sabot). Probojno jezgro se, uglavnom, sastoji od legura volframa gustine 17600 kg/m^3 i Hv od 420 ili od osiromašenog urana koji ima gustinu 18600 kg/m^3 i Hv oko 400.

Da bi zaštitio od udara ovakvog projektila, keramički oklop treba da bude relativno debeo, čime ulazi u kategoriju »teških« keramičkih oklopa, zajedno sa onim oklopima koji štite od kumulativnih punjenja, i razlikuje se od »lakog« keramičkog oklopa koji se koristi za zaštitu od pancirne municije. Razmatrano je nekoliko keramičkih materijala za zaštitu od dugih probojnih jezgara ali će se, verovatno, opet koristiti, bar iz ekonomskih razloga, alumina.

Brzine udara dugog probojnog jezgra u cilj znatno su niže nego udari kumulativnog mlaza, i obično su u dijapazonu $1500\text{--}1800 \text{ m/s}$. Ipak, proboj keramičkog oklopa dugim probojnim jezgrom nalikuje na probijanje kumulativnim mlazom, pa se i oni uništavaju erozijom. Mada se proboj dugim probojnim jezgrima može smatrati kao hidrodinamička struja, na njih, kao i na kumulativna punjenja, utiče čvrstoća i gustina keramičkih materijala. Njihova efektivnost po masi (Em) veća je nego što je hidrodinamička teorija pokazala. Međutim, to se odnosi na blokove keramike koji su bočno obloženi čelikom znatne debljine pa to dovodi do mnogo manje vrednosti Em za kombinovane sisteme oklopa keramika-čelik.

Vrednosti Em za neobloženu keramiku takođe su niže i iznose 1,4 do 1,6. Kada se radi o probouju dugih probojnih jezgara sa brzinama udara u oklop od $1500 \text{ do } 1800 \text{ m/s}$, što je istog reda kao i Em titanijskog oklopa protiv dugih probojnih jezgara. Međutim, čak i niže vrednosti Em da-

ju keramičkom i kompozitnom keramičko-čeličnom oklopu znatna preimućstva nad konvencionalnim čeličnim oklopima.

P. Marjanović

MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA RUSKIH AVIONSKIH BOMBI*

Analitička istraživanja korišćenja vazduhoplova u vojnim konfliktima poslednjih godina pokazala su da su se u 80 do 90% borbenih zadataka koristile klasične (slobodno padajuće) avionske bombe. Avionske bombe prevazilaze druge vrste avionskih ubojnih sredstava, zahvaljujući jednostavnosti konstrukcije, relativno maloj ceni, praktično potpunoj nezavisnosti od uslova leta aviona, lakoći održavanja, mogućnostima serijske proizvodnje, itd. Istovremeno, avionske bombe su veoma efikasno ubojno sredstvo koje može da se upotrebi protiv spektra ciljeva, od žive sile i oklopljenih sredstava do vojnih i industrijskih objekata. Zbog toga će ostati značajna komponenta avionskog naoružanja, a njihova uloga se neće smanjiti ni pored korišćenja vođenih ubojnih sredstava.

Radi povećanja snage i borbene gotovosti ruskog RV, razvijen je modularni sistem avionskih bombi, zasnovan na povećanju faktora razaranja korišćenjem unificirane avionske bombe od 500 kg, koja prevazilazi druga odgovarajuća ubojna sredstva.

Ovaj sistem avionskih bombi omogućava napadačkom avionu da povećava efikasnost izvršavanja borbenih zadataka u odnosu na ranije generacije ubojnih sredstava, i da se uveliko sma-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart-april 1996.

nji broj avionskih bombi. Sistem se sastoji od pet avionskih bombi sa jednom bojnomo glavom i jedne unificirane kasetne bombe (klaster), čime se stvara 7 vrsta različitih ubojnih sredstava, pošto se kasete pune rasprskavajućim, protivbetonskim, kumulativnim, samonavodećim i zapaljivim malim bombama, a i malim minama za borbu protiv vozila i žive sile.

Minimum potrebne kompozicije ubojnih sredstava i visoki stepen unifikacije sistema omogućavaju da se

radi primene i na drugim avionima. Taj problem još nije rešen zbog razlika koje postoje između ušica ruskih bombi i avionskih držača bombi drugih (neruskih) aviona kao što su:

— sistem vešanja ruskih avionskih bombi ne odgovara držačima bombi aviona,

— drugi avioni nemaju električni sistem za iniciranje upaljača, što nije slučaj kod savremenih ruskih aviona,

Tabela 1

Osnovne karakteristike ruskih avionskih bombi

Oznaka bombe	Masa (kg)	Dužina (m)	Prečnik (m)	Masa eksploziva (kg)	Vrste ciljeva	Odgovarajući tip bombe
OFAB-500U	515	2,3	0,4	155	Vojni i industrijski objekti, železničke raskrsnice, skladišta, živa sila, borbena sredstva.	SAMP-100 (Francuska)
ODAB-500PM	520	2,28	0,5	193	Živa sila na otvorenom i u zaklonima, borbena sredstva, razminiranje.	BLU-96 (SAD)
BETAB-500U	510	2,5	0,45	260 (bojna glava)	Podzemna skladišta, ojačana betonska utvrđenja, komandna mesta.	BRFA-33 (Španija)
OFZAB-500	500	2,5	0,45	250	Petrohemijski kompleksi, skladišta goriva, živa sila, neoklopljena sredstva.	n e m a
ZB-500RT	460	2,5	0,5	300	Živa sila, motorna vozila, lake građevine.	BLU-27/B (SAD)

znatno pojednostavi borbena obuka jedinica i njihovo snabdevanje municijom.

Na poslednjim međunarodnim vazduhoplovnim izložbama pokazano je povećano interesovanje za nabavku ruskih ubojnih sredstava zbog njihovih očiglednih preimucstava. Međutim, neophodna je mogućnost adaptiranja savremenih ruskih avionskih bombi

— postoji razlika između sistema za prinudno odbacivanje bombi.

Pored toga, integracija ruskih avionskih bombi i držača na avionima NATO zahteva dalja ispitivanja konstruktivne, dinamičke i elektromagnetske kompatibilnosti i podudarnost balističkih karakteristika bombi sa ulaznim parametrima nišanskih sistema aviona.

Osnovne karakteristike ruskih unificiranih kasernih bombi

Oznaka bombe	Masa (kg)	Dužina (m)	Prečnik (m)	Broj malih bombi	Vrste ciljeva	Odgovarajući tip bombe
RBK-500U OAB-2,5RT	500	2,5	0,435	126	Neoklopljena sredstva (avioni, projektili na bacačima, raketni sistemi zemlja—vazduh, živa sila, radari).	BIG-66 (Francuska)
RBK-500U PTAB	520	2,5	0,45	352	Tenkovi, oklopni transporter, borbena vozila pešadije, oklopna izviđačka vozila, samohodna oruđa.	CBU-873B (SAD)
RBK-500U BETAB-M	525	2,5	0,45	10	Poletno-sletne staze, ojačana betonska postrojenja, saobraćajnice, skladišta.	DAACM (SAD)
RBK-5U OFAB-50Ud	525	2,5	0,45	10	Lako oklopljena i neoklopljena sredstva, vojna i industrijska postrojenja, železničke raskrsnice.	n e m a
RBK-500U ZAB	525	2,5	0,45	168	Skladišta goriva, kompozicije, neoklopljena sredstva, lake građevine.	M36E2 (SAD)
RBK-500U PPM	500	2,5	0,45	48	Daljinsko miniranje aerodroma i prelaza preko reka.	JP233 (V. Britanija)
RBK-500 SPBE-D	500	2,5	0,45	15	Tenkovi, samohodna oruđa, borbena vozila pešadije, oklopni transporter.	CBU-87/B (SAD)

U jednom broju slučajeva ovi problemi su uspešno rešeni kod onih tipova avionskih bombi koje imaju mehaničke upaljače. To je postignuto odgovarajućim sistemom vešanja koji se

postavlja na bombe, zavisno od tipa aviona, ili opremanjem aviona specijalnim držačem bombi, kao što je francuski AIKAN Type 176.

P. Marjanović

LOVAČKI AVION Su-30 K*

Lovački avion Su-30K namenjen je za uništavanje aviona — nosača krstarećih raketa do linije njihovog lansiranja, kao i drugih ciljeva u vazdušnom prostoru, za raketno-bombarderske napade po ciljevima na zemlji u svim meteorološkim uslovima, danju i noću, i u uslovima jakog elektronskog ometanja. Ovaj avion može se koristiti i kao školsko-trenažna varijanta.

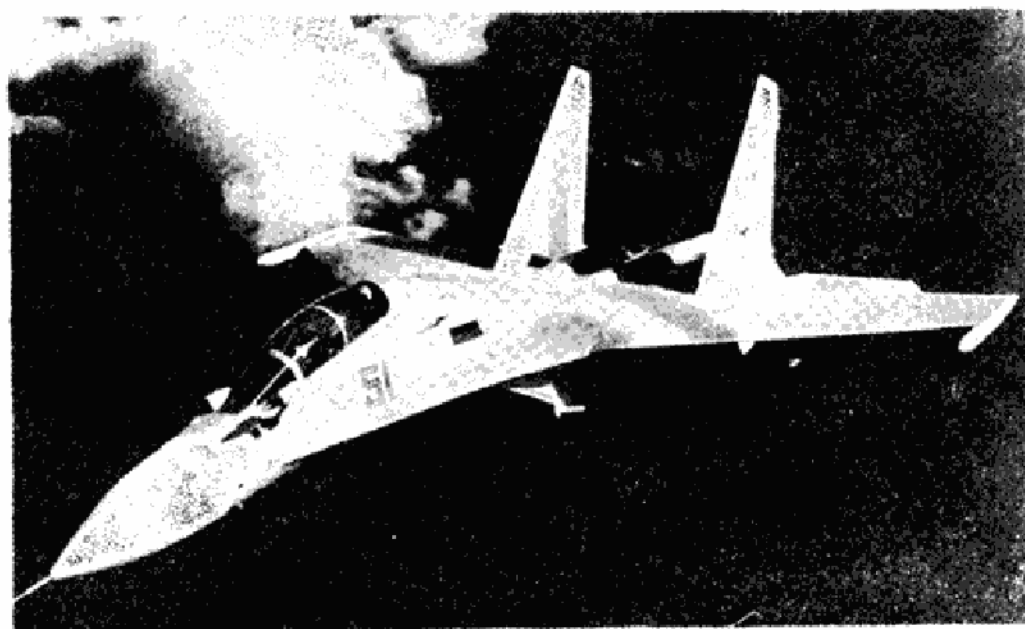
Zahvaljujući integralnoj aerodinamičkoj šemi, snažnim motorima i odgovarajućoj konstrukciji, avion Su-30K ima velike manevarske mogućnosti, mali poluprečnik zaokreta i veliki dijapazon brzina.

pilotiranja, osmatranja situacije, rešavanja zadataka vazdušnog boja na malim i velikim rastojanjima i upravljanja grupnim dejstvima.

Ovaj avion ima ugrađenu opremu:

— radarski osmatračko-nišanski sistem i optronički nišanski sistem, koji su objedinjeni u sistem upravljanja naoružanjem, a pomoću njega je olakšano otkrivanje ciljeva i navođenje vođenih projektila vazduh-vazduh. Sistem može da prati jednovremeno do 10 ciljeva u vazdušnom prostoru, na daljinama do 100 km sa odabiranjem dva cilja za uništenje na daljini do 65 km,

— sistem za pilotiranje i navigaciju koji rešava zadatke upravljanja



Lovački avion Su-30 K

Avion se može dopunjavati gorivom u vazdušnom prostoru. Između članova posade podeljene su funkcije

avionom u svim etapama leta i složenim meteorološkim uslovima, u svako doba godine i dana, iznad kopna i vode i na svim geografskim visinama,

— sredstva za protivelektronska dejstva u sastavu sistema za upozo-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar—oktobar 1996.

ravanje da je avion »osvetljen« kao i sredstva za izbacivanje pasivnih ometača,

— sistem za objektivnu kontrolu sa registrovanjem radnih parametara i spoljašnje taktičke situacije.

Avion Su-30K ima 10 tačaka za ovešenje tereta, a može da ponese sledeća ubojna sredstva:

— avionske bombe od 50 do 500 kg,

— vođene rakete vazduh-vazduh R-27R1, R-27T1, R-73E.

Avion je, takođe, naoružan brzo-metnim topom GŠ-301, kalibra 30 mm, sa 150 metaka.

Visoke letačko-tehničke karakteristike, sposobnost da vodi boj u vazдушnom prostoru i uništava ciljeve na kopnu i moru kao i povećanje svojstava nosivosti i manevarskih sposobnosti, ugradnja nove, uključujući i inostranu opremu, određuju veliku borbenu efikasnost lovačkog aviona Su-30K.

Osnovne karakteristike aviona Su-30 K

Posada (članova)	2
Poletna masa (kg):	
— normalna	24800
— maksimalna	30450
Dolet (km):	
— sa unutrašnjom rezervom goriva	3000
— sa dopunjavanjem goriva	5200
Maksimalna visina leta (m)	17500
Maksimalna brzina (km/h):	
— na maloj visini	1300
— na velikoj visini	2450
Maksimalni faktor opterećenja (g)	9
Maksimalni ubojni teret (kg)	8000

LOVAČKI AVION Su-35*

Višenamenski lovački avion Su-35 predstavlja, u stvari, modernizovan avion Su-27 čija je borbena primena protiv ciljeva u vazдушnom prostoru, na kopnu i moru znatno efikasnija.

Velika efikasnost dejstva aviona Su-35 postignuta je zahvaljujući:

— korišćenju prednjih aerodinamičkih krilaca (canard) i povećanju krila, čime su znatno poboljšane manevarske sposobnosti aviona na velikim napadnim uglovima (manevri »kobra«, »huk« i »zvono«), kao i mogućnosti poletanja i sletanja;

— ugradnji osnosimetričnog izduvnika sa upravljivim vektorom potiska motora, čime je postignuta velika mogućnost manevrisanja aviona na granično malim, praktično nultim brzinama;

— ugradnji nove radio i elektronske opreme koja u svome sastavu ima sredstva za informacije i nišanje (radarski sistem upravljanja, optičko-lokacioni uređaj, televizijsko-komandni sistem vođenja i termovizijski uređaj za otkrivanje, praćenje, telemetriju i osvetljavanje ciljeva), koja služe za uništenje ciljeva na kopnu, vodi i u vazдушnom prostoru na malim i velikim daljinama, danju i noću, u složenim meteorološkim uslovima i u uslovima elektronskog ometanja;

— naoružanju aviona raketama vazduh-vazduh koje dejstvuju u svim kursovima na srednjim daljinama (aktivno, poluaktivno radarsko i IC vođenje), i veoma preciznim raketama vazduh-zemlja (sa aktivnim i pasivnim radarskim, televizijskim i laserskim vođenjem);

— mogućnosti automatskog vođenja grupnih borbenih dejstava aviona;

— ugradnji sistema za protivelektronska dejstva;

P. Marjanović

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar-oktobar 1996.

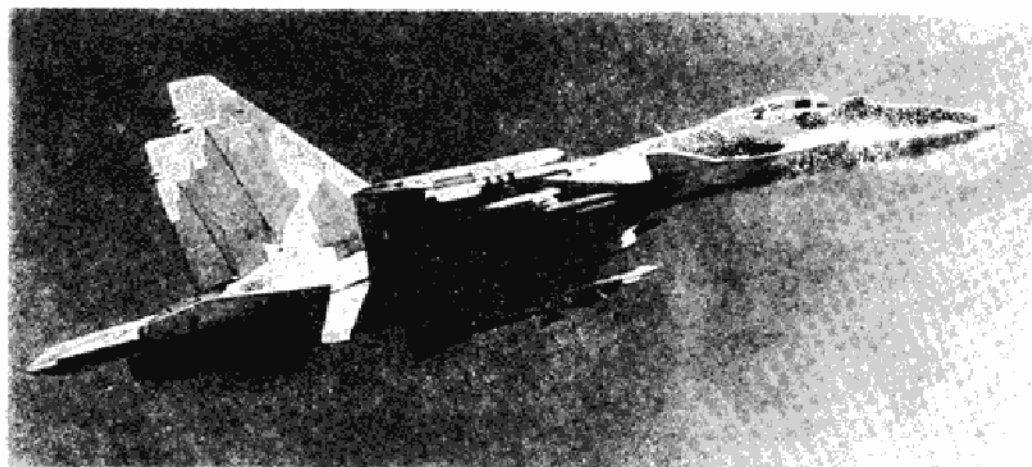
— ugradnji sistema za dopunjavanje gorivom u vazдушnom prostoru, čime se znatno povećava radijus borbenih dejstava.

Višefunkcionalni višerežimski radar u režimu rada vazduh-vazduh pronalazi i prati do 15 ciljeva u vazдушnom prostoru, i jednovremeno napada do 4 cilja koji imaju efektivnu refleksnu površinu od 2 m² u prednjoj i zadnjoj polusferi na daljinama 80 do 100 km, odnosno 30 do 40 km.

— avionske bombe AB-100 do 500, uključujući i korektorne KAB-50KR i KAB-1500KR,

— vođene rakete vazduh-vazduh R-27R1, R-27T1, R-73 i vazduh-zemlja X-31A, X-31P, X-29L, X-29T, X-59M.

U avion je ugrađen automatski top GŠ-301, kalibra 30 mm, sa 150 metaka. Avion Su-35 je fleksibilan i snažan sistem, nastao kombinovanjem izvanrednih letaćkih karakteristika i odgovarajućeg naoružanja.



Lovački avion Su-35

Optički lokator omogućuje otkrivanje ciljeva u vazдушnom prostoru na termalnom kanalu u prednjoj polusferi na daljini do 10 km, a u zadnjoj polusferi na laserskom kanalu do 3 km.

Oprema za elektronska protivdejstva upozorava pilota da je avion ozračen, a ta se informacija prikazuje na pokazivaču (displeju), određuje koordinate izvora ozračenja, identifikuje ga po katalogu baze podataka i odabira način zaštite.

Ubojna sredstva koja ovaj avion može da nosi na 12 držača su:

Osnovne karakteristike aviona Su-35

Dolet (km)	3300
Dolet sa jednim dopunjavanjem (km)	6500
Maksimalna brzina (km/h):	
— na maloj visini	1400
— na velikoj visini	2400
Maksimalna visina leta (m)	17800
Maksimalna poletna masa (kg)	34000
Maksimalni faktor opterećenja (g)	9
Maksimalni ubojni teret (kg)	8000

P. Marjanović

AVION JaK-130 — NOVI PRILAZ RAZVOJU ŠKOLSKO- -TRENAŽNOG AVIONA*

Na osnovu rezultata konkursa (1992—1994) odabran je predlog jedne od četiri ruske firme za konstruisanje novog školsko-trenažnog aviona JaK-130. Naime, planirano je da se do 2000. godine zamene svi postojeći školsko-trenažni avioni L-39 zbog starosti i istrošenosti. U toku konstruisanja aviona JaK-130 traženi su novi putevi za rešavanje konceptijskih, tehničkih i organizaciono-finansijskih projektnih zadataka.

Počevši od ranih faza projektovanja, uz saglasnost ruskog RV, bila je utvrđena i razrađena koncepcija obuke pilota, od čega je zavisio i oblik sistema za obuku. Prema navedenoj koncepciji, obuka obuhvata sve etape — od stupanja u letačku školu do specijalne obuke, koja bi omogućila minimalno vreme za adaptaciju na druge avione, na primer, Su-27 ili MiG-29.

Rešavanje organizaciono-finansijskih pitanja bilo je uslovljeno činjenicom da je budžet u deficitu pa je realizacija programa samo iz budžetskih sredstava nemoguća, što zahteva privlačenje ozbiljnog stranog partnera sa investicionim mogućnostima i iskustvom u radu na međunarodnom tržištu u toj oblasti.

Realizaciji ovog zadatka doprineo je novi tehnički prilaz da se tržištu ponudi ne samo prodaja pojedinih, ma koliko važnih, komponenata (avion), već školsko-trenažnih sistema sa mogućnošću adaptacije potrebama. Kao rezultat traganja za rešenjem ovog problema zaključen je dogovor o dugoročnoj saradnji sa italijanskom firmom AEROMACCHI, tako što ona učestvuje u tehničkom praćenju i investiranju u projekat razvoja školsko-trenažnog aviona JaK-130.

Najvažniji rezultat ove saradnje jeste približavanje zahteva ruskog RV i međunarodnog tržišta, čime se omogućuje razvoj školsko-trenažnog sistema koji će biti konkurentan na svetskom tržištu čije su potencijalne potrebe oko 1200 aviona.

Osnovni školsko-trenažni sistem sačinjavaju sledeća nastavna sredstva:

- učionice opšte namene i borbene primene sa displejima,

- proceduralni i specijalizovani trenažeri za sticanje, utvrđivanje i uvežbavanje početnih i osnovnih navika dejstvovanja u određenim letačkim situacijama,

- školsko-trenažni avion JaK-130.

Principijelna osobenost sistema je jedinstveni metodološki, informacioni i matematički softver i informacioni centar upravljanja nastavnim procesom i objektivnom kontrolom. To doprinosi ne samo bržem osvajanju aviona već i oformljavanju profesionalnog stvaralačkog nestandardnog mišljenja učenika, sposobnosti bespogrešnog orijentisanja u dinamičnom vazдушnom boju i složenoj navigacijskoj, meteorološkoj i ometajućoj situaciji.

Bez svake sumnje, najvažnije komponente sistema su avioni JaK-56 i JaK-130. Dok je avion JaK-56 modifikacija serijskog aviona JaK-54 sa tri cikl stajnim trapom i prednjim točkom, novim sedištimama za izbacivanje i savremenijom opremom, avion JaK-130 je sasvim nove konstrukcije.

Ruski stručnjaci smatraju da je glavni konkurent avionu JaK-130, na međunarodnom tržištu, britanski avion HAWK, dok italijanski stručnjaci smatraju da je opšti upotrebnii kvalitet (uslovni kriterijum) aviona JaK-130 dvostruko veći nego aviona HAWK, što može da bude i pokazatelj konkurentnosti. Ova konkurentnost je uslovljena:

- jedinstvenim karakteristikama za školsko-trenažni avion u pogledu manevarskih osobina sa očuvanjem

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar—oktobar 1996.

stabilnosti i upravljivosti pri napadnim uglovima do 35° , što omogućuje obučavanje učenika nestandardnim manevrima, uz korišćenje velikih napadnih uglova, karakterističnih za lovcu četvrte i pete generacije,

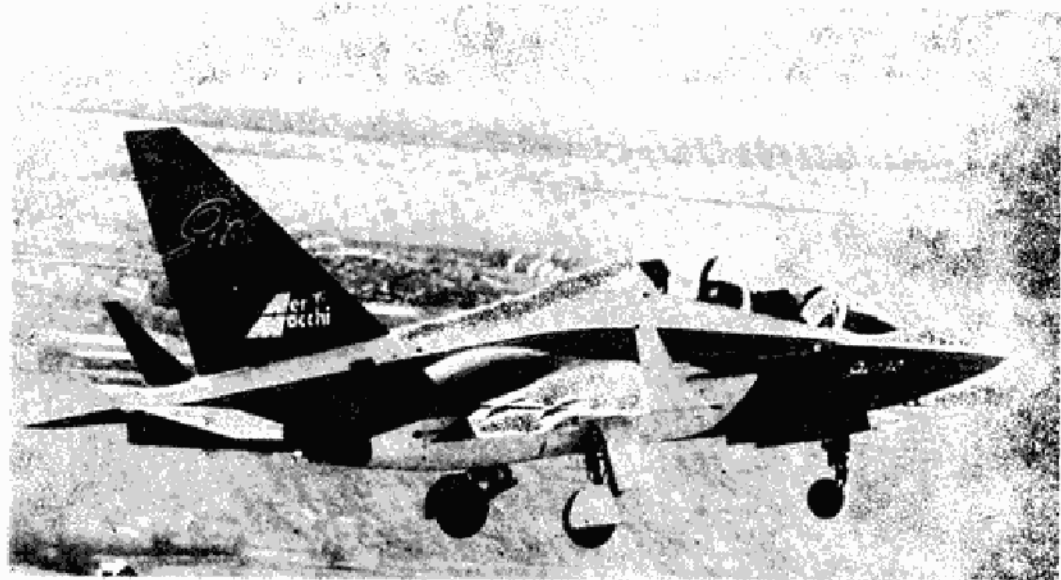
- mogućnošću imitiranja ponašanja u vazdušnom prostoru aviona sa različitim dinamičkim karakteristikama i stepenom statičke stabilnosti,

- mogućnošću imitiranja nišansko-navigacijskih sistema savremenih aviona, tako što instruktor sa svog mesta može da upravlja ponašanjem cilja i sistema upravljanja naoružanja

- visokim nivoom eksploatacione tehnološke efikasnosti.

Ovi kvaliteti školsko-trenažnog sistema uslovljeni su nizom tehničkih rešenja među kojima se ističu:

- razvoj nove aerodinamičke konstrukcije za školsko-trenažni sistem koja, zajedno sa visokim aerodinamičkim kvalitetom krila, obezbeđuje postizanje efikasnih aerodinamičkih karakteristika, koje omogućuju učeniku da ovlada punim potencijalom borbenih manevarskih mogućnosti i takvih aviona kao što je Su-35, i da se bezbedno vrati u normalni režim leta pri slu-



Školsko-trenažni avion JaK-130

njem sa imitiranjem primene naoružanja bez njegovog stvarnog korišćenja,

- aktivnim sistemom bezbednosti leta,

- mogućnošću autonomnog baziranja i letenja kako sa zemljanih, tako i sa betonskih poletno-sletnih staza dužine ne preko 1000 m,

- mogućnošću korišćenja aviona kao zemaljskog trenažera,

- sistemom višeparametarske objektivne kontrole rada učenika,

čajnom prelasku na velike napadne uglove u režimima poletanja i sletanja. Usavršena aerodinamika sjedinjena je sa primenom daljinskog sistema upravljanja preko tri kanala sa četvorostrukim dubliranjem sa ograničavanjem opasnih režima leta;

- izbor motora RD-35 za pogon, koji ima dobre dinamičke i ekonomske karakteristike. RD-35 je modifikacija motora DV-2, koji se proizvodi u Slovačkoj. Rusi su zaduženi da razviju elektronski digitalni sistem za po-

dešavanje motora i da dovedu resurs motora do 6000 časova rada;

— obezbeđenje optimalnog odnosa mase i čvrstoće konstrukcije na račun primene kompozitnih materijala, tako da je ušteda u masi zmaja aviona preko 60%. Pri tome, bezbedni resurs konstrukcije iznosi 10000 časova leta i 20000 sletanja u toku tridesetogodišnjeg veka eksploatacije, sa mogućnošću da se resurs dovede do 15000 časova, zavisno od stanja;

— ugradnja kompleksa avionske opreme koji odgovara nivou za 2000. godinu, čija je osnova automatizovani sistem upravljanja letom i školsko-borbenim dejstvima. Ovaj sistem obezbeđuje mogućnost reprogramiranja

*Letačko-tehničke karakteristike aviona
JaK-130*

Masa u poletanju (kg):	
— maksimalna	6200
— normalna	5500
Masa goriva (kg):	
— maksimalna	1750
— normalna	850
Pogonska grupa	2 x RD-35
Potisak u poletanju (kN)	2 x 21,58
Odnos potisak/masa	0,7—0,8
Brzina (km/h):	
— maksimalna	1000
— pri poletanju	200
— pri sletanju	195
Daljina prebaziranja (km)	2400
Maksimalna visina leta (km)	12,5
Napadni uglovi u poletanju (°)	do 35
Eksploataciono preopterećenje	+8/—3
Dužina poletanja — sletanja (m)	380/670
Podloga baziranja (zemlja, beton) (m)	1000
Resurs (časova letenja)	15000

stabilnosti i upravljivosti avionom. Stav ugrađene opreme i komponovanje instrumentalnih tabli odgovara lovačkim avionima četvrte i pete generacije. Osnovni akcent je dat na rešavanje trenažnih zadataka sa imitiranjem korišćenja avionskog naoružanja pri menjanju putanje cilja, uslova ometanja, itd.

Sistem za objektivnu kontrolu omogućuje analiziranje i raščlanjivanje grešaka letaća, kako u procesu letenja, tako i na zemaljskom trenažeru.

Ovaj projekat razmatra se kao bazni za razvoj niza modifikacija školskoborbenog aviona, lakog jurišnog aviona, školsko-trenažnog aviona za nosače aviona i, možda, aviona za civilne potrebe.

U toku je završna etapa prvih ispitivanja u vazдушnom prostoru sa ispitivanjima i potvrdom karakteristika stabilnosti i upravljivosti i proverom rada svih sistema. Probni letovi su potvrdili da avion ima odlične manevarske sposobnosti, dinamičnost i lakoću upravljanja, i da po tim pitanjima ne zaostaje za avionima kao što su MiG-29 i Su-27.

P. Marjanović

RUSKI BORBENI ČAMCI*

Borbeni čamci predstavljaju deo flote većine zemalja, a u nekima čine osnovnu flotu.

Ovi čamci, zbog različite namene, a zavisno od zadataka koje rešavaju, vrste naoružanja, uslova eksploatacije i prihvaćene klasifikacije dele se na znatan broj klasa, potklasa i tipova.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar—oktobar 1998.

va. U ovom članku razmatrane su dve osnovne grupe čamaca:

— raketni čije osnovno naoružanje čine protivbrodske krstareće rakete,

— patrolni, na kojima preovlađuje artiljerijsko naoružanje.

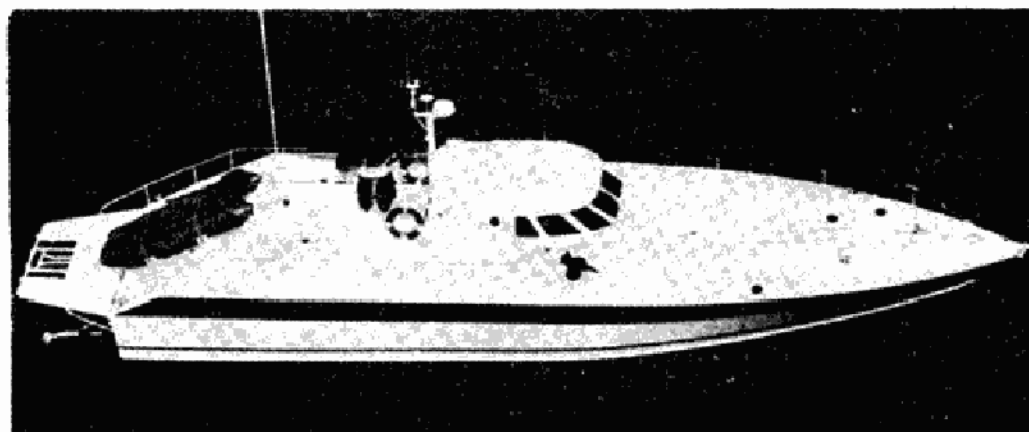
Raketni čamci ulaze u sastav ratnih mornarica preko 50 zemalja i ima ih preko 800, dok patrolne čamce po-

seduju sve primorske zemlje, a njihov broj se procenjuje na nekoliko hiljada.

Analizom je utvrđeno da raketni čamci, izrađeni u celom svetu za poslednjih 15 godina, imaju niz zajedničkih rešenja. Deplasman im je 250 do 500 t, brzina 32 do 40 čv, daljina plovidbe 1500 do 4000 milja i autonomnost plovidbe 5 do 10 dana.



Sl. 1 — Raketni čamac MOLNIJA



Sl. 2 — Patrolni čamac MANGUST

Projekat	14310 MIRA2	MV-85	SUPER DVORA Mk3	ISLA	12151 MANGUST	18620 MUSTANG 2	14083 MUSTANG 1	13987 BOEC (»borac«)
Zemlja	Rusija	Italija	Izrael	SAD	Rusija	Rusija	Rusija	Rusija
Godina izgrad- nje	1996.	1984.	1989.	1993.	1996.	—	1996.	1996.
Deplasman (t)	120	79,4	54	52	26,5	28	17 16	6,6
Maksimalna dužina (m)	34	24,6	21,6	25	19,4	19,6	15	10,2
Maksimalna širina (m)	6,6	6,95	5,5	5,5	4,4	4,5	3,7	3,1
Gaz (m)	2,7	1,02	1,8	1,2	1,2	1,0	0,7	0,5
Broj motora x snaga (kW)	2 x 3,974	2 x 2826	3 x 5078	3 x 3974	2 x 1104	2 x 1104	1 x 1104 dizel M470	2 x 228
Tip pogonske grupe	dizel M520	dizel 16V396	dizel 16V92	dizel	dizel M470		2 x 500 TAMD 163LD	dizel TAMD 63L
Brzina plovidbe (čv)	50	45	50	50	52	50	40 45	40
Daljina plovid- be (milja)	1500	850	1200	1200	350	370	270 300	250
Posada (članova)	12	13	9	9	6	3+10 putnika	1—3 + 6 putnika	2 + 8 putnika
Naoružanje	šestocetni a- utomatski top 30 mm; 2 mitraljeza 14,5 mm; PVO raketni sistem IGLA; 6 x 1 STURM	automatski top 30 mm; 2 mitraljeza 7,62 mm	automatski top 20 mm	2 lansera kr- starećih ra- keta MM-15; mitraljez 12,7; mitraljez 7,62	mitraljez 14,5 mm; bacač bombi 30 mm	laci automatski top ili mitraljez 14,5 ili 12,7 mm ili bacač bombi 30 mm, ručni PVO bacač IGLA		mitraljez 12,7 mm

Naoružanje ovih čamaca uglavnom sačinjavaju: 4 do 8 bacača krstarećih raketnih projektila, brodski top 1×76 mm (ređe 57 mm) i 1 do 2 brodska topa 20 do 30 mm. Savremenu tendenciju u naoružavanju raketnih čamaca predstavlja ugradnja protivvazdušnih i protivraketnih sistema za samoodbranu raketnim, raketno-artiljerijskim ili brzometnim artiljerijskim oruđima, a značajno mesto dobio je razvoj elektronskog oružja. Sva ova sredstva stalno se usavršavaju, poboljšavaju im se performanse i zaštita od ometanja, pojednostavljuje eksploatacija, opsluživanje i opravke. I dalje se radi na modernizaciji krstarećih protivbrodskih raketnih projektila, tako da je nekima znatno poboljšan domet, otpornost na ometanje i mogućnost odabiranja cilja. Takođe, radi se na razvoju nadzvučnih krstarećih projektila kakvim su opremljeni raketni čamci MOLNIJA (po klasifikaciji NATO — TARANTUL III), projekat 12421. Radarski sistem prikazuje krstarećim raketama ciljeve, a može da prati do 15 ciljeva i da ukaže na 6. Takođe, može da ukazuje na ciljeve preko horizonta u pasivnom režimu, a u nekim uslovima i u aktivnom. MOLNIJA ima vrlo dobre plovne karakteristike i pruža udobnost članovima posade.

Razvoj sistema broskog naoružanja raketnih čamaca kao i povećanje tradicionalnih zahteva za dobru plovnost, autonomnost, uslove rada, protivpožarnu i ekološku zaštitu uslovljava povećanje deplasmana čamca.

Patrolni čamci klasifikuju se prema zadacima koje rešavaju i ekonomskim mogućnostima naručilaca. U većini slučajeva grade se prema specijalno razrađenim projektima.

Naiveći patrolni čamci naoružani su artiljerijskim oruđima kalibra 57 do 76 mm i građeni prema projektima koji su unificirani sa raketnim čamcima.

Patrolni čamci mogu se koristiti za rešavanje sledećih zadataka:

— zaštitu akvatorije i priobalja u rejonima pomorskih baza i drugih mornaričkih objekata, uključujući i zaštitu od diverzanata;

— zaštitu državne granice, teritorijalnih voda i ekonomskih zona;

— zaštitu pomorskih i obalskih objekata, uključujući i zaštitu luka;

— patroliranje pomorskim zonama koje predstavljaju poseban ekonomski interes, uključujući i zone ribolova.

Patrolni čamci mogu da obavljaju i druge zadatke, kao što su: operacije traganja i spasavanja, održavanje sredstava za navigaciju, ekološka kontrola, pilotska služba i dr.

Deplasman čamaca uveliko varira, zavisno od rejona korišćenja, daljine plovidbe, autonomnosti, itd. Većina čamaca ima brzinu 20 do 25 čv, a vrlo retko 50 čvorova.

Patrolni čamci obično su naoružani sa 1 do 2 automatska topa kalibra 20 do 40 mm i mitraljezima, a mogu se opremiti i prenosnim protivavionskim raketnim bacačima, sredstvima za elektronsko ometanje, radarom za utvrđivanje situacije, sredstvima za upravljanje gađanjem i dopunskim naoružanjem.

Pri projektovanju čamca MUSTANG 1, i MUSTANG 2 primenjen je princip gasne kaverne koja se stvara ispod specijalno profilisanog dna pomoću izduvnih gasova motora. Korišćenje ovog tehničkog rešenja smanjuje otpor kretanju, čime se povećava brzina plovidbe, bez gubitka brzine povećava se korisno opterećenje ili se štedi gorivo.

P. Marjanović

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, proizvodnju, upotrebu, tehnologiju, metodologiju, organizaciju i stručna, naučna, teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, članak, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći da li se radi o originalnom, naučnom, stručnom radu ili kompilaciji, koji su grafički prilozi originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), i ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski do-teran, sistematizovan, sa jasnim mislima, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u zakonski dozvoljenim mernim jedinicama. Matematičke izraze, koji se ne mogu pisati mašinom, ispisati rukom, pri čemu voditi računa o tačnom pisanju slova grčke azbuke, o velikim i malim slovima, o indeksima i eksponentima. Redosled obra-za (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Ne treba ih lepiti, već samo naznačiti njihovo mesto u tekstu. Crteže treba raditi tušem na paus-papiru. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike — crteža i nazive pozicija na njima.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima VJ.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, titulu, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopis slati na adresu: Redakcija »Vojnotehničkog glasnika«, 11002 Beograd, Birčaninova 5, VE-1.

REDAKCIJA

LEKTOR

Dobrila Miletić, prof

KORICE

Milijko Milinković

KOREKTOR

Bojana Uzelac

Cena: 15,00 dinara

Tiraž: 1400 primeraka

Rešenjem Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, broj 413-00-222/95-0101 od 19. 06. 1995. godine časopis »Vojnotehnički glasnik« je oslobođen plaćanja opšteg poreza na promet proizvoda.
