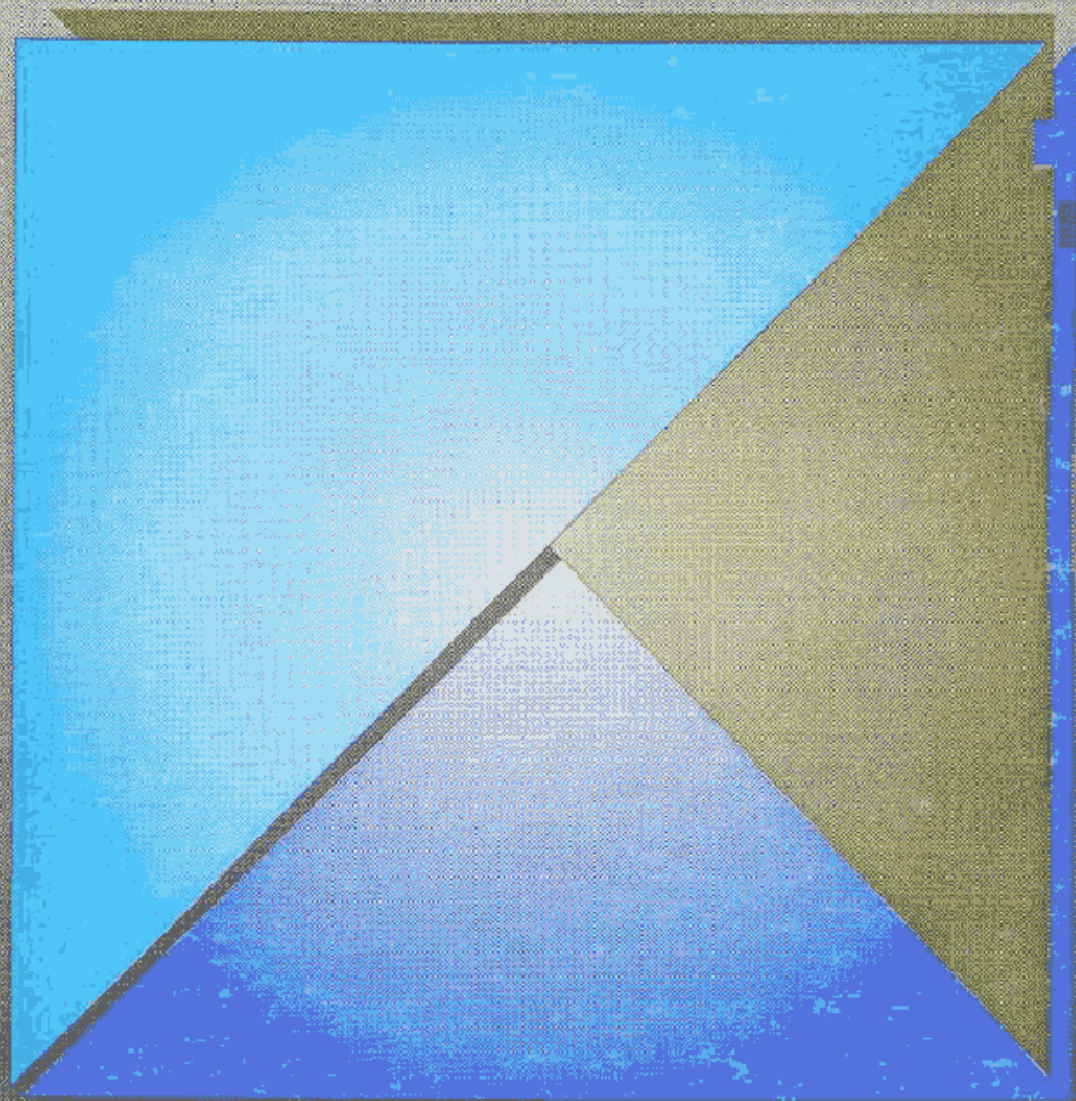


VOJNOTEHNIČKI *glasnik*

YU ISSN 0042-8469



2/1993

General-major
RATOMIR MILOVANOVIĆ, dipl. inž.
(predsednik Saveta)

General-major
mr SAVA PUSTINJA, dipl. inž.

General-major
RADOJICA KADIJEVIĆ, dipl. inž.

General-major
mr MILAN ZAKLAN, dipl. inž.

Pukovnik
dr JUGOSLAV KADZOPELIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika)

Profesor
dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr ZORAN STOJILJKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr NIKOLA VUJANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr VOJISLAV ŠORONDA, dipl. inž.

Pukovnik
mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILOŠ ČOLAKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr ŽIVOJIN GRUJIĆ, dipl. inž.
(sekretar Saveta)

Pukovnik
MILISAV BRKIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.

Potpukovnik
mr SAŠA MILUTINOVIĆ, dipl. inž.

Potpukovnik
mr DRAGOMIR MRDAK, dipl. inž.

Major
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

Major
RADOSLAV BABIĆ, dipl. inž.

●
**GLAVNI I ODGOVORNI
UREDNIK**

Pukovnik
mr ŽIVOJIN GRUJIĆ, dipl. inž.

LIKOVNO-TEHNIČKI UREDNIK
SLOBODAN MIHAILOVIĆ

LEKTOR
DOBRILA MILETIĆ, prof.

KORICE
MIHAJLO STANKIĆ, dipl. inž.

KOREKTOR
JOVANI ĐOKIĆ, dipl. inž.

SEKRETAŠ REDAKCIJE
BRANKA STOJAKOV

ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK — BEOGRAD, Birčaninova 5,
VE-1. Telefoni: centrala 656-122, lokalni:
odgovorni urednik 22-976, sekretar 23-158,
pretplata 32-837, žiro račun: Vojnotehnički
glasnik i novinski centar (za Vojnotehnički
glasnik) 60823-849-2393 Beograd. Godišnja
pretplata: za pojedince — 180.000 dinara,
a za ustanove, preduzeća i druge organi-
zacije — 540.000 dinara. Rukopisi se ne
vraćaju. Štampa: Vojna štamparija — Be-
ograd, Generala Ždanova 40 b.

IZDAJE

TEHNIČKA UPRAVA GENERALŠTABA
VOJSKE JUGOSLAVIJE

**STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJE**

**VOJNOTEHNIČKI
glasnik**



2

SADRŽAJ

Mr Ljubiša Tančić, major, dipl. inž.	137	Unutrašnja balistika mogućih tipova progresivnog baruta
Mr Mato Siladić, major, dipl. inž.	145	Primena parcijalnih diferencijalnih jednačina za generiranje proračunskih mreža u aerotehnici
Mr Dragan Simić, potpukovnik, dipl. inž.	158	Vazduhoplovni računari
Milorad Bogdanović, potpukovnik, dipl. inž.	169	Radarski koordinator protivradarskih raketa
Dr Stefan Janković, dipl. inž. Mirosljub Jovanović, dipl. inž.	181	Metodologija dijagnostike nedozvoljenih vibracija na primeru jednog tipa helikopterske gasne turbine
Dr Radovan Maksić, pukovnik, dipl. inž.	194	Pristup određivanju resursa za snabdevanje TMS u borbi

VOJNO ŠKOLSTVO

Mr Zvonko Maričić, potpukovnik, dipl. inž.	205	»Tehnologija održavanja naoružanja« u sklopu reforme vojnog školstva
--	-----	--

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

P. Marjanović	210	Evropski program razvoja vojnih tehnologija »EUCLID«
M. Milašinović	214	Optički kablovi
V. Milatović	220	Brzina plovidbe površinskih brodova

TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

227	Izraelska samohodna haubica 155 mm SLAMMER
227	Sovjetski višecevni raketni bacač SMERCH
228	Bacač granata GL 40/90-P italijanske firme LUIGI FRANCHI
229	Refleksni kolimatorski nišan RV 20 nemačke firme KERN
229	Razvoj dopunskog noćnog IC nišana za švedski PVO raketni sistem RBS-70
230	Razvoj nemačkog višenamenskog sistema IBAS za centralizovanje upravljanja vatrom
231	Francuski sistem za upozorenje i upravljanje vatrom SAMANTHA
231	Švedski protivoklopni raketni projektil HEAT za bačace 84 mm serije CARL GUSTAV

- 231 Italijanski artiljerijski projektil 76 mm sa korekcijom putanje leta
- 232 Britanski sistem za brzo pravljenje prolaza kroz protiv-pešadijsko minsko polje RAMBS firme PAINS-WESSEX
- 233 Pešadijski most COMMANDO za savladavanje prepreka na bojištu britanske firme PML
- 233 Minopolagač za austrijsku PT minu 88
- 233 Američki dodaci MCAP za raščišćavanje mina traktorom
- 234 Minobacač kalibra 120 mm nemačke firme RHEINMETALL ugrađen na oklopni transporter M113
- 235 Češkoslovački protivpožarni tenk SPOT 55
- 236 VHF/UHF izviđački/DF sistem WJ8986 američke firme WATKINS-JOHNSON
- 236 Selektivni ometač ROMST jugoslovenske firme IMTEL
- 237 Češkoslovački trodimenzionalni radar za iznalaženje cilja ST-68
- 237 Britanski prenosni artiljerijski radar MSTAR za izviđanje i akviziciju ciljeva
- 238 Francuski terenski radar RASIT za pokretne ciljeve
- 239 Kodeks informatičara

Unutrašnja balistika mogućih tipova progresivnog baruta

Prezentira se mogućnost povećanja početne brzine projektila primenom višekanalnog barutnog zrna u oruđu »N«. Ilustruju se mogući oblici, tj. tipovi višekanalnog barutnog zrna. Na osnovu kriterijuma o progresivnom sagorevanju baruta određuju se optimalne dimenzije svakog oblika. Barutna zrna optimalnih dimenzija stavljaju se u barutnu komoru konkretnog oruđa »N«. Optimalni model baruta bira se na osnovu kriterijuma da bude $p_m \leq 320$ MPa, a $V_0 > 820$ m/s.

Simulacijom procesa opaljenja na računaru sa optimalnim tipom i modelom baruta dolazi se do rezultata unutrašnjobalističkog proračuna. Rezultati proračuna se analiziraju i izvođe se određeni zaključci.

Uvod

Prema mišljenju stranih vojnih stručnjaka, mogućnosti za povećanje dometa savremenih oruđa, zasnovanih na primeni municije s čvrstim barutnim punjenjima, praktično su, skoro iscrpljene zbog ograničenja povezanih s krajnje dozvoljenim pritiskom barutnih gasova u kanalu cevi. Povećanje zapremine i mase municije, takođe, neće dovesti do suštinskih povećanja borbenih mogućnosti cevne artiljerije.

Saopšteno je da se u nizu zemalja razvijaju nove generacije artiljerijskih oruđa, koja su u stanju da gađaju uz primenu tečnih pogonskih materija. Veruje se da će to omogućiti znatno povećanje efikasnosti cevne artiljerije i tenkovskog naoružanja. Interes za primenu tečnih pogonskih materija objašnjava se činjenicama da se pri sagorevanju mnogih od tih materija izdvaja znatno više energije u poređenju s barutom [1].

Međutim, svedoci smo pojave prototipova, razvoja novih modela oruđa-oružja, kao i modifikacija postojećih sistema. Kao prilog modifikaciji, tj. usavršavanju klasičnog pogonskog sredstva — baruta realiziran je ovaj rad. Tokom analize sagorevanja devetnaes-

tokanalnih b/z [3], javlja se ideja za barutna zrna identična konstrukciji sedmokanalnih i devetnaestokanalnih b/z. Realizacija ideje daje nove moguće tipove progresivnog baruta.

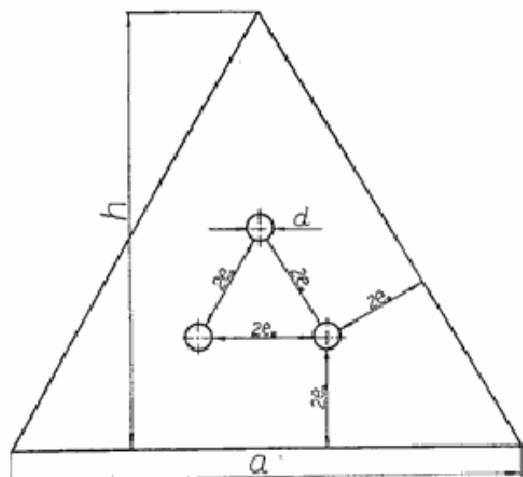
Cilj ovog rada je dobijanje što veće relativne sagorele mase baruta (ϕ) i relativne sagorevajuće površine baruta (σ) na kraju prve progresivne faze. To su, ujedno i kriterijumi za izbor najboljeg odnosa geometrijskih dimenzija b/z — tipa baruta. Za geometrijski definisan tip baruta usvaja se hemijski sastav komponenata baruta — model baruta. Konačno, odabrana b/z stavljaju se u barutnu komoru postojećeg oruđa i metka s ciljem da se dobije što veće V_0 uz isti P_m , pošto je na osnovu dijagrama pritiska barutnih gasova u cevi i dimenzionisana ista.

Ideja je, uz zadržavanje svih konstruktivnih parametara oruđa i metka, zamena barutnog punjenja višekanalnim b/z za ostvarenje veće V_0 , a time i dometa oruđa.

Moguće varijante višekanalnog barutnog zrna

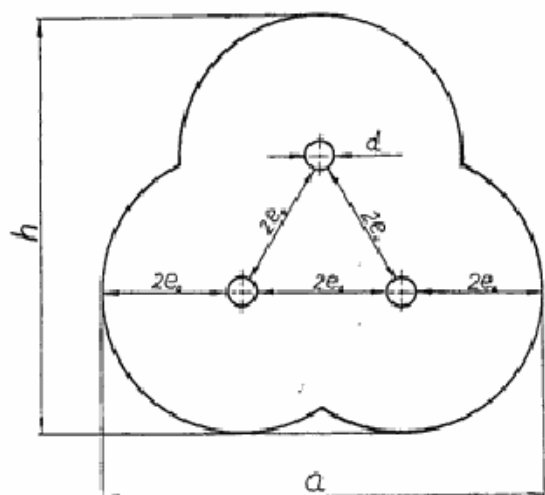
Osnova za dimenzionisanje b/z je tzv. geometrijski zakon o sagorevanju baruta [2]. Tip, tj. oblik višekanalnih

b/z, dobija se analogijom sedmokanalnog b/z. To znači pronalazak takvog odnosa dimenzija da se sagorevajuća površina poveća maksimalno i da u fa-

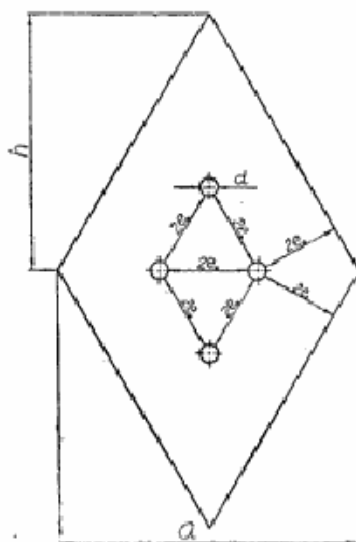


Sl. 1 — Tip 1/3 — baza trougao sa 3 kanala

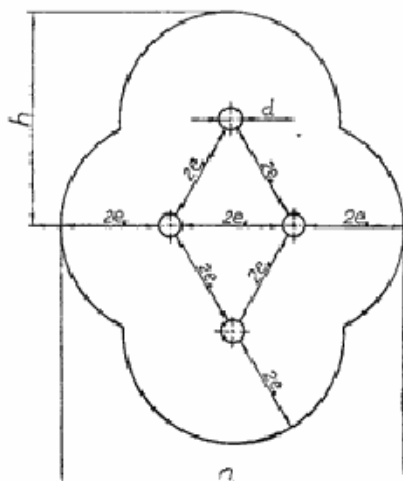
zi raspada b/z (kraj progresivne faze) ostane što manje ostataka koji će sagorevati degresivno. Ako se ima u vidu brzina stvaranja barutnih gasova, onda je sasvim jasan napred definisani uslov. Mogući tipovi višekanalnog b/z prikazani su na slikama 1, 2, 3 i 4.



Sl. 2 — Tip 2/3 — baza trougao-rozeta sa 3 kanala



Sl. 3 — Tip 3/4 — baza romb sa 4 kanala



Sl. 4 — Tip 4/4 — baza romb-rozeta sa 4 kanala

Svaki od ilustriranih tipova (slikama 1 do 4) može da ima još po dve varijante. Sve moguće varijante imaju zajedničku konstruktivnu ideju, koja se zasniva na svim udaljenostima od kanala do kanala iznosa $2e$.

Tipovi 1 i 2 mogu se konstruisati sa 6 i 10 kanala, tako da se zadrži baza trougao. Tipovi 1/6 i 2/6 imaju 6 kanala rasporeda (3-2-1) u odnosu na ba-

zu trougla. Tipovi 1/10 i 2/10 imaju 10 kanala, rasporeda (4-3-2-1) u odnosu na bazu trougla.

Tipovi 3 i 4 mogu se konstruisati sa 9 i 16 kanala, tako da se zadrži baza romba. Tipovi 3/9 i 4/9 imaju 9 kanala raspoređenih (1-2-3-2-1) po većoj dijagonali. Tipovi 3/16 i 4/16 imaju 16 kanala raspoređenih (1-2-3-4-3-2-1) po većoj dijagonali.

Analizom mogućih tipova, tj. oblika višekanalnih b/z sa stanovišta tehnologije proizvodnje očigledno je da prvi tip ima jednostavniji oblik od sledeća tri moguća tipa.

Definirani uslov (što veće σ i ϕ u prvoj fazi sagorevanja) najbolje ispunjavaju tipovi 2 i 4.

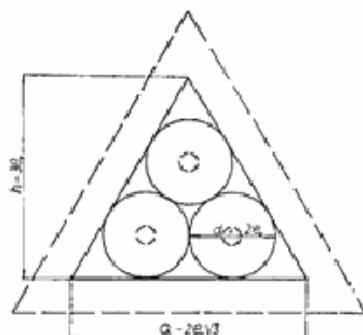
Za sve moguće tipove višekanalnih b/z sa slike 1, 2, 3 i 4 izvođe se analize sagorevanja, a u daljem tekstu se analizira sagorevanje tipa 1, s obzirom na to da najbolje ispunjava postavljene uslove.

Sagorevanje višekanalnih barutnih zrna

Po geometrijskom zakonu sagorevanja, brzina sagorevanja je ista po svim dimenzijama b/z. Prema tome, kraj progresivnog sagorevanja je onda kada sagori najmanja dimenzija b/z — debljina b/z. Kako se menja debljina zrna, tako se menjaju i ostale dimenzije, a od toga zavisi stvaranje barutnih gasova. Logično je da se veličine koje definišu proces sagorevanja baruta izraze u funkciji debljine b/z. Put plamena u jednom smeru označava se sa e , a u proizvoljnom momentu vremena debljina zrna se smanji za $2e$. Usvaja se da je odnos sagorele i početne debljine b/z — relativna sagorela debljina baruta:

$$y = \frac{2e}{2e_0} = \frac{e}{e_0} \quad (1)$$

Sagorevanje tipa 1 (slika 1) odvija se tako da se kanali šire, a širina i dužina se smanjuju. U jednom momentu svi krugovi se dodiruju i b/z se raspada na dve grupe štapića (slika 5). Štapići dalje sagorevaju degresivno. Kraj njihovog sagorevanja je kada sagori i debljina jednaka prečniku upisanog kruga (slika 6).



Sl. 5 — Kraj sagorevanja u progresivnoj fazi

Zbog raspada b/z, sagorevanje se deli na dve faze:

prva faza — progresivna je od početka sagorevanja pa do momenta raspada b/z, a

druga faza — degresivna je dogorevanje ostataka.

Zato se definiše ϕ i σ za obe faze.

Progresivna faza sagorevanja b/z

Na osnovu slike 1 za definisanje tipa 1 usvaja se konkretni e_0 , d , L , a računaju se:

stranica trougla

$$a = (2e_0 + d) + 2(2e_0 + d/2) \cdot \sqrt{3} \quad (2)$$

visina trougla

$$h = (a \sqrt{3})/2 \quad (3)$$

Početna zapremina b/z:

$$\Omega_0 = L(a^2 \sqrt{3}/4 - nd^2 \pi/4) = L/4(a^2 \sqrt{3} - nd^2 \pi) = L \cdot A_0 \quad (4)$$

gde je n — broj kanala.

Zapremina b/z u proizvoljnom trenutku sagorevanja:

$$\Omega = (L - 2e)[(a - 2e\sqrt{3})^2\sqrt{3} - n(d + 2e)^2\pi]/4 \quad (5)$$

Relativna sagorela masa b/z za proizvoljni trenutak sagorevanja, po definiciji, jeste:

$$\varphi = 1 - \Omega/\Omega_0 \quad (6)$$

Uvrštenjem izraza (4) i (5) u (6) dobija se:

$$\varphi = xy(1 + \lambda y + \mu y^2) \quad (7)$$

gde su: x , λ i μ koeficijenti oblika i za konkretni tip 1 imaju sledeći izgled:

$$x = \frac{3a + nd\pi}{A_8} e_0 + \beta \quad (8)$$

$$\lambda = -e_0^2[3\sqrt{3} - n\pi + \beta(3a + nd\pi)/e_0]/(xA_8) \quad (9)$$

$$\mu = \frac{3\sqrt{3} - n\pi}{xA_8} \beta e_0^2 \quad (10)$$

površina baze

$$A_8 = (a^2\sqrt{3} - nd^2\pi)/4 \quad (11)$$

odnos debljine i dužine b/z

$$\beta = 2e_0/L \quad (12)$$

Relativna sagorela površina b/z za proizvoljni trenutak vremena dobija se iz derivacije $d\varphi/dy$ u sledećem obliku:

$$\sigma = 1 + 2\lambda y + 3\mu y^2 \quad (13)$$

Kraj progresivne faze je kad se ostvari $e = e_0$, $y = 1$.

Degresivna faza sagorevanja b/z

Za ostatke b/z važi zavisnost za regresivne barute:

$$\varphi_1 = x_1 y_1 (1 + \lambda_1 y_1) \quad (14)$$

Veza između I i II faze sagorevanja je:

$$\varphi_1 = \varphi - \varphi_i \quad a \quad y_1 = y - 1$$

pa je:

$$\varphi = \varphi_1 + x_2(y - 1)[1 + \lambda_2(y - 1)] \quad (15)$$

Ovom izrazu odgovara izraz za σ :

$$\sigma = 1 + 2\lambda_2(y - 1) \quad (16)$$

gde je:

φ_1 — φ sa kraja progresivne faze a

x_2, λ_2 — koeficijenti oblika ostataka b/z

φ — relativna sagorela masa u proizvoljnom trenutku druge faze

y — relativna sagorela debljina b/z u proizvoljnom trenutku druge faze.

Koeficijenti oblika određuju se iz (15) i (16), stavljajući uslove za kraj sagorevanja:

$$y = y_k, \quad \varphi = 1 \quad i \quad \sigma = 0$$

$$\lambda_2 = -\frac{1}{2(y_k - 1)} \quad (17)$$

$$x_2 = \frac{2(1 - \varphi_1)}{y_k - 1} \quad (18)$$

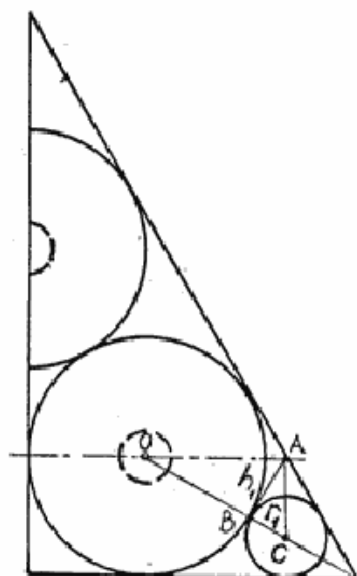
Kraj regresivne faze je kada se ostvari:

$$y_k = 1 + r_1 \quad (19)$$

Na osnovu slike 6 iz trouglova OAB i ABC dobija se:

$$r_1 = \frac{(e_0 + d/2)}{3} \quad (20)$$

Analogno ovoj analizi sagorevanja izvode se analize i za sve preostale tipove višekanalnog b/z sa slika 2, 3 i 4.



Sl. 6 — Radijus upisanog kruga debljeg ostatka

Analiza dimenzija višekanalnih barutnih zrna

Za moguće tipove višekanalnih b/z (slike 1, 2, 3 i 4) variraju se osnovne dimenzije programskim rešenjem na PC računaru, a računa se relativna sagorela masa baruta (φ) i funkcija oblika — relativna sagorevajuća površina (σ).

Variranjem osnovnih dimenzija tipova sa slika uočava se da:

— povećanjem prečnika kanala — d i debljine — e_0 opadaju φ i σ , a

— povećanjem dužine b/z — L i broja kanala — n opada φ , dok σ raste i obrnuto.

Na osnovu kriterijuma $\varphi > 0.90$ i $\sigma > 2.00$ dobija se suženi dijapazon osnovnih dimenzija svih tipova b/z:

$$e_0 = (0.5 \text{ do } 2.5)$$

$$d = (0.1 \text{ do } 0.3)e_0$$

$$a = f(d, e_0)$$

$$L = (1 \text{ do } 2.5)a$$

Ove odnose osnovnih dimenzija daju i [3] i [4] kao optimalne za sedmo-kanalna i devetnaestokanalna b/z.

Suženi dijapazon osnovnih dimenzija daje više kombinacija sa dobrim rezultatima za φ i σ . Međutim, odabire se najbolja kombinacija stavljanjem konkretnog tipa u barutnu komoru.

Unutrašnjobalistički proračun za oruđe »N«

Na osnovu optimalnih dimenzija mogućih tipova višekanalnih b/z, sa aspekta sagorevanja baruta, izvodi se unutrašnjobalistički proračun za konkretno oruđe »N«.

Odabrano oruđe »N« koristi cevčice za barutno punjenje i ima $p_m = 320$ MPa i $V_0 = 820$ m/s. Ideja je da se zadrže svi polazni konstruktivni parametri oruđa i metka, a da se zameni barutno punjenje novim tipom i modelom baruta kako bi se dobilo: $V_0 > 820$ m/s i $p_m \leq 320$ MPa.

Za unutrašnjobalistički proračun koristi se postojeće programsko rešenje na katedri naoružanja VTA koje diferencijalne jednačine [2] rešava metodom Runge-Kutta. Programsko rešenje je modificirano tako da varira modele i tipove baruta, a rešava problem sagorevanja višekanalnih b/z po fazama u procesu opaljenja. Variranjem modela baruta jugoslovenske proizvodnje dolazi se do najboljih rezultata modelom jednobaznog baruta od kojeg su izrađene cevčice za oruđe »N«. Kompletni rezultati unutrašnjobalističkog proračuna za svaki tip i model baruta ne daju se zbog obimnosti. Tabelarno se prikazuju samo karakteristične tačke proračuna za 13 odabranih tipova b/z radi uporedne analize.

Nulti tip barutnog zrna je cevčica koju, inače, koristi oruđe »N«, dok su ostali tipovi od 1/3 do 4/16 identični mogućim tipovima višekanalnog barutnog zrna sa slika 1, 2, 3 i 4.

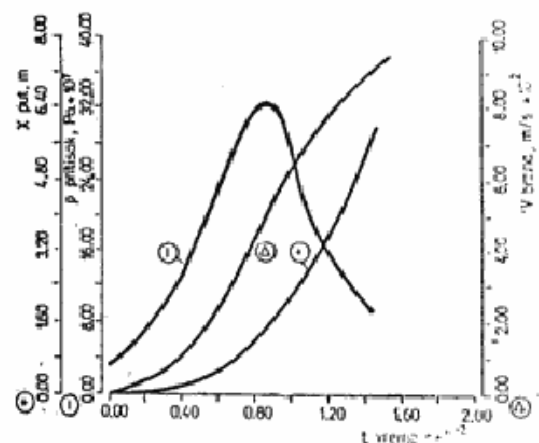
Karakteristične tačke gasodinamičkog procesa

Mesto	Kraj I faze				Maksimalni pritisak				Kraj sagorevanja				Usta cevi			
Tip	P_{ti} , MPa	t_{kr} , s	X_{kr} , m	V_{kr} , m/s	P_m , MPa	t_k , s	X_m , m	V_m , m/s	P_k , MPa	t_k , s	X_k , m	V_k , m/s	P_u , MPa	t_u , s	V_u , m/s	
Tip 0-	-	-	-	-	320	0.060	0.688	320	125	0.123	4.00	733	91	0.140	820	
Tip 1/3	374	0.065	1.303	593	406	0.054	0.706	415	207	0.084	2.62	795	81	0.121	978	
Tip 1/6	337	0.074	1.490	590	352	0.063	0.912	443	188	0.095	2.94	793	83	0.129	955	
Tip 1/10	312	0.081	1.643	587	318	0.074	1.244	499	175	0.104	3.19	790	85	0.135	937	
Tip 2/3	444	0.067	1.208	598	460	0.060	0.836	478	335	0.073	1.62	692	79	0.123	995	
Tip 2/6	395	0.077	1.423	595	395	0.077	1.423	595	297	0.084	1.89	689	82	0.132	969	
Tip 2/10	353	0.087	1.592	592	353	0.087	1.592	592	273	0.092	2.10	687	84	0.138	949	
Tip 3/4	383	0.066	1.296	593	410	0.056	0.790	444	209	0.084	2.59	795	81	0.122	979	
Tip 3/9	332	0.077	1.540	589	342	0.068	1.055	471	184	0.098	3.01	792	84	0.132	949	
Tip 3/16	303	0.086	1.726	585	305	0.081	1.445	527	169	0.109	3.33	788	86	0.140	928	
Tip 4/4	441	0.064	1.218	593	448	0.059	0.930	504	333	0.071	1.64	687	79	0.120	991	
Tip 4/9	382	0.075	1.445	589	382	0.075	1.445	589	294	0.083	1.92	683	82	0.130	963	
Tip 4/16	346	0.084	1.617	585	346	0.084	1.617	585	269	0.092	2.14	679	84	0.138	942	

Zajedničke dimenzije svih tipova b/z su: $e_0=0.0015$, $d=0.00015$, $a=f(e_0,d)$ i $L=1.5a$, koje su iste kao u [3] zbog komparativne analize rezultata unutrašnjobalističkog proračuna.

Analizom rezultata u tabeli očigledno je da tip 1/10 najbolje ispunjava napred postavljeni uslov $p_m < 320$ MPa a $V_0=937$ m/s, što je za 117 m/s veća V_0 za oruđe »N«, te se za ovaj tip daje i grafička interpretacija $p(t)$, $V(t)$ i $X(t)$ (na slici 7).

Komparacijom ulazno-izlaznih rezultata u tabeli uočava se povećanje p_m i V_0 povećanjem broja kanala u b/z. Nadalje, tipovi 2 i 4 su modifikacije tipova 1 i 3 da bi se dobilo što veće ϕ , što oni i daju. Međutim, povećanjem ϕ raste i p_m i V_0 , tako da tipovi 2 i 4 imaju znatno veće p_m od tipova 1 i 3, pa treba biti obazriv pri izboru modela i tipa baruta.



Sl. 7 — Dijagram $p(t)$, $V(t)$ i $X(t)$

Karakteristika dijagrama i tabele jeste da se maksimalni pritisak ostvaruje pri kraju progresivne faze kod višekanalnih b/z. Komparacijom cevčice i višekanalnih b/z očigledno je da proces sagorevanja višekanalnih b/z duže traje do p_m , a time je i intenzivniji

priliv barutnih gasova, što rezultira veći ukupni impuls pritiska barutnih gasova i početnu brzinu projektila.

Zaključak

Rad daje teorijsku unutrašnjobalističku analizu kakva bi trebalo da prethodi usvajanju i proizvodnji b/z za konkretno oruđe.

Analiza obuhvata dimenzionisanje b/z, usvajanje hemijskog sastava — modela baruta i sagorevanje usvojenog tipa i modela u barutnoj komori oruđa. Odabire se oruđe »N« koje ima $p_m=320$ MPa i $V_0=820$ m/s, a koriste cevčice za barutno punjenje. Cevčice se zamenjuju višekanalnim b/z, uz iste konstruktivne parametre oruđa i metka uz p_m od 320 MPa, tako da zamena rezultira povećanje V_0 na 937 m/s, što nije bez uticaja na domet i druge spoljnobalističke efekte. Inače, svi tipovi višekanalnog baruta sa slika 1, 2, 3 i 4 daju povećanje V_0 za približno 100 m/s, pod uslovom da su modela jednobaznog baruta.

Rad ne razmatra tipove i modele sa aspekta tehnologije proizvodnje, već stručnjacima za proizvodnju prepušta da odaberu najadekvatniji tip i model.

Radi kompletnosti ove analize, svi navedeni modeli i tipovi baruta testirani su simulacijom na računaru i za druga oruđa, a rezultati simulacije u potpunosti verifikuju dobijene rezultate i zaključke za oruđe »N«. Rezultati simulacije se ne prezentiraju zbog svoje obimnosti.

Trebalo bi, razmotriti mogućnost flegmatiziranja navedenih tipova i modela kako bi se ispitale mogućnosti daljeg povećanja V_0 .

Za potpunu verifikaciju ovog rada potrebno je izraditi navedene tipove i modele višekanalnih b/z i staviti ih u barutnu komoru oruđa »N« i izvršiti gađanja i merenja p_m i V_0 .

Literatura:

- [1] ***: Tečne pogonske materije za artiljerijska oruđa — stanje, problemi, perspektive, VTG-4/92, Beograd, 1992, 451—460.
- [2] Cvetković M.: Unutrašnja balistika, lekcije, CVTS KoV JNA, Zagreb, 1994.
- [3] Tančić L.J.: Unutrašnja balistika devetnaestokanalnog baruta, NTP — 10/92, Beograd, 1992, 3—8.
- [4] Sharma B. K.: BALISTIQUE INTERIEURE DES POUDRES HEPTATUBULAIRES PARTIELLEMENT MODIFIEES, SCI. & TECH. ARMEMENT, 1983. V 57, (2). BR. 224, 317—360.

Primena parcijalnih diferencijalnih jednačina za generiranje proračunskih mreža u aerotehnici

Problematika generiranja proračunskih mreža («numerical grid generation») je postala sastavni deo kompjuterske aerodinamike i jedna je od najvažnijih faktora u numeričkom rešavanju parcijalnih diferencijalnih jednačina u složenim strujnim oblastima. Ona zahteva inženjerijski osećaj za fizičko ponašanje, matematičko razumevanje funkcionalnih relacija na tačkama mreže (kako bi se postiglo fizičko rešenje sa dovoljnom tačnošću) i dosta imaginacije. U radu je prezentirana upotreba parcijalnih diferencijalnih jednačina u numeričkom generiranju proračunskih mreža, kao jedna od nužnih sekvenci u rešavanju problema strujanja oko složenih aerodinamičkih konfiguracija.

Uvod

Proračunska mreža predstavlja krivolinijski koordinatni sistem kod kojeg se, obično, jedna koordinatna linija poklapa sa konturom tela, a jedna sa spoljnom granicom proračunskog polja. Potreba za proračunskom mrežom proistekla je iz prirode načina rešenja jednačina kretanja i metoda njihove diskretizacije i aproksimacije u strujnom polju. Da bi se uopšte moglo govoriti o rešavanju problema, potrebno je podeliti strujno polje na veliki broj elementarnih površina (u 2-D strujanju) ili zapremina (u 3-D strujanju) kako bi greška aproksimacije diferencijalnih jednačina bila što manja. U svakoj tački proračunske mreže, nekom od numeričkih metoda (metodom konačnih razlika, konačnih površina ili zapremina ili metodom konačnih elemenata) vrši se proračun svih parametara strujanja. U osnovi, proračunska mreža može da se generira numeričkim putem primenom algebarskih metoda ili pomoću parcijalnih diferencijalnih jednačina (PDJ). Kod algebarskih metoda prvo se definišu tačke na konturi tela i spoljnoj granici, a zatim se, primenom raznih tipova matematičkih interpolacija, vrši generiranje tačaka i koordinatnih linija unutar definisanog strujnog polja. Ove metode su relativno jednostavne, brze i omogućuju eksplisitu kon-

trolu položaja tačaka i linija koordinatnog sistema.

Kod metoda parcijalnih diferencijalnih jednačina koriste se sva tri tipa jednačina — eliptične, parabolne i hiperbolne. Koristeći iste principe kao i kod algebarskih metoda, prvo se specificiraju unutrašnja i spoljna granica (izuzev kod hiperboličnih PDJ kod kojih je spoljni region otvoren), a zatim se koordinatne tačke i linije generiraju kao rešenje PDJ-a.

Obe metode su veoma popularne, ali, za sada, nijedna od njih ne, omogućava univerzalno generiranje proračunskih mreža za sve tipove konfiguracija. (Jedan detaljan pregled razvoja i primene koncepta numeričkog generiranja proračunskih mreža dat je u [1]).

U aerodinamičkim aplikacijama obično se koristi tzv. »H«, »O« i »C« tip proračunske mreže.

H-tip proračunske mreže — predstavlja koordinatni sistem kod kojeg koordinatne linije prate konturu date konfiguracije, tj. dobijaju oblik strujnica koje dolaze iz neporemećene struje ispred tela, obilaze ga i nastavljaju kretanje u neporemećeni deo strujanja iza njega. Obezbeđuje odličnu rezoluciju strujnog polja ispred i iza aerodinamičkog tela. To je, ujedno, i najjednostavniji tip mreže. Međutim, H-tip proračunske mreže ne obezbeđuje pot-

puno tačnu aproksimaciju strujnog polja oko zaobljenih ivica i teže je ostvariti optimalnu kontrolu koncentracije tačaka pri udaljavanju od tela.

O-tip proračunske mreže — predstavlja koordinatni sistem kod kojeg koordinatne linije u potpunosti obavijaju telo. Daje slabiju rezoluciju polja prema spoljnoj granici, ali obezbeđuje veoma dobru rezoluciju koordinatnih linija kod zaobljenih ivica.

C-tip proračunske mreže — predstavlja koordinatni sistem kod kojeg koordinatne linije polukružno obavijaju posmatrano telo. U suštini, »C« mreža predstavlja kombinaciju O-tipa mreže u regionu ispred tela i H-tipa mreže u regionu iza tela. Ova proračunska mreža obezbeđuje veoma dobru aproksimaciju svih granica i periodičnih graničnih uslova.

Pri generiranju proračunskih mreža za 3-D aplikacije koriste se 2-D principi generiranja i kombinacija sva tri navedena tipa mreža.

Potreba i zahtevi za vezani krivolinijski koordinatni sistem

Pri numeričkom rešavanju PDJ uvek se javlja potreba za tačnom reprezentacijom graničnih uslova. Na primer, osnovni zahtev koji se ovde postavlja jeste da se odrede tačke proračunske mreže konstruisane na koordinatnim linijama koje se podudaraju sa granicama fizičkog tela. Na taj način, jedna koordinatna promenljiva može biti specificirana kao konstanta na svakoj granici, a monotona varijacija druge koordinatne oko granica može se specificirati kao skup polaznih podataka za problem diskretizacije PDJ. Zatim, ostaje problem da se generišu vrednosti ovih koordinata u polju, počevši od zadatih granica ili početnih vrednosti. Naravno, pri tome mora postojati jedinstvena podudarnost između osnovnog i krivolinijskog koordinatnog sis-

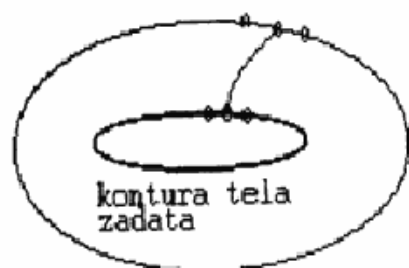
tema (npr. preslikavanje fizičkog polja na proračunsku ravan mora biti jedan prema jedan, tako da svaka tačka u fizičkom polju odgovara samo jednoj tački u proračunskom polju i obrnuto). Koordinatne linije iste familije ne smeju se ukrštavati, a različitih familija mogu se presecati samo jednom (npr. jakobijan transformacije mora uvek biti različit od nule u svakoj tački). Dalje, koordinatne linije moraju biti glatke kako bi se obezbedila kontinualnost prvih izvoda. Tačke mreže moraju biti na malim rastojanjima u fizičkoj ravni gde se javljaju velike numeričke greške, a iskrivljenje elementarnih polja mreže mora biti izbegnuto u što većoj meri, jer, u suprotnom, može izazvati uvećanje proračunske greške i dovesti u pitanje konvergenciju rešenja.

Pošto krivolinijska proračunska mreža ima koordinatne linije podudarne sa konturama svih prisutnih fizičkih tela, svi granični uslovi za dati problem mogu se izraziti u tačkama mreže bez dodatnih interpolacija, a uslov normalnosti na telu može se postići koristeći konačne razlike među tačkama, čak i u slučajevima kada linije koordinatnog sistema nisu normalne na granicama tela. Transformisane jednačine se, zatim, mogu aproksimirati metodom konačnih razlika ili konačnih elemenata i rešiti numeričkim putem u transformisanom ravni.

Generiranje proračunskih mreža pomoću parcijalnih diferencijalnih jednačina

Primena PDJ u generiranju numeričkih proračunskih mreža postala je veoma popularna zbog velikog broja mogućnosti sa kojima se može realizovati. Ovde je osnovna ideja da se generira numerička mreža kao rešenje PDJ koja zadovoljava zadate granične uslove na granicama datog fizičkog polja. Osnovne ideje ovih metoda prikazane su na slici 1.

ELIPTIČNA ŠEMA



spoljna
granica
zadata

kontura tela
zadata

HIPERBOLIČNA ŠEMA



spoljna
granica
računata

kontura tela
zadata

PARABOLIČNA ŠEMA



spoljna
granica
zadata

kontura tela
zadata kao početni
uslov

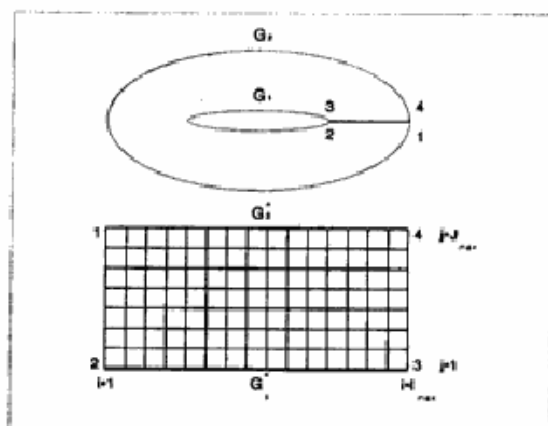
Sl. 1 — Osnovne ideje generiranja proračunskih mreža primenom PDJ

Eliptična diferencijalna šema

Eliptična diferencijalna šema zahteva specifikaciju graničnih uslova na kompletnim granicama fizičkog polja. Položaj koordinatnih tačaka u unutrašnjosti polja određuje se rešenjem seta eliptičnih PDJ. Najviše se koriste Laplace) i Poissonove (Poisson) jednačine. U slučaju ravnomerne raspodele tačaka na nezakrivljenim granicama, koordi-

natne linije mreže biće ravnomerno raspodeljene zbog »umirujućeg« uticaja laplasijana. U Poissonovim sistemima, kvalitet numeričke mreže (gustina i nagib linija) može se ostvariti pravilnim izborom prinudnih funkcija sa kontrolnim parametrima.

Pretpostavimo da želimo transformisati dvodimenzionalni region G , ograničen sa dve konture proizvoljnog oblika u pravougaoni region G^* , kao što je prikazano na slici 2. Opšta transformacija iz fizičke ravni $[x, y]$ u transformisanu ravan $[\xi, \eta]$ data je sa $\xi = \xi(x, y)$ i $\eta = \eta(x, y)$, dok je inverzna transformacija data sa $x = x(\xi, \eta)$ i $y = y(\xi, \eta)$. Prvi izvodi se transformišu na sledeći način:



Sl. 2 — Transformisanje fizičke ravni u proračunsku ravan

$$f_x = \frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\frac{\partial(f, y)}{\partial(\xi, \eta)}}{\frac{\partial(x, y)}{\partial(\xi, \eta)}} = \frac{y_\eta f_\xi - y_\xi f_\eta}{J} \quad (1)$$

$$f_y = \frac{\partial f}{\partial y} = \frac{\frac{\partial(f, x)}{\partial(\xi, \eta)}}{\frac{\partial(x, y)}{\partial(\xi, \eta)}} = \frac{x_\xi f_\eta - x_\eta f_\xi}{J} \quad (2)$$

gde je J jakobijan transformacije definisan kao $J = x_\xi y_\eta - x_\eta y_\xi$.

Razmotrimo primenu Laplasovih jednačina za generiranje proračunskih mreža:

$$\xi_{xx} + \xi_{yy} = 0 \quad (3)$$

$$\eta_{xx} + \eta_{yy} = 0 \quad (4)$$

gde su:

$$(\)_{xx} = \frac{\partial}{\partial x^2} \text{ i } (\)_{yy} = \frac{\partial}{\partial y^2}$$

sa Dirihleovim (Dirichle) graničnim uslovima:

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \xi_1(x, y) \\ \eta_1 \end{bmatrix}; \quad [x, y] \in G_1 \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \xi_2(x, y) \\ \eta_2 \end{bmatrix}; \quad [x, y] \in G_2 \quad (6)$$

U izrazima (5) i (6) η_1 i η_2 su konstante a $\xi_1(x, y)$ i $\xi_2(x, y)$ zadate monotone funkcije na unutrašnjoj granici G_1 i spoljnoj granici G_2 . Ovaj sistem garantira jednoznačno preslikavanje krivolinijskog koordinatnog sistema vezanog za granice bilo kojeg zatvorenog tela (lika). Pošto se kompletno numeričko rešavanje vrši na uniformnoj pravougaonoj proračunskoj ravni, zavisno i nezavisno promenljive u jednačinama (3) i (4) moraju se uzajamno zameniti. Koristeći navedene transformacije između fizičke i proračunske ravni i znajući da su koordinatne linije u transformisanoj ravni konstante, dobijamo vezani sistem jednačina sledećeg oblika:

$$Ax_{\xi\xi} + Bx_{\xi\eta} + Cx_{\eta\eta} = 0 \quad (7)$$

$$Ay_{\xi\xi} + By_{\xi\eta} + Cy_{\eta\eta} = 0 \quad (8)$$

gde su:

$$A = x_{\eta}^2 + y_{\eta}^2$$

$$B = -2(x_{\xi}x_{\eta} + y_{\xi}y_{\eta})$$

$$C = x_{\xi}^2 + y_{\xi}^2$$

a transformisani granični uslovi:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_1(\xi, \eta) \\ p_2(\xi, \eta) \end{bmatrix}; \quad [\xi, \eta] \in G^* \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1(\xi, \eta) \\ q_2(\xi, \eta) \end{bmatrix}; \quad [\xi, \eta] \in G^* \quad (10)$$

Funkcije $p_1(\xi, \eta)$, $p_2(\xi, \eta)$, $q_1(\xi, \eta)$ i $q_2(\xi, \eta)$ zadate su sa poznatim oblikom unutrašnje i spoljne granice fizičkog polja. U skladu sa slikom 2 pretpostavimo da se kontura aeroprofila i spoljna granica fizičkog polja transformišu u η -linije koje formiraju donju i gornju stranicu, a da se proizvoljni presek, koji spaja granice, preslikava na ξ -linije koje formiraju levu i desnu stranicu transformisane (proračunske) ravni. Dakle, leva i desna strana proračunske ravni su podudarne u fizičkom polju, pa su i fizičke koordinate x i y jednake duž ovih linija. U proračunskoj ravni se, zatim, formira uniformna mreža ξ i η linija, čije je rastojanje konstantno i jednako jedinici. Primenom centralnih razlika, jednačine (7) i (8) u tački (i, j) mogu se aproksimirati po x koordinati u obliku:

$$A(x_{i-1,j} - 2x_{i,j} + x_{i+1,j}) + B(x_{i-1,j-1} - x_{i-1,j+1} - x_{i+1,j-1} + x_{i+1,j+1})/4 + C(x_{i,j-1} - 2x_{i,j} + x_{i,j+1}) = 0 \quad (11)$$

a po y -koordinati kao:

$$A(y_{i-1,j} - 2y_{i,j} + y_{i+1,j}) + B(y_{i-1,j-1} - y_{i-1,j+1} - y_{i+1,j-1} + y_{i+1,j+1})/4 + C(y_{i,j-1} - 2y_{i,j} + y_{i,j+1}) = 0 \quad (12)$$

Proračunsko polje ima dimenzije $(J_{\max} - 2) \times (I_{\max} - 1)$. Granične vrednosti su zadate na linijama $j=1$ (kontura tela) i $j=J_{\max}$ (spoljna granica) za $1 < i < I_{\max}$. Ulazno-izlazne granice se pojavljuju na $i=1$ i $i=I_{\max}$. Pošto su vrednosti x i y koordinata jednake duž ovih linija, iteracija je neophodna samo duž jedne od njih. Za $i=1$ izvodi se mogu, za svako $2 < j < J_{\max}-1$, definisati na sledeći način:

$$(x_{\xi})_{i,j} = (x_{2,j} - x_{I_{\max},j})/2 \quad (13a)$$

$$(x_{\xi\xi})_{i,j} = x_{2,j} - 2x_{i,j} + x_{I_{\max}-1,j} \quad (13b)$$

$$(x_{\xi\eta})_{i,j} = (x_{2,j+1} - x_{2,j-1} + x_{I_{\max}-1,j-1} - x_{I_{\max}-1,j+1})/4 \quad (13c)$$

Slični izrazi mogu se koristiti i za y-koordinatu. Na samom početku rešavanja sistema jednačina neophodno je odrediti početne vrednosti koordinata. To se može postići, na primer, linear-nor interpolacijom tačaka između spoljne i unutrašnje granice ili pretpostavkom da su početne vrednosti jednake nuli.

Diskretizovan sistem (11) i (12) može se sada rešiti po $x_{i,j}$ i $y_{i,j}$ iterativnim putem, koristeći relaksacione metode, kao što su sukcesivna relaksacija po linijama ili tačkama (successive over-relaxation — SOR, potprogram za sukcesivnu relaksaciju po linijama dat je u prilogu) i metodom naizmenične promene smeru diferenciranja (altering direction implicit — ADI), sve dok se ne postigne zadati kriterijum konvergencije. Ukoliko sistemu (3) i (4) dodamo prinudne funkcije, dobijamo Poissonov sistem u sledećem obliku:

$$\xi_{xx} + \xi_{yy} = P(\xi, \eta) \quad (14)$$

$$\eta_{xx} + \eta_{yy} = Q(\xi, \eta) \quad (15)$$

Funkcije $P(\xi, \eta)$ i $Q(\xi, \eta)$ se zadaju, a zavise od prirode problema i željene raspodele tačaka. Primenom istog seta transformacija dobijamo novi skup vezanih jednačina za generiranje proračunskih mreža:

$$Ax_{\xi\xi} + Bx_{\xi\eta} + Cx_{\eta\eta} = -J^2[P(\xi, \eta)x_{\xi} + Q(\xi, \eta)x_{\eta}] \quad (17)$$

$$Ay_{\xi\xi} + By_{\xi\eta} + Cy_{\eta\eta} = -J^2[P(\xi, \eta)y_{\xi} + Q(\xi, \eta)y_{\eta}] \quad (16)$$

Eliptičke šeme zasnovane na Laplasovim ili Poissonovim jednačinama naišle su na široku primenu za razne 2-D i 3-D konfiguracije. Na primer, Thompson [2] i Holst [3] kontrolišu kvalitet numeričke mreže pomoću eksponencijalnih prinudnih funkcija sa kontrolnim parametrima. Izbor kontrolnih parametara zavisi od oblika tela. U toku generiranja mreže oko konkretne konfiguracije zahteva se interakcija korisnika, jer ove kontrolne funkcije

omogućuju pomeranje koordinatnih linija unutar polja, ali se teško postiže željeno rastojanje i ortogonalnost na granicama i u polju. Ovaj problem je ublažen primenom kontrolnih funkcija (Sorenson [4]) koje omogućuju proizvodnju kontrolu ugla nagiba ξ -koordinatnih linija na unutrašnjoj granici i rastojanje između aeroprofila i η -koordinatnih linija. Interesantno rešenje ostvarili su Chen i Obaish [5] koji tretiraju kontrolne funkcije $P(\xi, \eta)$ i $Q(\xi, \eta)$ u osnovnim jednačinama kao nepoznate, a zatim postavljaju uslov ortogonalnosti koordinatnih linija u blizini granica da bi odredili izraze za funkcije $P(\xi, \eta)$ i $Q(\xi, \eta)$.

Osnovne karakteristike eliptičnih sistema u generisanju numeričkih mreža su:

1. obezbeđuju jednoznačno preslikavanje između fizičke i proračunske ravni (polja);

2. koordinatne linije su »glatke«, a diskontinuiteti u nagibu koordinatnih linija na granicama se ne prenose u polje;

3. u toku iterativnog postupka generiranja mreže zahteva se memorisanje kompletnih podataka o koordinatama tačaka iz prethodne iteracije, zbog potrebe zadovoljenja kriterijuma konvergencije definisanog zadatom greškom;

4. konvergencija rešenja je spora u slučajevima kada su unutrašnja i spoljašnja granica na relativno malim rastojanjima (kao što je kod kola kompresora ili turbina).

Parabolična šema

Proračunska mreža može se generirati eksplicitno pomoću paraboličnih diferencijalnih jednačina metodom stepovanja (tzv. »marching« algoritam), počevši od neke unutrašnje granice, koja se pojavljuje kao početni uslov rešenja. Difuzni karakter jednačina ublažuje eventualne neregularnosti u mre-

ži zbog oblika početne granice. Važnost algoritma stepovanja ovde je dvostruka: (1) u najvećem broju slučajeva potrebno kompjutersko vreme čini samo deo onog potrebnog za generiranje proračunske mreže pomoću eliptične šeme i (2) zahtevano čuvanje podataka u toku generiranja mreže je znatno manje u odnosu na eliptičnu šemu. Polazne jednačine, iz kojih se izvodi sistem neophodan za generiranje proračunskih mreža, imaju sledeći oblik:

$$a(\xi, \eta)x_\eta = b(\xi, \eta)x_{\xi\xi} + c(\xi, \eta)V_x(\xi, \eta) + d(\xi, \eta) \quad (18)$$

$$a(\xi, \eta)y_\eta = b(\xi, \eta)y_{\xi\xi} + c(\xi, \eta)V_y(\xi, \eta) + d(\xi, \eta) \quad (19)$$

Ovde su a , b , c i d konstante ili neke funkcije od (ξ, η) ; x i y su koordinate u fizičkom polju; ξ i η koordinate u numeričkoj ravni, a V_x i V_y veličine koje predstavljaju meru promene x i y koordinata i mogu se aproksimirati primenom linearne ili polinomske interpolacije između unutrašnjih i spoljašnjih granica.

Kod većine transformacija, upotrebljenih u numeričkim analizama, rastojanje između koordinatnih linija ξ i η u proračunskoj ravni jednako je jedi-

nici. Međutim, ovo ograničenje nije nužno. Pri diskretizaciji jednačina možemo pretpostaviti da je rastojanje između koordinatnih linija u proračunskoj ravni kvaziuniformno. Zatim, primenom Tajlorovog (Taylor) reda za aproksimaciju prvog i drugog izvoda (oznaka na slici 3) i primenom odgovarajućih transformacija između fizičke i proračunske ravni, model jednačine (18) i (19) transformišu se u traženi set jednačina za generiranje proračunske mreže:

$$\alpha x_{i-1,j} + \beta x_{i,j} + \gamma x_{i+1,j} = D_x \quad (20)$$

$$\alpha y_{i-1,j} + \beta y_{i,j} + \gamma y_{i+1,j} = D_y \quad (21)$$

gde su:

$$\alpha = \frac{2A}{F_{i-1}(F_i + F_{i-1})}; \gamma = \frac{2A}{F_i(F_i + F_{i+1})}$$

$$\beta = \frac{-2A}{F_i + F_{i-1}} \left(\frac{1}{F_i} + \frac{1}{F_{i-1}} \right) - \frac{2C}{G_j + g_{j-1}} \left(\frac{1}{G_j} + \frac{1}{g_{j-1}} \right)$$

$$D_x = -B(X_{i+1,j+1} - X_{i-1,j+1} - x_{i+1,j-1} + x_{i-1,j-1}) / [(F_i + F_{i-1})(G_j + g_{j-1})] - \frac{2C}{G_j + g_{j-1}} \left[\frac{x_{i,j-1}}{g_{j-1}} + \frac{x_{i,j+1}}{G_j} \right]$$

$$D_y = -B(Y_{i+1,j+1} - Y_{i-1,j+1} - y_{i+1,j-1} + y_{i-1,j-1}) / [(F_i + F_{i-1})(G_j + g_{j-1})] - \frac{2C}{G_j + g_{j-1}} \left[\frac{y_{i,j-1}}{g_{j-1}} + \frac{y_{i,j+1}}{G_j} \right]$$

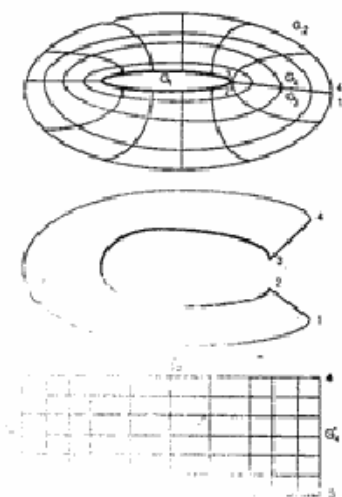
$$A = x^2_\eta + y^2_\eta$$

$$B = -2(x_\xi x_\eta + y_\xi y_\eta)$$

$$C = x^2_\xi + y^2_\xi$$

$$x_\xi = \frac{x_{i+1,j-1} - x_{i-1,j-1}}{F_i + F_{i-1}};$$

$$y_\xi = \frac{y_{i+1,j-1} - y_{i-1,j-1}}{F_i + F_{i-1}}$$



Sl. 3 — Princip generiranja »O« tipa proračunske mreže primenom parabolične šeme

$$x_{\eta} = \frac{X_{i,j+1} - x_{i,j-1}}{F_i + F_{i-1}} \text{ ili}$$

$$x_{\eta} = \frac{XB_{i,j \max} - x_{i,j-1}}{F_i + F_{i-1}}$$

$$y_{\eta} = \frac{Y_{i,j+1} - y_{i,j-1}}{G_j + g_{j-1}} \text{ ili}$$

$$y_{\eta} = \frac{YB_{i,j \max} - y_{i,j-1}}{G_j + g_{j-1}}$$

$$X_{i,j+1} = \frac{XB_{i,j \max} + x_{i,j-1}}{2};$$

$$Y_{i,j+1} = \frac{YB_{i,j \max} + y_{i,j-1}}{2}$$

$$G_j = \eta_{\max} - \eta_j; \quad g_{j-1} = \eta_j - \eta_{j-1}$$

$$F_i = \xi_{i+1} - \xi_i; \quad F_{i-1} = \xi_i - \xi_{i-1}$$

Jednačine (20) i (21) rešavaju se simultano za sve tačke $x_{i,j}$ i $y_{i,j}$ na j -toj liniji proračunske mreže primenom trodijagonalnog algoritma. Rešenje startuje sa $j=2$ (prvoj liniji mreže do unutrašnje granice) i stepuje do $j=J_{\max}-1$ (liniji mreže do spoljne granice). Pri tome, koordinate na $j+1$ liniji se uvek zadaju kao aritmetička sredina koordinata na $j=j-1$ i $j=J_{\max}$ liniji ili se zamenjuju sa koordinatama na spoljnoj granici, tj. $j=J_{\max}$. U oba slučaja nema bitnijih razlika u konačnom rešenju. Na isti način se određuju koeficijenti A, B i C. U paraboličnoj šemi, neuniformno rastojanje tačaka u proračunskoj ravni ima isti efekat kao prinudne funkcije sa kontrolnim parametrima u eliptičnim parcijalnim diferencijalnim jednačinama.

Parabolična šema je primenjiva i za 2-D i 3-D konfiguracije. Nakamura [6] je primenio parabolične PDJ sa uprošćenim drugim izvodima za generisanje »O« i »H« tipa mreže, Edvards [7] je proširio metod na 3-D probleme u dve koordinate, dok je treća diferencirana pomoću centralnih razlika, a Siladić i Carey [8] su metod generalizo-

vali i primenili za proizvoljne jedno-komponentne i višekomponentne konfiguracije na sva tri tipa proračunske mreže.

Hiperbolična šema

U primeni ove šeme, numerička mreža dobija se integracijom hiperboličnih PDJ i zahteva Košijeve (Caushi) granične uslove. Koordinatne linije se dobijaju eksplicitnim diferenciranjem, metodom stepovanja, od početne prema spoljnoj granici. Za ovu šemu koristi se sledeći sistem jednačina:

$$x_{\xi}y_{\eta} - y_{\xi}x_{\eta} = V(\xi, \eta) \quad (22)$$

$$x_{\xi}x_{\eta} - y_{\xi}y_{\eta} = 0 \quad (23)$$

$V(\xi, \eta)$ predstavlja matricu transformacije i reprezentuje površinu u fizičkoj ravni za datu jediničnu površinu u proračunskoj ravni. Ako je $V(\xi, \eta)$ dato kao funkcija položaja, tada se jednačina (22) može upotrebiti za kontrolu rastojanja koordinatnih linija u fizičkoj ravni. Jednačina (23) predstavlja meru ortogonalnosti koordinatnih linija u fizičkom polju. Posle linearizacije jednačina (22) i (23) oko poznatog stanja $(\bar{x}, \bar{y})$, dobija se sistem jednačina:

$$[A]r_{\xi} + [B]r_{\eta} = f \quad (24)$$

gde su:

$$r = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}; \quad [A] = \begin{bmatrix} \bar{x}_{\eta} & \bar{y}_{\eta} \\ \bar{y}_{\eta} & -\bar{x}_{\eta} \end{bmatrix};$$

$$[B] = \begin{bmatrix} \bar{x}_{\xi} & \bar{y}_{\xi} \\ -\bar{y}_{\xi} & \bar{x}_{\xi} \end{bmatrix}; \quad f = \begin{bmatrix} 0 \\ V + \bar{V} \end{bmatrix}$$

Karakteristične vrednosti $[B]^{-1}[A]$ su pozitivne, tako da je sistem (24) hiperboličan u η smeru i može se primeniti metod stepovanja po η -koordinati sve dok je $\bar{x}_{\xi}^2 + \bar{y}_{\xi}^2 \neq 0$

Pri generisanju proračunskih mreža sa ovom šemom, prvo se pretpostavlja da je površina tela podudarna sa koordinatom $\eta=0$ i vrši se raspodela

tačaka duž samog tela. Zatim se zahteva određivanje veličine $V(\xi, \eta)$ u jed-
načini (22). Na primer Steger i Soren-
son [9] preporučuju da se $V(\xi, \eta)$ odredi
polaganjem prave linije iste dužine kao
obim tela, a zatim da se na njoj izvrši
raspodela tačaka kao i na osnovnom te-
lu, tj. koordinatnoj liniji $\eta=0$. Posle
toga, povlači se nova linija, paralelna
prvoj, na $\eta=\text{const.}$ na proizvoljnom ra-
stojanju. Kada se to završi, veličina
 $V(\xi, \eta)$ se procenjuje kao površina ele-
mentarnih polja mreže. Primena hiper-
bolične šeme za generiranje proračun-
ske mreže oko aeroprofila uspešno je
realizovao Steger i Chausse [10], a za
3-D mrežu oko spejs-šatla Kutler [11].

nični, a kod parabolične šeme početni
uslov rešenja. U proračunskoj ravni se,
zatim, formira mreža ξ i η linija, čije je
rastojanje za eliptičnu šemu konstan-
tno i jednako jedinici, a za paraboličnu
šemu definisano trigonometrijskom $\sin$
ili $\cos$ funkcijom. Nakon definisanja
proračunske ravni pristupa, se rešenju
transformisanih diferencijalnih jedna-
čina, s tim što eliptična šema zahteva
korišćenja iterativne relaksacione me-
tode, a parabolična eksplicitni algoritam
stepovanja. Svi prezentirani primeri
ostvareni su na kompjuteru CDC 170/
750 Dual Cyber, a poređenje prora-
čunske efikasnosti obe šeme dato je u
tabeli.

Tabela

Uporedne karakteristike proračunske efikasnosti eliptične i parabolične diferencijalne
šeme pri generiranju proračunskih mreža

Eliptična šema NACA 0012		$\xi_{i,j} + \eta_{i,j} = P(\xi, \eta)$ $\xi_{i,j} + \eta_{i,j} = Q(\xi, \eta)$				Parabolična šema
Dimenzije mreže	Greška	Broj ITER.	R	ω	CPU (sec)	CPU (sec)
27 × 20	0.0001	78	5	1.81	11.722	0.083
27 × 20	0.0001	71	4	1.81	10.708	0.088
27 × 20	0.0001	68	3	1.80	10.264	0.090
61 × 28	0.0001	99	3	1.81	48.561	0.288
61 × 28	0.001	479	2	1.81	239.259	0.283
Dvokomponentni aeroprofil NACA 0012 Ugao otklona zakrilca 25°						
69 × 20	0.0001	275	4	1.80	105.702	0.340
69 × 20	0.001	116	5	1.81	48.301	0.342

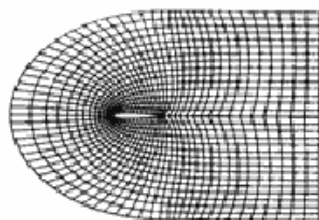
Primena eliptične i parabolične šeme za aerodinamičke aplikacije

U konkretnim primerima biće de-
monstrirana upotreba Laplasovih i Po-
isonovih jednačina za generiranje pro-
računske mreže oko jednokomponent-
nih i dvokomponentnih aeroprofila. Kod
eliptične šeme, kontura aeroprofila, sa
matematičkog aspekta, predstavlja gra-

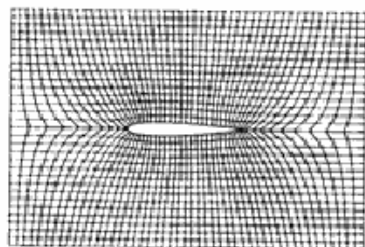
NACA 0012 — Samo parabolična šema

Dimenzije mreže	CPU (sec)
61 × 28	0.252
80 × 25	0.288
80 × 40	0.469
100 × 40	0.571
120 × 80	1.354
120 × 100	1.686

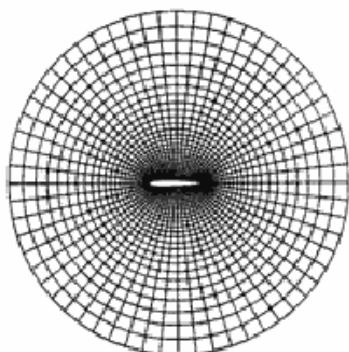
Na slikama 4 i 5 prikazani su »C« i »H« tip proračunske mreže oko jedno-komponentnog aeroprofila generirane



Sl. 4 — »C«-tip proračunske mreže generiran primenom laplasovih jednačina



Sl. 5 — »H«-tip proračunske mreže generiran primenom laplasovih jednačina



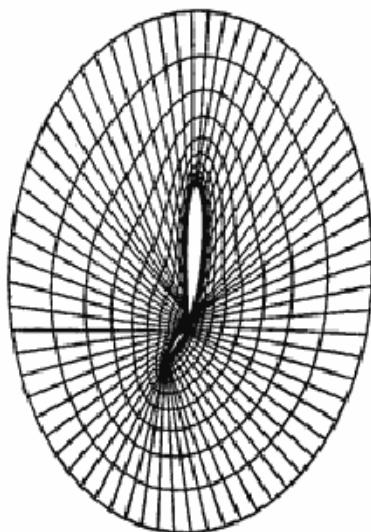
Sl. 6 — »Q«-tip proračunske mreže generiran primenom Poissonovih jednačina

pomoću Laplasovih jednačina, metodom sukcesivne relaksacije po tačkama. Može se videti da one obezbeđuju dobru glatkoću koordinatnih linija, ali ne o-

bezbeđuju dovoljnu atrakciju u blizini konture aeroprofila. To je nepovoljno pri proračunu viskoznog strujanja, jer se u blizini površine tela dešavaju najveće promene gradijenata.

Slika 6 prikazuje O-tip proračunske mreže oko NACA 0012 aeroprofila generisane pomoću eliptične šeme sa prinudnim funkcijama $P(\xi, \eta)$ i $Q(\xi, \eta)$ eksponencijalnog tipa. Dimenzije mreže su 61×28 , a poluprečnik spoljne granice tri dužine tetive. Atrakcija koordinata primenjena je na prvih pet linija pored konture, napadne i izlazne ivice aeroprofila. Pri konstantnom parametru akceleracije, konvergentno rešenje je postignuto nakon 99 iteracija.

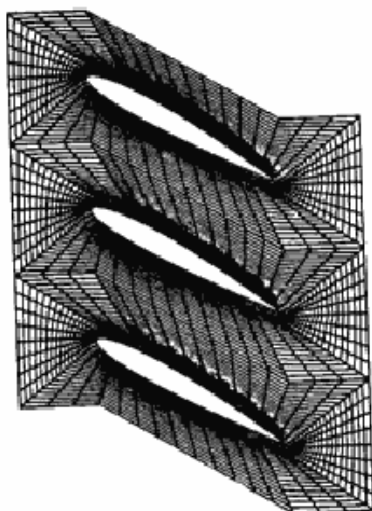
Na slikama 7 i 8 prikazana su dva O-tipa mreže generisane oko dvokomponentnih i kaskade aeroprofila primenom parabolične diferencijalne šeme. U prvom primeru demonstrirana je mo-



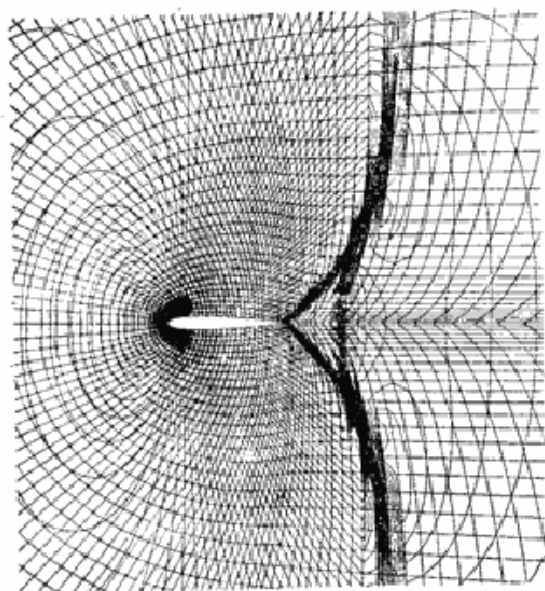
Sl. 7 — »Q«-tip proračunske mreže oko dvokomponentnih aerofila generiran primenom parabolične šeme

gućnost ove šeme da generira upotrebljivu mrežu oko višekomponentnih aerodinamičkih tela. Dimenzije mreže su

87×30, a potrebno kompjutersko vreme (CPU) za njeno izračunavanje 0.623 s. Drugi primer demonstrira sposobnost parabolične šeme da zadovolji granične



Sl. 8 — »O«-tip proračunske mreže oko kaskade aeroprofila generiran primenom parabolične šeme



Sl. 9 — Strujanje oko aeroprofila u transoničnom strujanju dobijeno na »C«-tipu proračunske mreže

uslove na veoma maloj udaljenosti od unutrašnje granice.

Na slici 9 prikazana je primena C-tipa proračunske mreže u proračunu transoničnog strujanja oko aeroprofila NACA 0012 (pri brzini $M=0,92$ i napadnom uglu $\alpha=0^\circ$). Na njoj se jasno vidi formiranje »λ« udarnog talasa na izlaznoj ivici, odnosno potreba i sprega proračunske mreže i rešenja konkretnog aerodinamičkog problema.

Zaključak

Proračunska mreža, kao krivolinijski sistem vezan za granice tela oko kojeg se vrši proračun strujnog polja, jedna je od najvažnijih elemenata u rešavanju složenih strujanja, naročito vezanih za viskozne efekte i transonični opseg brzina. Ona mora obezbediti uslove za pravilnu aproksimaciju graničnih uslova, koncentraciju koordinatnih linija u oblastima gde se dešavaju najveće promene parametara (na primer u zonama gde se očekuje pojava udarnih talasa ili odvajanje strujnica) i jednoznačno preslikavanje složenog strujnog polja u jednostavniju proračunsku ravan. Ovi zahtevi se uspešno ostvaruju primenom parcijalnih diferencijalnih jednačina, mada one zahtevaju dosta složene transformacije između fizičke i proračunske ravni.

Kroz konkretne primere primene eliptičnih i paraboličnih šema u generiranju mreža pokazana je njihova univerzalna mogućnost aplikacije na jednokomponentnim i višekomponentnim telima, s tim što je parabolična šema, sa proračunskog aspekta, mnogo jednostavnija i brža.


```

SUBROUTINE LAPLAS (IMAX,JMAX,X,Y,W,ITMAX,EPS)
C**
C** Potprogram za resavanje Laplasovih jednacina
C** metodom sukcesivne relaksacije po linijama
C**
C** IMAX - broj tacaka na unutrasnjoj granici, ekvivalentan
C** broju "ETA" linija u proracunskoj ravni
C** JMAX - broj tacaka na preseku izmedju spoljne i unutrasnje
C** granice, ekvivalentan broju "DZETA" linija u
C** proracunskoj ravni
C** X i Y - koordinate tacaka proracunske mreze
C** W - faktor akceleracije iterativnog resenja (1.5-1.86)
C** ITMAX - maksimalni broj iteracija (100-300)
C** EPS - dozvoljena greska resenja (0.001-0.0001)
C**
  DIMENSION X(120,80), Y(120,80)
  DIMENSION A(120),B(120),C(120),D(120),F(120),G(120)
C**
  JM1= JMAX-1
  IM1= IMAX-1
  IT=0
  EMAX1=0.0
  EMAX2=0.0
C**
40  IT= IT+1
  DO 10 J= 2,JM1
    DO 20 I= 2,IM1
      DEL1= X(I,J)
      DEL2= Y(I,J)
      XXD= 0.5*(X(I+1,J)-X(I-1,J))
      XED= 0.5*(X(I,J+1)-X(I,J-1))
      YXD= 0.5*(Y(I+1,J)-Y(I-1,J))
      YED= 0.5*(Y(I,J+1)-Y(I,J-1))
      AD= XED**2+YED**2
      BD= XXD*XED+YXD*YED
      GD= XXD**2+YXD**2
      XXED= (X(I+1,J+1)-X(I+1,J-1)-X(I-1,J+1)+X(I-1,J-1))*0.25
      YXED= (Y(I+1,J+1)-Y(I+1,J-1)-Y(I-1,J+1)+Y(I-1,J-1))*0.25
      BD= -2.0*BD
      A(I)= AD
      B(I)= -AD-AD-GD-GD
      C(I)= AD
      F(I)= -BD*XXED-GD*(X(I,J+1)+X(I,J-1))
      G(I)= -BD*YXED-GD*(Y(I,J+1)+Y(I,J-1))
20
C**
  F(2)= F(2)-A(2)*X(1,J)
  G(2)= G(2)-A(2)*Y(1,J)
  F(IM1)= F(IM1)-C(IM1)*Y(IMAX,J)
  G(IM1)= G(IM1)-C(IM1)*Y(IMAX,J)
C**
C** Relaksacija po linijama
  CALL TRID (A,B,C,D,F,2,IM1)
  CALL TRID (A,B,C,D,G,2,IM1)
C**

```

C**

```

DO 30 I= 2,IM1
  XC= W*(F(I)-X(I,J))
  YC= W*(G(I)-Y(I,J))
  X(I,J)= X(I,J)+XC
  Y(I,J)= Y(I,J)+YC
  EMA1= ABS(DEL1-X(I,J))
  EMA2= ABS(DEL2-Y(I,J))
  IF (EMA1.GT.EMAX1) EMAX1=EMA1
  IF (EMA2.GT.EMAX2) EMAX2=EMA2
30  CONTINUE
10  CONTINUE
IF (EMAX1.LT.EPS.OR.EMAX2.LT.EPS) THEN
  WRITE(*,5) IT
  GO TO 60
  ELSE IF (IT.EQ.ITMAX) THEN
    WRITE(*,25) ITMAX
    RETURN
  ELSE
    GO TO 40
END IF

```

C**

```

60  CONTINUE
DO 50 I= 1,IMAX
  WRITE (*,15) (X(I,J),J=1,JMAX)
50  WRITE (*,15) (Y(I,J),J=1,JMAX)
C**
5   FORMAT (/5X,'MREZA GENERIRANA POSLE',I4,'ITERACIJA')
15  FORMAT (10E13.6)
25  FORMAT (/5X,'MALI BROJ ITERACIJA ITMAX= ',I3)
RETURN
END

```

SUBROUTINE TRID (A,B,C,X,F,NL,NU)

C**

C** Podprogram za resavanje trodijagonalne matrice

C**

```

DIMENSION A(2),B(2),C(2),X(2),F(2)
X(NL)=C(NL)/B(NL)
F(NL)=F(NL)/B(NL)
NLP1= NL+1
DO 10 J=NLP1,NU
  Z=1.0/(B(J)-A(J)*X(J-1))
  X(J)=C(J)*Z
10  F(J)=(F(J)-A(J)*F(J-1))*Z
NUPNL=NU+NL
DO 20 J1=NLP1,NU
  J=NUPNL-J1
20  F(J)=F(J)-X(J)*F(J+1)
RETURN
END

```

- [1] J. F. Thompson: Grid Generation Techniques in Computational Fluid Dynamics, AIAA Journal No. 11, 1984.
- [2] J. F. Thompson: Elliptic Grid Generation, in Numerical Grid Generation, edited by J. F. Thompson, North-Holland P. Co., New York 1982.
- [3] T. L. Holst: Approximate Factorization Schemes for Solving the Transonic Full Potential Equation, in »Advances in Computational Transonics«, edited by W. G. Habashi, vol. 4, Pineridge Press, Swansea, UK, 1986.
- [4] R. L. Sorenson: Grid Generation by Elliptic Partial Differential Equations for Three-Element Augmentor Wing Airfoil, in »Numerical Grid Generations«, edited by J. F. Thompson, North-Holland P.Co., New York 1982.
- [5] C. J. Chen and K. M. Obaish: Numerical Generation of Nearly Orthogonal Boundary-Fitted Coordinate Systems, in »Advancements in Aerodynamics, Fluid Mechanics and Hydraulics« edited by R. E. A. Arndt, H. G. Stefan, C. Parell and S. M. Peterson, American Society of Civil Engineers, New York, 1986.
- [6] S. Nakamura: Marching Grid Generation Using Parabolic Partial Differential Equations« in »Numerical Grid Generations«, edited by J. F. Thompson, North-Holland P.Co., New York, 1982.
- [7] T. A. Edwards: Noniterative Three Dimensional Grid Generation Using Parabolic Partial Differential Equations, AIAA paper 85-0485.
- [8] M. F. Siladic and G. F. Carey: Numerical Grid Generation by Partial Differential Equations, The Texas Institute for Computational Mechanics Report 87-3, The University of Texas at Austin, 1987.
- [9] J. L. Steger and R. I. Sorenson: Use of Hyperbolic Partial Differential Equations to Generate Body Fitted Coordinates, NASA CP-22166, 1980.
- [10] J. L. Steger and D. S. Chaussee: Generation of Body Fitted Coordinates Using Hyperbolic Partial Differential Equations, SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing, vol. 1, No. 3, 1980.
- [11] P. Kutler: A Perspective of Theoretical and Applied Computational Fluid Dynamics, AIAA Journal, No. 3, 1985.

Vazduhoplovni računari

Nivo tehnološkog razvoja sa početka šezdesetih godina omogućio je uvođenje računara na avione. S obzirom na tempo razvoja i uvođenja novih tehnologija, vazduhoplovni računari su trpeli velike promene. Primena računara u skoro svim avionskim sistemima dovela je do značajnog povećanja stepena zahtevane pouzdanosti, pa primena optimalnih metoda za detekciju i maskiranje ili prevazilaženje grešaka dobija na značaju. Hardversko i softversko povezivanje avionskih sistema definiše arhitekturu integrisanih avionskih sistema. Analiza prednosti i nedostataka do sada korišćenih arhitektura pruža mogućnost lakšeg izbora optimalne arhitekture za neki konkretni avion.

Uvod

Na savremenim vojnim avionima susrećemo se sa sve većim brojem složenih elektronskih sistema, od kojih se zahteva da u realnom vremenu i sa velikim stepenom pouzdanosti izvršavaju veliki broj složenih funkcija, neophodnih za uspešno izvršenje sve složenijih školskih, borbenih i izviđačkih zadataka (misija). S obzirom na broj i složenost funkcija (upravljanje komandama leta, podvesnim sredstvima i elektromehaničkim sistemima; navigacija; komunikacija; radarsko osmatranje, detekcija i praćenje; dejstva; legitimisanje; upozorenje na ozračenoš; registrovanje parametara leta i video signala; upravljanje avionskim sistemima i prikazivanjem; prikazivanje parametara i stanja i kontrola razmene informacija) i zahtevane brzine obrade informacija (obrada u realnom vremenu) u okviru avionskih sistema koristi se veći broj računara visokih performansi. Od šezdesetih godina do danas, izuzetno brzi razvoj sve novijih i novijih tehnologija dovodio je do sve veće primene i relativno velikih i čestih promena avionskih računarskih sistema.

Imajući u vidu da su računari korišćeni kako u okviru sistema koji nisu kritični po bezbednost leta aviona, tako i u okviru sistema koji direktno utiču na bezbednost leta, kao i da su

nivoi pouzdanosti koji su se zahtevali od tih sistema bili izuzetno veliki (npr. za sistem komandi leta zahteva se srednje vreme između otkaza od 10^7 časova leta aviona) pitanju pouzdanosti avionskih računarskih sistema oduvek se morala posvećivati izuzetno velika pažnja.

Avionski računarski sistemi ne predstavljaju nezavisne celine već su svi oni, radi razmene i prikazivanja informacija, međusobno povezani, a način povezivanja hardvera i softvera određuje arhitekturu integrisanih računarskih sistema aviona. U opštem slučaju moguće su različite arhitekture integrisanih avionskih računarskih sistema, a izbor optimalne arhitekture zavisi, pre svega, od namene, tj. predviđenih misija konkretnog aviona, od čega zavisi i obimnost, složenost i stepen međusobne povezanosti vazduhoplovne opreme.

Razvoj avionskih računarskih sistema

Avionski računarski sistemi u toku svoje, ne tako duge, istorije pretrpeli su velike promene, što je bilo uslovljeno kako naglim razvojem tehnologija hardvera, tako i novim koncepcijama i dostignućima u domenu softvera [1].

Početak šezdesetih godina, pojavom i razvojem poluprovodničkih tehnologija, došlo je do značajnog smanjenja dimenzija i mase računara, što je rezultiralo u njihovoj sve većoj primeni na avionima. S obzirom na tada postignuti nivo pouzdanosti, prvobitni avionski računari korišćeni su, pre svega, za obavljanje pomoćnih, odnosno za let aviona manje kritičnih funkcija, kao što su: navigacija, obrada podataka, upravljanje vatrom (dejstva) i prikazivanje i registrovanje parametara leta.

Pojavom i razvojem tehnologija integrisanih kola omogućeno je dalje smanjenje dimenzija i mase računara, kao i značajno povećanje pouzdanosti, kako komponenata, tako i sistema u celini (redundovanjem komponenata i sistema), što je dovelo do promene računara i za najkritičnije funkcije leta, kao što su upravljanje komandama leta, elektromehaničkim podsistemima i podvesnim sredstvima (naoružanjem i elektronskom opremom kontejnerskog tipa).

S obzirom na kontinualni porast broja funkcija i sve strožije zahteve u pogledu tačnosti i pouzdanosti avioni su sve više postajali zavisni od mogućnosti računarskih sistema, tako da se avioni novije generacije ne mogu ni zamisliti bez primene većeg broja računara visokih performansi. Shodno tome, očigledno je da su karakteristike avionskih računarskih sistema, u poslednje tri decenije, trpele velike i brze promene, a realno je očekivati da će tempo njihovih promena u budućnosti biti i brži.

Prvobitnu generaciju avionskih računarskih sistema karakterisale su relativno male mogućnosti (jedan procesor, nekoliko desetina Kbajta memorije, propusna moć od oko 0,5 MIPS-a i oko 100 U/I operacija u sekundi), a koristili su se za izvršenje jednostavnijih algoritama, tj. za let aviona manje kritičnih funkcija. Osnovna ograničenja ove generacije avionskih ra-

čunskih sistema bila su u veličini, težini i mogućoj procesnoj snazi hardvera.

Noviju generaciju avionskih računarskih sistema karakterišu znatno veće mogućnosti (2—4 procesora, nekoliko stotina Kbajta memorije, propusna moć od oko 2 MIPS-a i oko 10.000 U/I operacija u sekundi), a koriste se za izvršavanje, kako jednostavnijih, tako i složenijih aplikativnih, egzekutivnih i kontrolnih algoritama. Osnovna ograničenja ove generacije avionskih računarskih sistema nalaze se u ograničenim mogućnostima, kako hardvera, tako i softvera.

S obzirom na sve veće i složenije zahteve očekuje se da će buduću generaciju avionskih računarskih sistema karakterisati ogromne mogućnosti (desetak procesora, oko 10 Mbajta memorije, propusna moć od nekoliko desetina MIPS-a i oko 10⁶ U/I operacija u sekundi) i da će obavljati i najsloženije poslove, uključujući i poslove veštačke inteligencije i obrade video signala. Sistemska ograničenja buduće generacije avionskih računarskih sistema očekuju se, pre svega, u domenu softvera.

Osnovni ciljevi razvoja avionskih, kao i svih drugih računarskih sistema od njihovog pojavljivanja do danas ostali su gotovo nepromenjeni, a sastojali su se u:

- povećanju produktivnosti sistema (povećanju kapaciteta obrade i propusne moći i smanjenju vremena odziva);
- povećanju pouzdanosti i raspoloživosti sistema;
- jednostavnom proširenju i poboljšanju performansi sistema;
- postupnom proširenju i postupnoj degradaciji sistema, i
- povećanju mogućnosti i stepena iskorišćenja deljenih resursa sistema.

Na današnjem nivou razvoja avionskih računarskih sistema postignuti su značajni rezultati u pogledu pouzdanosti, kapaciteta i brzine obrade, a evidentni su rezultati u ostvarivanju i ostalih navedenih ciljeva. Međutim, konačne rezultate u ostvarivanju ovih ciljeva moguće je predvideti u apsolutnom iznosu, tako da će postavljeni ciljevi važiti i pri razvoju budućih generacija avionskih računarskih sistema, s tim što se relativni značaj navedenih ciljeva može menjati u zavisnosti od raspoloživih tehnologija, kao i namene konkretnog računarskog sistema.

Za ostvarivanje navedenih ciljeva dosadašnji razvoj avionskih računarskih sistema usmeravan je na: sve veću primenu integrisanih digitalnih komponenata, poboljšanja arhitektura računarskih sistema, optimizaciju organizacija računarskih sistema, optimizaciju organizacija mreža računarskih sistema, kao i razvoj sistemskih softvera.

Navedena poboljšanja i optimizacije moguće je ostvariti jedino razvojem računarskih sistema sa paralelnim procesiranjem, usmerenim, pre svega, na razvoj sistemskog hardvera i softvera, a zatim i razvoj hardvera i softvera arhitektura integrisanih računarskih sistema aviona.

Pouzdanost avionskih računarskih sistema

Pošto se na vojnim avionima najnovije generacije u gotovo svim sistemima i podsistemima koriste procesori (računari), pitanju pouzdanosti ovih računara mora se posvetiti izuzetno velika pažnja.

Cinjenica da se od podsistema komandi leta, kao i od nekih elektromehaničkih podsistema, zahteva srednje vreme bezotkaznog rada (MTBF) od 10^7 časova leta, govori o vrlo velikom nivou pouzdanosti koja se zahteva od

pojedinih avionskih računarskih sistema.

Kako su avionski računski sistemi programibilni uređaji, to obezbeđenje korektnog izvršenja specificiranih algoritama i u uslovima pojave određenih grešaka (otkaza) predstavlja oblast od posebnog interesa. U opštem slučaju, postoje dva osnovna pristupa za realizaciju pouzdanih računarskih sistema, a to su: *izbegavanje grešaka* i *prevazilaženje* (tolerisanje) grešaka [2].

Pod pojmom izbegavanja grešaka podrazumevaju se svi standardni postupci koji se primenjuju pri projektovanju, proizvodnji i testiranju profesionalnih računarskih sistema, a koji se sastoje u: korišćenju što pouzdanijih komponenata uz uvažavanje veštačkog starenja; pažljivom projektovanju modula, signalnih puteva i sistema u celini; oklapanju pojedinih modula i sistema; optimalnom projektovanju mehanike i hladnjaka i opsežnom testiranju modula i sistema u celini.

Pod pojmom prevazilaženja grešaka podrazumeva se mogućnost otklanjanja uticaja grešaka (otkaza) uvođenjem vremenskih (softverskih) i/ili fizičkih (hardverskih) redudansi. U prvom slučaju radi se o ponavljanju izvršenja specifičnog algoritma uz poređenje rezultata, a u drugom slučaju o uvođenju dodatnog hardvera radi detekcije i maskiranja ili otklanjanja grešaka.

Jasno je da se kod većine avionskih računarskih sistema, primenom samo standardnih postupaka za izbegavanje grešaka, ne može ostvariti njihova zahtevana pouzdanost, zbog čega se posebna pažnja mora posvetiti i metodama za prevazilaženje grešaka. Metode za prevazilaženje grešaka obično se grupišu u: metode za detekciju grešaka, metode za maskiranje grešaka i metode sa dinamičkom rekonfiguracijom.

U prvoj grupi su samo metode za otkrivanje grešaka, što omogućava da

se operater ili nadzorni (kontrolni) sistem obaveste o pojavi greške. Drugu grupu čine metode koje koriste hardversko-softversku redundantnost strukture da na osnovu delimično neispravnog generišu ispravan rezultat. U trećoj grupi su metode koje, na osnovu rezultata metoda iz prve grupe, omogućavaju dinamičku rekonfiguraciju sistema, tako da se ponavljanjem prethodne procedure, ali u novim uslovima, dobije ispravan rezultat.

Sve tri grupe metoda bazirane su na redundansi, tj. dodatnom softveru (programima) i/ili dodatnom hardveru (resursima) koji pri potpuno pouzdanom radu sistema ne bi bili ni potrebni.

Metode za detekciju grešaka

Za detekciju grešaka može se koristiti: metod dupliciranja, metod sa kodovima, metod samotestirajuće logike, metod sa nadzornim tajmerom (*»watch-dog timer«*) i metod testiranja logičnosti rezultata.

Bez obzira na odabrani metod, bitno je uočiti da sami mehanizmi za detekciju grešaka, ukoliko nisu praćeni odgovarajućim korekcionim mehanizmima za prevazilaženje grešaka, ne doprinose povećanju pouzdanosti sistema, već naprotiv, unošenje dodatnih komponenti u sistem može samo da smanji njegovu pouzdanost. Međutim, i sami mehanizmi za detekciju grešaka mogu biti od koristi, ali sa stanovišta logistike (održavanja) avionskih sistema, jer omogućavaju brzu lokalizaciju grešaka (otkaza), što u znatnoj mери smanjuje vreme korektivnog održavanja, tj. opravke sistema.

Pri detekciji grešaka metodom dupliciranja koriste se dve identične kopije sistema (pojedinih modula sistema ili prenosnih puteva), pri čemu poređenje njihovih rezultata omogućava detekciju grešaka. To je efikasan metod za otkrivanje svih jednostrukih

grešaka, izuzev grešaka u samom komparatoru. Loše strane ovoga metoda su: neotpornost na istovremene greške u obe kopije sistema (pogotovo ako su to projektne greške), dvostruka cena sistema uvećana za ocenu logike za poređenje (komparatora), izvesna degradacija performansi sistema zbog nesinhronizacije kopija sistema i kašnjenja kola za poređenje i korišćenje dva sistema sa kapacitetom obrade jednog sistema.

Kodovi za detekciju grešaka, u suštini, predstavljaju redundansu primenjenu na podatke. Ovaj metod zasniva se na činjenici da je skup svih mogućih kodnih kombinacija znatno veći od korišćenog skupa, pa detekcija bilo koje nedozvoljene kodne kombinacije ukazuje na pojavu greške. Da bi se neki kod mogao koristiti za detekciju grešaka neophodno je da mu je broj bita po kojima se dve uzastopne kodne kombinacije međusobno razlikuju jednak ili veći od dva ($d \geq 2$). Kod ovog metoda mogu se koristiti sledeći kodovi: bit parnosti, kodovi M od N, *»checksum«*, aritmetički i CRC kodovi.

Metoda samotestirajuće logike koristi se pri realizaciji pouzdanih komparatora, koda i dekodera. Realizacija ovih kola bazirana je na pretpostavci da su im ulazi kodovani, te da i izlazi moraju biti kodovani u istom ili nekom drugom kodu. Samotestiranje se ogleda u sposobnosti da se na osnovu prethodno definisanog skupa dozvoljenih kodnih kombinacija detektuje nedozvoljene kodne kombinacije koje ukazuju na greške. Pri tome se mogu projektovati i kola koja su otporna na greške, tj. koja na svom izlazu nikada ne daju nedozvoljenu kombinaciju. Takva kola, sa mogućnošću detekcije i korekcije grešaka nazivaju se TSC (*»Totally Self-Checking«*).

Metoda sa nadzornim tajmerom predstavlja jednostavan način praćenja ispravnosti odvijanja određenih funkcija. Ukoliko tajmer nije resetovan

u predviđenom vremenskom intervalu, to ukazuje da se u tekućem procesu pojavila greška. Međutim, treba imati u vidu da obrnuto ne mora da važi, tj. ako je tajmer resetovan na vreme ne mora da znači da je i kontrolisani proces u ispravnom stanju. Ovaj metod može se realizovati kako hardverski tako i softverski.

Metoda testiranja logičnosti rezultata predstavlja relativno jednostavno rešenje koje zahteva vrlo malo ili nimalo hardvera. Ovaj metod zasniva se na činjenici da je unapred poznat opseg vrednosti koje neki rezultat ili međurezultat može da ima, te proverom da li su isti u predviđenim granicama mogu se detektovati greške. Može se koristiti i za detekciju grešaka pri nepravilnom korišćenju adresnog prostora ili skupa operacionih kodova. Ako se koristi parna parnost za programe, a neparna za podatke, ovim metodom mogu se detektovati greške u smislu pokušaja korišćenja naredbi umesto podataka i obrnuto. Pored toga, koristi se i za proveru mogućnosti korišćenja nekih uslužnih rutina ili resursa, od strane procesora, što se realizuje u okviru kontrolnog programa koji proverava da li je procesoru, koji je zahtevao uslugu ili resurs, dozvoljeno da to i dobije.

Metode za maskiranje grešaka

Osnovni cilj maskiranja grešaka je sprečavanje mogućnosti da pogrešni rezultati stignu do izlaza određenog modula ili sistema. Najčešće korišćene metode za maskiranje grešaka su: metod sa korišćenjem većinske logike i metod sa korišćenjem kodova za ispoljavanje greške.

Kod metoda sa korišćenjem većinske logike obično se koriste tri identična modula, čiji izlazi su vezani na kolo većinske logike. Ovako koncipiran trostruki sistem preživljava jednu grešku u sistemu, tj. sve dok postoji samo

jedna greška, koja nije u kolu većinske logike, na izlazu će se dobiti konkretan rezultat. Na primer, kolo većinske logike za tri jednobitna signala je potpuni sabirač, čiji izlaz se može iskoristiti za signalizaciju greške (otkaza). Ovaj metod može se primeniti, kako na nivou logičkog kola, tako i na nivou sistema u celini, mada se, najčešće, koristi na nivou funkcionalnog modula. Moguća je kako hardverska tako i softverska realizacija ovog metoda, a najveći problem koji se javlja pri njegovoj realizaciji je problem sinhronizacije rada svih modula.

Metod maskiranja grešaka, primenom kodova za ispravljanje grešaka (tzv. zaštitno kodovanje), predstavlja logičko proširenje korišćenih kodova za detekciju grešaka. Ako je za odabrani kod razlika u broju bitova između dve uzastopne kodne kombinacije $d \geq 2t + 1$, onda se sa tim kodom može ispraviti $\geq t$ grešaka. Ovakvi kodovi se u novije vreme masovno koriste kod dinamičkih memorija. Kod memorijskih medijuma, kao što su diskovi i trake, najčešće se koriste varijante CRC (*Cyclic Redundancy Check*) kodova koji omogućavaju ispravljanje više grešaka koje se javljaju u paketu.

Metode sa dinamičkom rekonfiguracijom

Ova grupa metoda zasnovana je na ideji da se nakon, na bilo koji način, detektovane greške primeni odgovarajući hardverski ili softverski upravljani postupak za prilagođenje sistema novo nastaloj situaciji, tj. obezbeđenje ispravnosti njegovog rada. Najčešće korišćene metode sa dinamičkom rekonfiguracijom su: rekonfigurabilnog dupliranja, hibridne redundanse, sa rezervnim modulima, sa postupnom degradacijom performansi i sa ponavljanjem izvršenja programa.

Da bi se metodom dupliranja osvarilo prevazilaženje grešaka, potreb-

no je da, u momentu kada se poređenjem rezultata detektuje njihovo neslaganje, sistem ima mogućnost odlučivanja koji od dva modula je neispravan, kao i mogućnost isključenja neispravnog modula i logike za poređenje. Poređenje rezultata može se vršiti u toku svakog mašinskog ciklusa, magistralnog ciklusa i to na definisanim međurezultatima ili konačnim rezultatima programa. Odlučivanje koji od dva modula je ispravan, obavlja se na osnovu određenog test-programa.

Naziv metoda »hibridne redundancije« potiče od činjenice da ovaj metod predstavlja kombinaciju metoda većinskog odlučivanja i metoda sa rezervnim modulima. Kod ovog metoda, na osnovu većinske logike odlučivanja, određuje se neispravan modul, pri čemu sam sistem inicira isključenje neispravnog, a uključenje rezervnog modula. Pri tome, procedura rekonfiguracije može biti upravljana hardverski ili softverski.

Pri korišćenju metoda sa rezervnim modulima, dinamička konfiguracija sistema zasniva se na tome da se u slučaju detekcije greške automatski isključuje neispravan, a uključuje rezervni modul. Ovaj metod može se kombinovati sa svim ostalim metodama i može se primenjivati kako na nivou modula, tako i na nivou komponenata (npr. rezervnih memorijskih blokova).

Za sve prethodne metode dinamičke rekonfiguracije sistema zajedničko je da su redundantni moduli korišteni za detekciju i korekciju grešaka ili, pak, kao rezerva za slučaj otkaza postojećih modula. Međutim, kod metoda postupne degradacije performansi sistema ne zahteva se redundantni hardver, već se svi postojeći hardverski moduli koriste za obavljanje tekućeg posla. U opštem slučaju, kod ovog metoda može postojati dodatni hardver samo za detekciju grešaka, mada se, i ona može realizovati softverski, ali uz znatno trošenje procesorskog vremena. U ovom sluča-

ju, pri detekciji greške, tj. detekciji neispravnosti modula, vrši se rekonfiguracija postojećih modula, pa sistem, uz izvesnu degradaciju performansi, nastavlja sa ispravnim radom.

Metoda dinamičke rekonfiguracije sa ponavljanjem izvršenja programa je izuzetno interesantna sa stanovišta otklanjanja uticaja prolaznih (soft) grešaka. To je softverski metod koji omogućava da se, pri detekciji greške, ili radi testiranja rezultata, ponovi izvršenje programa ili dela programa od neke unapred definisane tačke. Za realizaciju ovoga metoda ne zahteva se nikakav dodatni hardver, ali je potrebno da se na određenim prethodno definisanim tačkama sačuvaju stanja programa.

Arhitekture integrisanih elektronskih sistema aviona

Avionski računarski sistemi (u daljem tekstu — avionski sistemi) ne predstavljaju nezavisne celine već su svi oni, radi razmene i prikazivanja informacija, međusobno povezani, a način njihovog hardversko-softverskog povezivanja određuje arhitekturu i način njihove integracije.

Prethodne generacije aviona karakterišu centralizovane arhitekture integrisanih avionskih sistema kod kojih su svi proračuni, bitni za izvršenje misija, izvršavani na jednom centralnom računaru pri čemu su svi avionski sistemi i podsistemi radili pod kontrolom tog računara. [1] Međutim, povećanjem broja i složenosti avionskih sistema, odnosno broja i složenosti misija i funkcija, centralni računar je postao preopterećen, zbog čega se na vojnim avionima novije generacije, umesto centralizovanih pojavljuju federativne, hijerarhijske i distribuirane arhitekture integrisanih avionskih sistema.

Centralizovana arhitektura je prikazana na slici 1. U pogledu koncepcije hardvera karakteriše se snažnim cen-

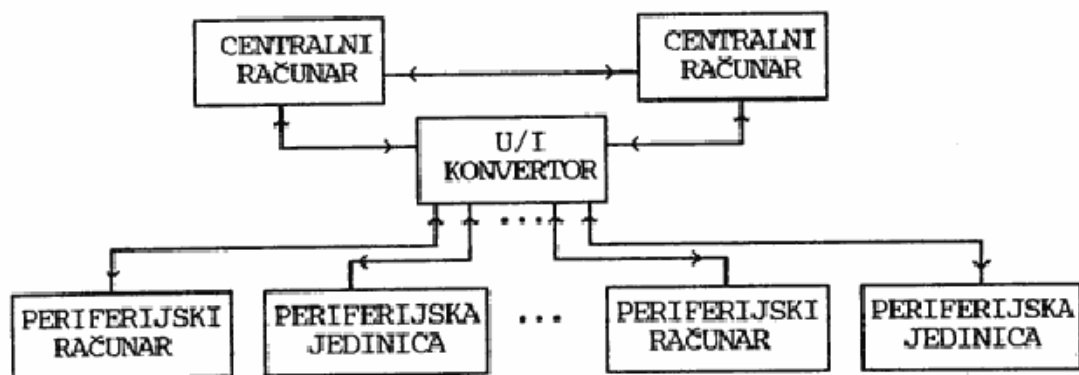
tralnim računarom koji sve druge računare »vidi« kao periferalne. Centralni računar može se realizovati kao multiprocesorski računarski sistem ili redundovani jednoprocesorski računarski sistem, a sve komunikacije između perifernih računara ostvaruju se preko njega.

U pogledu koncepcije softvera ova arhitektura se karakteriše jednim složenim kontrolnim softverom, smeštenim u centralnom računar, tako da je kompletan sistem pod kontrolom tog računara. Aplikativni programi, koji omogućavaju izvršenje svih funkcija avionskih sistema, smešteni su jednim delom u centralnom računar, a jednim delom u perifernim računarima. Centralizovane arhitekture integriranih

vera karakteriše se maksimalnim prilagođenjem hardvera funkcijama koje treba da ostvaruje. Zbog toga, arhitekture računara obično su različite, što otežava mogućnost njihove rekonfiguracije, a mala razmena podataka između računara ne zahteva brze magistrale podataka.

U pogledu koncepcije softvera, ova arhitektura karakteriše se time da je kontrolni softver smešten u jednom od računara koji kontroliše celokupni sistem, dok su aplikativni programi ograničeni na lokalne funkcije i smešteni u odgovarajuće računare.

Nedostaci ove arhitekture ogledaju se u tome što je za postizanje željene pouzdanosti, odnosno potrebnog stepena



Sl. 1 — Centralizovana arhitektura

avionskih računarskih sistema masovno su se koristile u periodu od šezdesetih do osamdesetih godina, a karakterisale su se malim stepenom redundanse, malom tolerancijom otkaza i nemogućnošću dinamičke rekonfiguracije sistema.

Federativna arhitektura prikazana je na slici 2. U pogledu koncepcije hard-



Sl. 2 — Federativna arhitektura

tolerancije otkaza, neophodna hardverska redundansa računarskih resursa i što je mogućnost dinamičke rekonfiguracije sistema izuzetno otežana.



Sl. 3 — Distribuirana arhitektura

Distribuirana arhitektura prikazana je na slici 3. Sa stanovišta koncep-

cije hardvera, karakteriše se time da se za komunikaciju između računara zahtevaju vrlo brze magistrale i da rekonfigurabilnost sistema (pod uslovom da svi članurari imaju identičnu arhitekturu i da postoje višestruke komunikacije sa periferallima) nije teška.

U pogledu koncepcije softvera, ova arhitektura se karakteriše relativno jednostavnim lokalnim kontrolnim softverima smeštenim u svakom računaru, dok se aplikativni programi, ograničeni na lokalne funkcije, mogu smestiti u bilo koji računar.

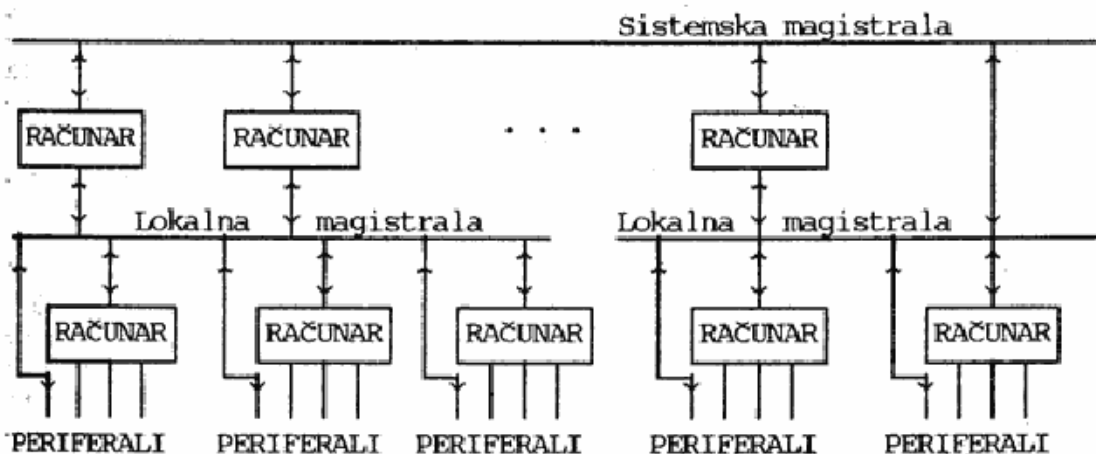
Osnovne prednosti ove arhitekture ogledaju se u višestrukoj redundansi, velikom stepenu tolerancije otkaza i lakoj dinamičkoj rekonfiguraciji sistema.

Hijerarhijska arhitektura prikazana je na slici 4. U pogledu koncepcije hardvera karakteriše se jako brzim sistemskim magistralama (za komunikaciju između računara) i sporim lokalnim magistralama (za kontrolu perifer-nih računara i periferala). Pri tome svi

tema je moguća i vrlo je jednostavna. Očigledno je da ova arhitektura predstavlja kombinaciju distribuirane i federativne arhitekture, pošto se računari, povezani na sistemsku magistralu, ponašaju kao distribuirani, a računari povezani na lokalne magistrale kao federativni.

Koncepcija softvera izvedena je tako da je za računare povezane na sistemsku magistralu izvršena distribucija kontrole, na bazi jednostavnih kontrolnih softvera u svakom od njih, dok kod računara povezanih na lokalnu magistralu jedan kontrolni softver, smešten u jednom od računara, kontroliše sve računare i periferale vezane na tu lokalnu magistralu. Shodno funkcijama koje izvršavaju, aplikativni programi raspoređeni su u odgovarajuće sistemske i periferne računare.

Hijerarhijska arhitektura omogućava da se na nivou sistemske magistrale iskoriste sve prednosti koje pruža distribuirana arhitektura, a na ni-



Sl. 4 — Hijerarhijska arhitektura

računari imaju istu arhitekturu, ali različite mogućnosti, jer su im mogućnosti prilagođene funkcijama koje treba da obavljaju. S obzirom na ovakvu koncepciju hardvera, rekonfiguracija sis-

vou lokalne magistrale sve prednosti koje pruža federativna arhitektura.

Na osnovu prethodne analize hardversko-softverskih karakteristika arhitektura integrisanih avionskih sistema,

pri projektovanju aviona, u toku poslednje dekade ovog i prve dekade narednog veka, očekuje se sve veća primena distribuirane, federativne i hijerarhijske arhitekture i sve manja primena centralizovane arhitekture.

Pri razvoju novih i modernizaciji postojećih vojnih aviona, u svim razvijenim zapadnim zemljama danas se koriste arhitekture distribuiranih avionskih sistema integrisanih posredstvom serijskih magistrala podataka [3] [4]. Integracija distribuiranih avionskih sistema, posredstvom serijskih magistrala podataka, izuzetno je složena aktivnost o kojoj u našoj zemlji postoji vrlo malo praktičnih iskustava, dok se teorijska znanja zasnivaju na vrlo šturim informacijama i prospektnim materijalima. Integracioni softveri distribuiranih avionskih sistema, zemalja koje ih poseduju, izuzetno su skupi i čuvaju se kao državna tajna. Zbog toga, za svaku zemlju koja želi da razvija savrebene borbene avione mogućnost razvoja integracionih softvera predstavlja jedan od ključnih preduslova mogućnosti razvoja aviona.

Za novu generaciju savremenih borbenih aviona, čija pojava se očekuje krajem prve i početkom druge dekade 21. veka, za integraciju avionskih sistema trenutno se analizira desetak različitih računarskih mreža sa paralelnim procesiranjem [5]. Ove mreže se međusobno razlikuju po broju čvorova (parova procesor-memorijska), načinu pristupa memoriji, načinu razmene podataka, kao i načinu upravljanja računarskom mrežom. Međutim, od svih trenutno razmatranih arhitektura računarskih mreža sa paralelnim procesiranjem, kao najpogodnije se izdvajaju: distribuirane, MIMD (Multiple Instruction Multiple Data), SIMD (Simple Instruction Multiple Data) i SYSTOLIC mreže.

Distribuirane računarske mreže izuzetno su pogodne za integraciju na nivou funkcija (funkcionalnu integra-

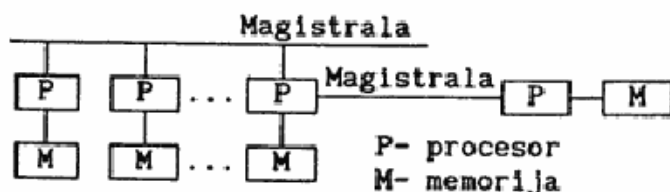
ciju), ali se trenutno karakterišu ograničenošću brzina magistrala podataka, procesora i memorija. Mada se arhitekture distribuiranih računarskih mreža koriste još od sedamdesetih godina, uvođenjem brzih magistrala podataka, procesora i memorija određene prednosti ovih arhitektura mogu se iskoristiti i za integraciju avionskih sistema 21. veka.

Računarske mreže sa višestrukim instrukcijama višestrukih podataka (MIMD) mogu da sadrže od 16 do 128 čvorova (parova procesor-memorijska) i mogu da izvršavaju 154 MIPS-a/32 čvora. Ova mreža predstavlja vrlo fleksibilnu konfiguraciju koja je pogodna za upravljanje i obradu signala i algoritama veštačke integracije.

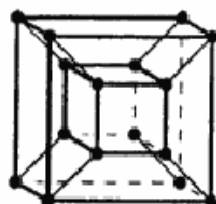
Računarske mreže sa jednostrukim instrukcijama višestrukih podataka (SIMD), karakterišu se jednim emisivnim (»broadcast«) instrukcijskim tokom ka svim čvorovima u toku jednog ciklusa. U okviru ovih mreža koriste se veći broj čvorova (procesora sa memorijom od 64 Kb), a na nivou cele mreže može se izvršiti od 1 do 6 BIPS-a. Ova računarska mreža predstavlja vrlo fleksibilnu konfiguraciju pogodnu za obradu slike i složenih algoritama veštačke inteligencije.

»Systolic« računarske mreže, u suštini, predstavljaju SIMD računarske mreže kod kojih je određen broj čvorova vezan serijski (obično se koristi do 10 serijski vezanih čvorova). Ova računarska mreža omogućava brzinu obrade od 100 MFLOPS-a i pogodna je za obradu signala i slike. Uprošćene šeme navedenih računarskih mreža prikazane su na slici 5.

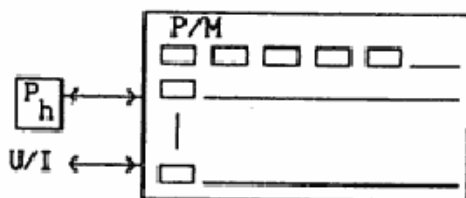
Očekuje se da će se i kod ovih arhitektura računarskih mreža integracija avionskih sistema izvoditi posredstvom jako brzih serijskih magistrala podataka, kao što su fiber-optičke magistrale, i to, najverovatnije, po protokolu koji odgovara standardu 1553B.



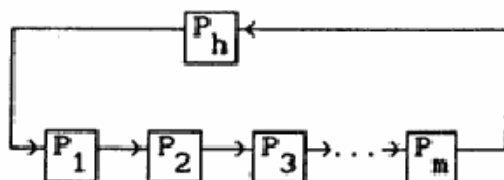
a. Distribuirana mreža



b. MIMD mreža sa 16 čvorova



c. SIMD mreža



d. "Systolic" mreža

Sl. 5 — Arhitekture računarskih mreža sa paralelnim procesiranjem

Zaključak

S obzirom na sve složenije misije koje se zahtevaju od savremenih aviona, tj. sve veći broj funkcija koje se moraju realizovati u realnom vremenu, primena računara u gotovo svim avionskim sistemima i podsystemima postaje imperativ. Zbog toga, današnje, a pogotovo buduće generacije aviona, ne mogu se ni zamisliti bez primene većeg broja računara vrlo visokih performansi. Za razliku od danas najsavremenijih višenamenskih borbenih aviona na kojima se koristi nekoliko desetina procesora, procenjuje se da će se na višenamenskim borbenim avionima naredne generacije (čija pojava se očekuje krajem prve dekade narednog veka) koristiti od 200 do 300 procesora. Ove činjenice nedvosmisleno nam ukazuju da savremeni avioni sve više postaju vrlo složene računarske mreže.

Zbog vrlo strogih zahteva u pogledu pouzdanosti gotovo svih, a posebno

po bezbednost aviona kritičnih podsystema i sistema, proračunu pouzdanosti sistema, podsystema, modula i komponenta, te izboru optimalnih metoda za detekciju i maskiranje ili prevazilaženje grešaka mora se posvetiti izuzetno velika pažnja.

U opštem slučaju, moguće su vrlo različite arhitekture integrisanih avionskih sistema. Međutim, izbor optimalne arhitekture za neku konkretnu aplikaciju, tj. konkretni borbeni avion vrlo je složen i odgovoran zadatak. Izložena analiza prethodno i danas korišćenih arhitektura olakšava izbor optimalne arhitekture za neki konkretni avion. Pored toga, vrlo kratka analiza nekoliko potpuno novih arhitektura integrisanih avionskih sistema sa paralelnim procesiranjem, koje se vrlo intenzivno istražuju u razvijenim zemljama zapada, a namenjene su za narednu generaciju aviona, ukazuje da naša istraživanja što pre moramo usmeriti u tom pravcu.

Literatura:

- [1] Advisory Group Aerospace Research and Development (AGARD), Conference proceedings № 303, Tactical airborne distributed computing and networks, juni 1982.
- [2] Simić B. Dragan, Prikazivanje parametara i stanja u realnom vremenu kod distribuiranih procesorskih sistema aviona, Magistarski rad, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, 1991.
- [3] Department of Defence, USA, MIL-STD-1553B, Aircraft internal time division command/response multiplex data bus 1978.
- [4] Ministère de la Defense, Republique Française, Service central des telecommunications et de l'informatique, DIGIBUS GAM-T-101, English issue, septembar 1992.
- [5] D. Reed Morgan, Air force wright aeronautical laboratories, Avionics laboratory, Wright-Patterson air force base, Pave pace; System avionics for the 21st century, Ohio 1988.

Milorad Bogdanović,
potpukovnik, dipl. inž.

Radarski koordinator protivradarskih raketa

U radu su dati neki parametri za radarski koordinator protivradarske rakete 1, na osnovu njih, konfiguracije koordinatora. Prikazan je i uticaj nekih parametara kod amplitudnih i faznih monoimpulsnih koordinatora.

Uvod

Protivradarska raketa (PRR) pojavila se kao posebna klasa sredinom 1960, kada je uočeno da zemaljski radari imaju ključnu ulogu u sistemima PVO i da je relativno lako napraviti raketu samonavođenu na operativni radar. Jedan od najvažnijih delova PRR je radarski koordinator. Njegovom izбору i konstrukciji poklanja se posebna pažnja [1]. Koordinator PRR mora povezati najnovija dostignuća na području mikrotalasne tehnike i digitalne obrade [2]. Konstrukcija koordinatora treba da obezbedi: širokopojasnost, veliku osetljivost, te sposobnost za tačno trenutno merenje ugla dolaska signala. Kritični parametri za konstrukciju koordinatora su: frekvencijsko pokrivanje, polarizacija, osetljivost, dinamički opseg, širina propusnog opsega, potiskivanje ometajućih parazitnih — produkata, tačnost merenja ugla, ugao vidnog polja, potiskivanje zadnjih latica (izvan polja vidljivosti), otvor antene, te prostor za smještaj [3].

Frekvencijsko pokrivanje određeno je radnim frekvencijskim opsegom radar-skih izvora zračenja. Kako se mogući ciljevi PRR razni PVO sistemi, distribucija frekvencija radarskih izvora zračenja je velika. Gornje frekvencijsko područje ograničeno je J opsegom, dok budućnost ukazuje na potrebu pro-

širenja na K opseg. Specifičnost frekvencijskog pokrivanja koordinatora zavisi od konkretne primene. Većina radara locirana je iznad 5 GHz, dok su ispod 3 GHz locirani stariji radari, te akvizicijski i osmatrački radari većeg dometa. Prema tome, od PRR za paralisanje PVO zahteva se da pokrivaju od A do K opsega, dok se od PRR za samozaštitu zahteva da pokrivaju od G do K opsega.

Osetljivost je određena zahtevom da se radar napada iz sigurne zone po bočnoj ili zadnjoj latici. Taktički je nepraktično i nepoželjno zahtevati napad samo u snop ili blizu glavnog snopa. Nivo snage izvora zračenja, povezan sa bočnim ili zadnjim laticama antene, određuje potrebnu osetljivost i treba da bude >-70 dBm za impulsne signale >-80 dBm za CW signale. Potreban dinamički opseg treba da bude >40 dBm.

Širina propusnog opsega prijemnika određena je međusobno suprotnim zahtevima. Za brzo prekrivanje širokog opsega frekvencija poželjna je velika širina propusnog opsega. Velikom širinom postiže se velika verovatnost zahvata u režimu pretraživanja, te dobre karakteristike protiv širokopojasnih, frekventnoagilnih izvora zračenja. Međutim, uži propusni opseg je povoljniji zbog bolje osetljivosti prijemnika i bolje selektivnosti cilja, a i zbog mi-

nimiziranja gustoće vanjskih pozadinskih signala. Kompromis između ovih dilema je konstrukcija koordinatora s više opcija u širini propusnog opsega (široki $B > 250$ MHz, uski $B < 50$ MHz). Logika digitalne obrade signala s ugrađenim kompjuterom treba da omogućiti izbor prikladne širine propusnog opsega, koja se zasniva na karakteristikama signala izvora zračenja, gustoći pozadinskih signala, te režima rada koordinatora.

Potiskivanje smetajućih proizvoda određeno je, uglavnom, ukupnom gustinom izvora zračenja u radnom frekvencijskom opsegu i zavisi od scenarija i primene. U nekim frekvencijskim opsezima, na srednjim i velikim visinama leta, uz okruženje s velikom gustoćom izvora zračenja, nemoguće je porast nivoa korisnog signala, pa je zahtev za potiskivanje smetajućih proizvoda značajan. Naime, potrebno je da bude > 40 dB. U drugim primenama, uz malu gustoću izvora zračenja, kao što je scenarij rata na moru i pri letu na malim visinama veći su nivoi korisnog signala, pa zahtev za potiskivanje smetajućih proizvoda nije presudan.

Merenje upadnog ugla prijemnog signala treba da bude trenutno i tačno. Zahteva se da tačnost merenja ugla bude $1-3^\circ$ blizu linije viziranja (LV) i $10-20^\circ$ izvan LV unutar vidnog ugla $> 30^\circ$ i uz potiskivanje zadnjih latica izvan polja vidljivosti > 30 dB. Koordinator prati cilj i daje korekcije na autopilot, obezbeđujući da je PRR konstantno usmerena prema izvoru zračenja. Upravljanje putanjom rakete obično je u dve ravni i to u horizontalnoj ravni ili ravni ugla skretanja i vertikalnoj ravni ili ravni ugla nagiba. Ove dve ravni su odvojene, pa postoje dva razdvojena ali slična sistema za vođenje. Ugovori senzori su nezavisni od talasnog oblika koje koristi izvor i mogu biti s trenutnom i sekvencijalnom obradom.

Sistemi sa trenutnom obradom ili monoimpulsnom obradom izvide greš-

ku iz senzora trenutno ili za vreme jednog impulsa. Prijemnih kanala ima više (najmanje dva, najviše četiri) i koriste se za dobijanje merenog pravca. Ovakva metoda naziva se *monoimpulsnom metodom*, jer bilo koji prijemni signal daje kompletan podatak za praćenje po uglu. Monoimpulsni metod obezbeđuje dobro praćenje, ali mu je nedostatak složenost sistema.

Sekvencijalno pretraživanje zahteva modulaciju primljenog signala i generiranje jednog signala greške za korekciju pozicije PRR. Potreban je samo jedan kanal. Amplituda i faza modulacije koriste se za određivanje greške. Potrebno je nekoliko ciklusa skaniranja da bi se dobio signal greške. Metoda je nešto jednostavnija jer koristi samo jedan snop čiji je maksimum uglavnom pomaknut u odnosu na os antene i rotira oko antenske ose, opisujući konus, pa se metoda naziva *metoda s konusnim skaniranjem*. Sekvencijalnost metode čini metodu ranjivom u odnosu na jednostavne metode elektronskih ometanja, pa je za PRR monoimpulsni metod skoro uvek pogodniji u odnosu na konusno skaniranje.

Navedeni parametri predstavljaju »tipični« sistem PRR. Međutim, kod specifične primene zahteva će se varijacija gornjih vrednosti. U radu se razmatraju neka rešenja koordinatora PRR i neki parametri.

Monoimpulsni koordinatori

Monoimpulsne metode merenja ugla obezbeđuju tačno i trenutno merenje ugla. Da bi se obezbedio široki prostor pokrića izvan LV, obično se zahteva širina vidnog polja $\pm 30^\circ$. To se može realizovati ili širokim snopom fiksno učvršćene antene ili uskim pomičnim snopom. Izbor jednog od ova dva načina zavisi, uglavnom, od cene. Zahteva se dobro potiskivanje signala izvan vidnog polja da bi se osigurala jednoznačna detekcija lokacije cilja i

ispravno samovođenje rakete. Moguće su brojne alternativne konfiguracije koordinatora. Sve se susreću s navedenim zahtevima. Međutim, postoji nekoliko komponenti koordinatora koji su kritični u pogledu cene i realizacije, a to su: širokopojasna antena, mikrotalasni sklop za formiranje signala sume i razlike; širokopojasni mešači koji rade od K do J opsega; širokopojasni lokalni oscilatori sposobni za brzo, linearno jednodnažno podešavanje frekvencije od B do K opsega; širokopojasna malošumna pojačala sposobna za J-K opseg; integralna logaritamska pojačala velikog dinamičkog opsega za rad na video području ili na MF 200—300 MHz, te moduli za digitalno procesiranje.

Višeoktavni širokopojasni koordinatori antene treba da zadovolji suprotne zahteve, kao što su: polarizacija, pojačanje, širina snopa, tačnost smeranja, složenost, te najniža i najviša frekvencija.

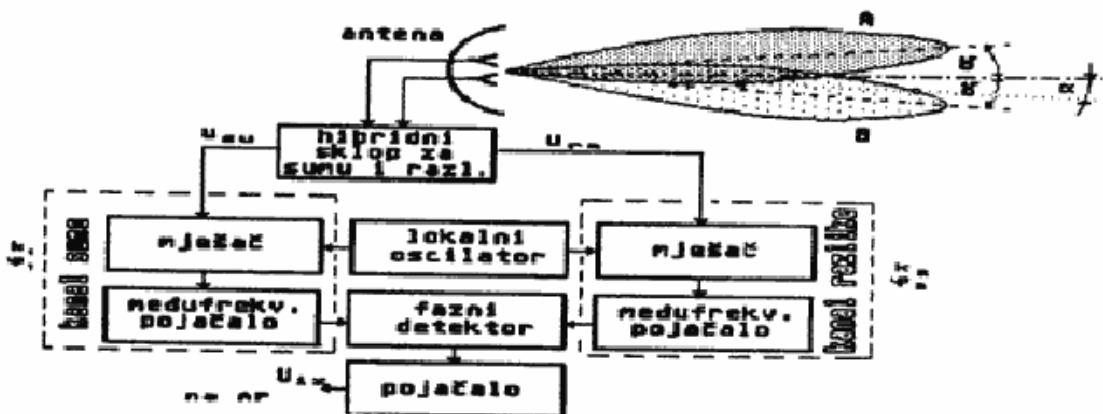
Prvi kritični parametar je polarizacija, jer radarski predajnici koriste široki oblik polarizacija. To se dodatno

za bilo koji primljeni impuls, što omogućuju monoimpulzni principi s odgovarajućim antenama. Da bi se sačuvala širina snopa i karakteristika usmeranja, poželjna je frekvencijski nezavisna antena.

Sledeći kritični parametar je otvor antene, jer za najniže zahtevane frekvencije prednji istureni otvor je manji od talasne dužine.

Antenski sistem za amplitudni monoimpulzni koordinator (A-MIK) ima jedan antenski otvor za dva ili više sasvim blizu postavljena radijatora. Svaki od blizu postavljenih radijatora ima dijagram zračenja koji je pomećen za ugao γ u odnosu na os antene (ravan signalni pravac RSP). Dijagram A je slika u ogledalu dijagrama B oko ravno signalnog pravca (RSP). (slika 1a).

Svi dolazni signali unutar širine dijagrama, osim onih koji dolaze duž LV, daju na izlazu antena signale sa različitim amplitudama. Antena A-MIK ima zakrivljeni reflektor koji zauzima znatan deo prostora u kojem skanira



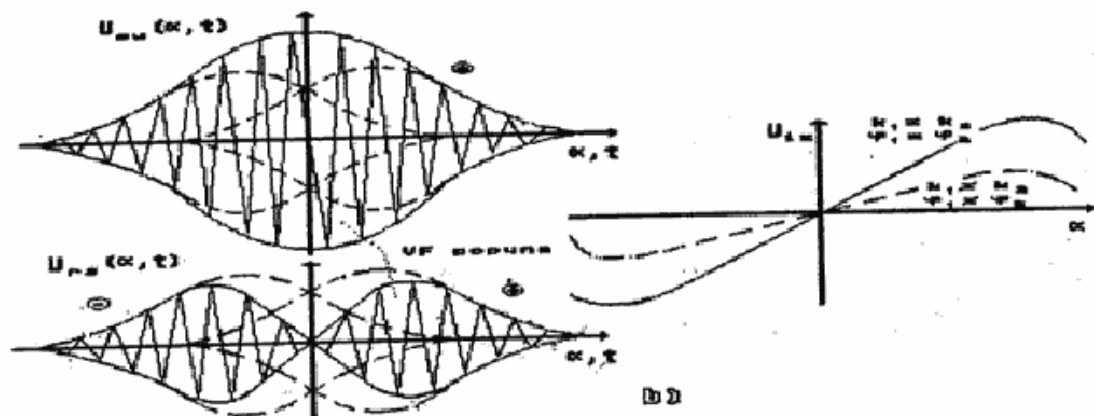
Sl. 1a

komplikira uobičajenim zahtevom da koordinatori radi po bočnim i zadnjim laticama izvora zračenja gde je polarizacija promenljiva i nedefinirana. Poželjno je imati antenski sistem koordinatora s raznolikom polarizacijom. Pored toga, zahteva se informacija o uglu,

(unutar ugla $\pm 30^\circ$). Da bi se omogućilo ovo kretanje, prečnik reflektora treba da bude manji od prečnika rakete i iznosi oko 75% unutrašnjeg prečnika rakete. Najjednostavniji širokopojasni A-MIK koristi snopove pojedinačnih dvozvajnih planiranih spiralnih ante-

na. Blok-shema A-MIK sa sumom (S) i razlikom (R) data je na slici 1a. VF signali i njihove pridružene obvojnice, koji dolaze sa izlaza S i R komparatora (sl. 1b), prebačene su s mešačem na

teristikom može se izvesti sa dve ili više reflektorskih antena koje su razmaknute za nekoliko talasnih dužina. Svaka antena proizvodi identičan dijagram zračenja, koji su, svaki za sebe, sime-

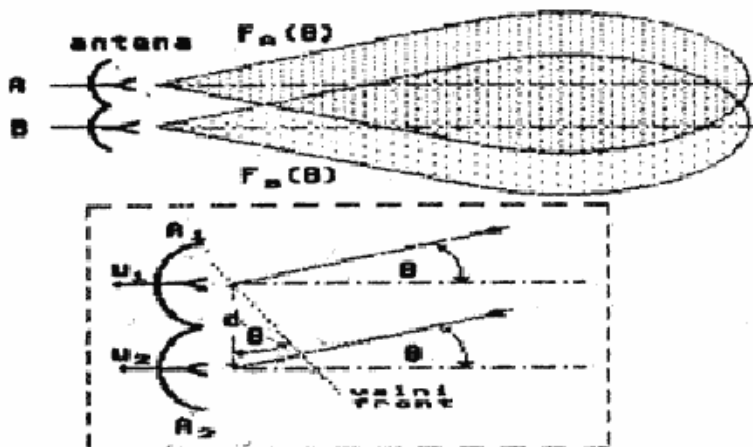


Sl. 1b

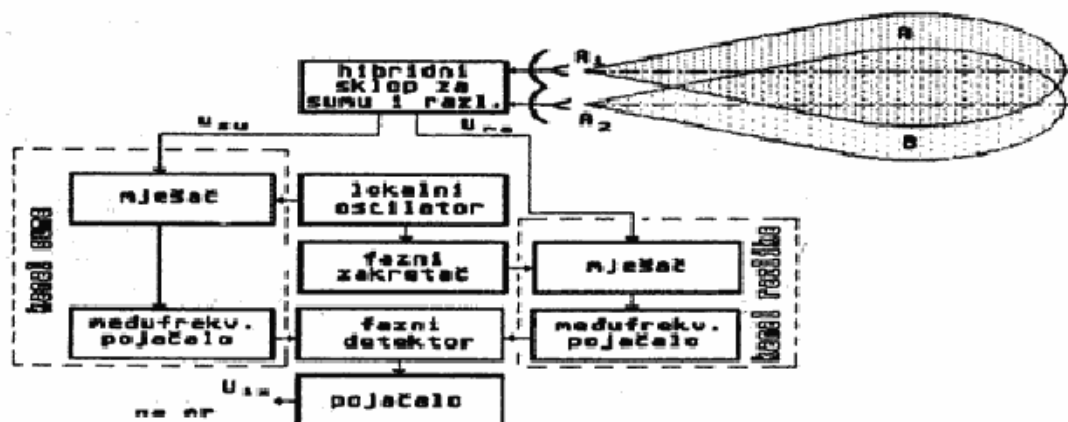
MF pojačalima i procesiraju u odgovarajućim detektorima i kolima za poboljšanje monoimpulsne rezolucije.

Kod primene, gde se traži veća uglovna tačnost i veća stabilnost gonio-metarske strmine i gde je postojeći prečnik otvora kod najnižih radnih frekvencija manji od jedne talasne dužine, prikladniji je fazni monoimpulsni koordinator. Antenski sistem za fazni monoimpulsni koordinator (F-MIK) s potrebnom amplitudnom i faznom karak-

terični oko svoje LV (sl. 2a). Kako su pojedinačne LV paralelne, dijagrami zračenja u dalekom polju svake od antena se skoro poklapaju, dajući jednaku amplitudu signala u svakoj anteni za ciljeve unutar njihove širine snopa. Međutim, postoji vremensko ili fazno kašnjenje za sve povratne signale koji su izvan LV ($\Theta = 0^\circ$). Bazni koncept fazne monoimpulsne metode prikazan je na slici 2a. U ovom konceptu uglovna informacija se dobije preko relativnog

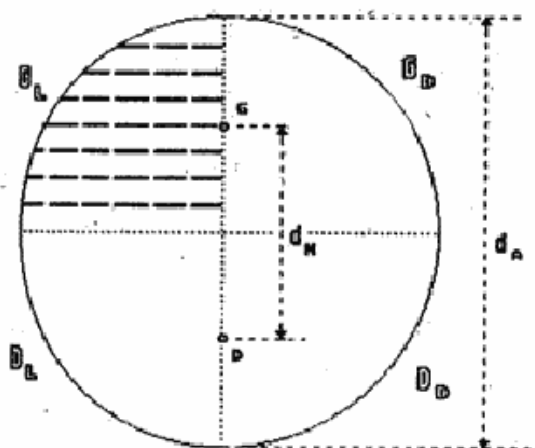


Sl. 2a



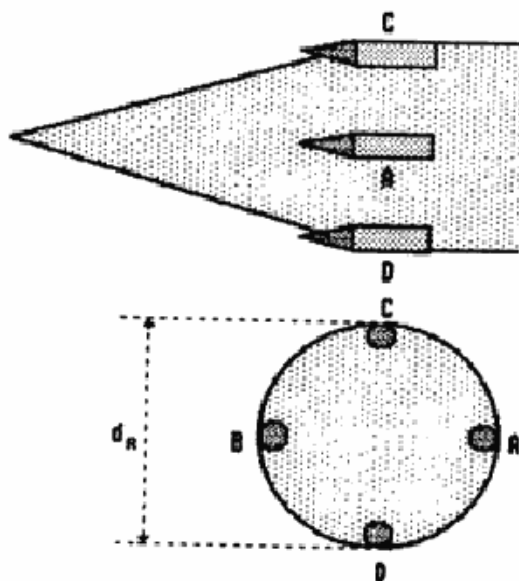
Sl. 2b

vremena dolaska jednog impulsa na par antena. To se lako postiže merenjem relativne faze signala između antena u paru. Antena F-MIK sa pridruženim sklopovima za formiranje S i R može se izvesti na tankoj ravnoj ploči u mikrotrakastoj tehnici. Ovakva antena zahteva manje prostora za smeštaj i skeniranje u odnosu na antenu A-MIK. Njen prečnik je većih dimenzija i iznosi oko 85% prečnika rakete, što daje bolju uglovnu rezoluciju.



Sl. 3

Pokretna verzija antene za F-MIK je, obično, planarni antenski niz sa $\lambda/2$ elementima koji su postavljeni na kruž-



Sl. 4

noj ravnoj ploči. Za F-MIK u dve ravni niz je podeljen u četiri kvadranta (sl. 3). Svaki par kvadranta ekvivalentan je jednoj od antena u F-MIK. Fazni centar gornjeg para je u težištu te površine. Slično je za fazni centar donjeg para. Razmak između faznih centara daje bazu dr.

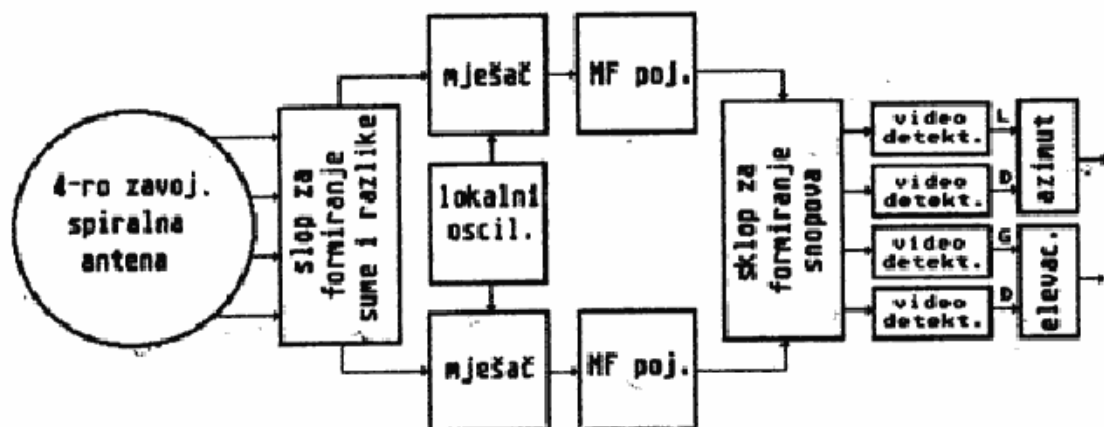
Kako je raspoloživi otvor za primenu koordinatara ograničen, pokušao se povećati raspoloživi otvor lociranjem

antena koordinatora na telo rakete. Aerodinamički i strukturni zahtevi diktirali su da su antene fiksno vezane za telo rakete. Uglovni senzor, koji koristi antene montirane spolja naziva se fazni interferencijski koordinator (FIK). Antene treba da obezbede pokriće zatevanog vidnog ugla. FIK ima prednost u odnosu na F-MIK, zato što koristi spoljni promer tela rakete, pa može dati bolju uglovnu rezoluciju. Antena jednog FIK za dve ravni vođenja sastoji se od dva para pojedinačnih antena učvršćenih oko tela rakete, slika 4. Antene su longitudinalno usmerene i imaju mali aerodinamički otpor. Svaka antena ima mali dobitak (7-10dB) i pokri-

Vidi se da se sistemi monoimpulsnih koordinatora (A-MIK i F-MIK) razlikuju, uglavnom, u konfiguraciji antene. Komparator i prijemnik mogu biti slični kod A-MIK i kod F-MIK, izuzev MIK s četverozavojnom antenom gde je u prijemniku potreban sklop za formiranje snopova. U nastavku su prikazani utjecaji faznog pomaka u pretkomparatoru i amplitudne asimetrije antena u A-MIK i F-MIK.

Neki parametri A-MIK

Pretpostavimo da su dijagrami usmerenosti A-MIK u jednoj ravni oz-



Sl. 5

va ugao od $\pm 30^\circ$. FIK meri ugao u odnosu na vlastitu os.

Optimum u korišćenju ograničenog raspoloživog otvora prednjeg sektora PRR postiže se četverozavojnom spiralnom antenom [4]. Značajna karakteristika ove antene jeste da je: frekvencijski nezavisna, da ima odlične polarizacijske karakteristike, da generira sve zahteve goniometra sa samo jednom antenom i da zahteva samo dva prijemna kanala za obradu. Ova spiralna antena našla je primenu u koordinatorima kod PRR SHRIKE i STANDARD. Slika 5 prikazuje shemu koordinatora sa četverozavojnom spiralnom antenom.

načeni sa A i B kao na slici 1a i da su opisani izrazima 1 i 2. Izrazi sadrže antenske parametre ϵ — širina snopa i Ψ — razdvojenost snopova.

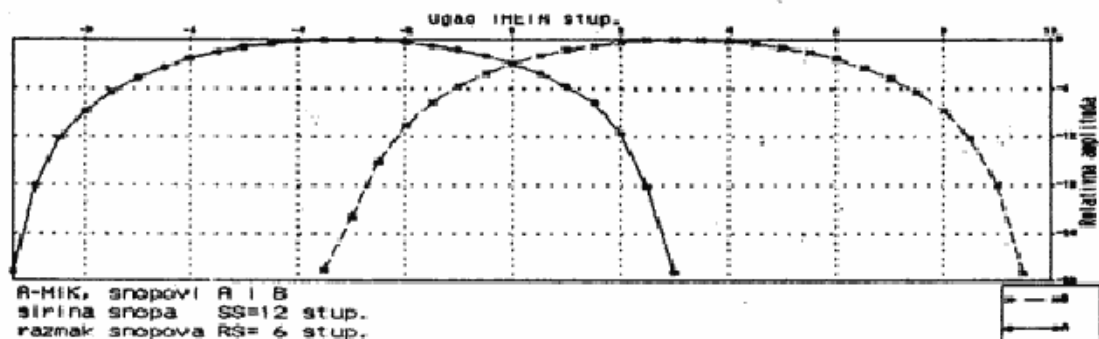
$$A = \sin \left[\frac{\pi \Theta}{\epsilon} + \frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{\Psi}{\epsilon} \right) \right] \quad (1);$$

$$-1/2 (\epsilon + \Psi) \leq \Theta \leq 1/2 (\epsilon - \Psi)$$

$$B = \sin \left[\frac{\pi \Theta}{\epsilon} + \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\Psi}{\epsilon} \right) \right] \quad [2]$$

$$-1/2 (\epsilon + \Psi) \leq \Theta \leq 1/2 (\epsilon - \Psi)$$

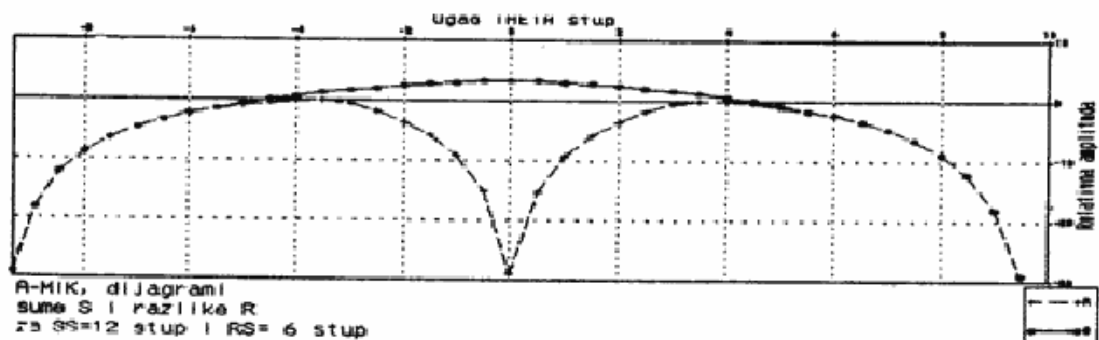
gde je Θ upadni ugao dolaznog signala.



Sl. 6

Ovi izrazi su nacrtani na slici 6 za SS-širinu snopa $\varepsilon = 12^\circ$ i RS — razmak snopova $\Psi = 6^\circ$. Ovojnica sume je zbroj dijagrama A i B, a ovojnica razlike je razlika dijagrama A i B, što je nacrtano na slici 7.

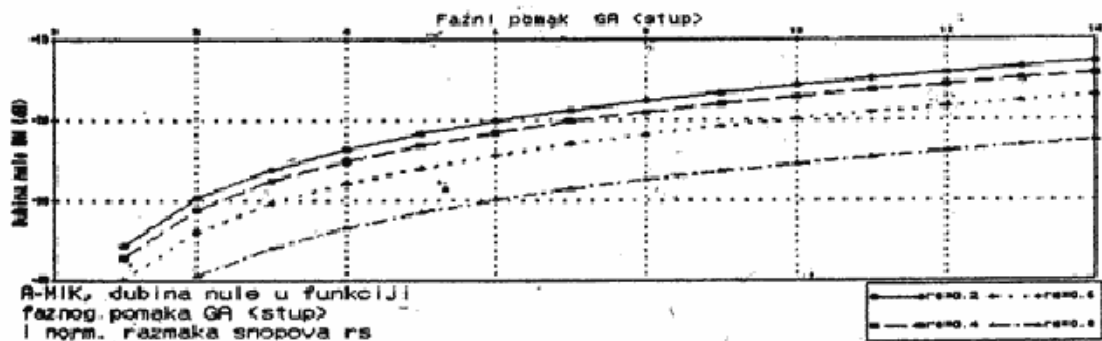
y u radiatoru, reflektoru, napojnomvodu i komparatoru (u nastavku fazni pomak u pretkomparatoru), naponi sa antena A i B neće se potpuno poništiti na LV, pa i nulti nivo dijagrama razlike neće biti nula.



Sl. 7

Pretpostavimo da je signal sa jednakom fazom primljen sa obe antene u blizini nulte pozicije ($\Theta = 0^\circ$). Međutim, kao rezultat nekog faznog pomaka

Dubina nule (DN) definiše se kao odnos nivoa u nuli i nivoa na vrhu dijagrama razlike (sl. 7). Familija krivulja na slici 8 prikazuje uticaj faznog



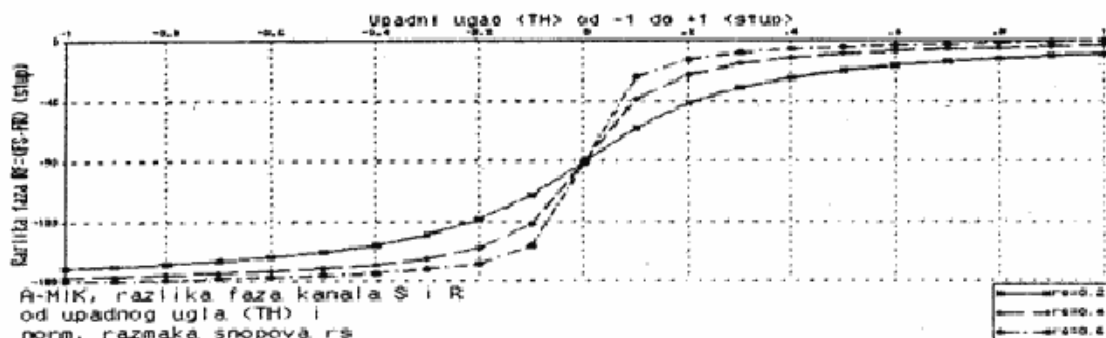
Sl. 8

pomaka γ na dubinu nule uz neke vrednosti rs-normiranog razmaka snopova (Ψ/ε) = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8.

Budući da će dubina nule uticati na preciznost merenja ugla, poželjno je, koliko je moguće, sačuvati dubinu nule što dublje i što strmije. Slika 8 prikazuje da za dobru dubinu nule fazni pomak pretkomparatora mora da bude mali. Za zadanu vrednost faznog pomaka dobije se bolja DN uz veći razmak snopova (Ψ/ε).

$\Psi/\varepsilon = 0.2; 0.4; 0.6$. Slika 10 prikazuje razliku faza za $\varepsilon = 5$, $\Psi/\varepsilon = 0.4$ i neke fazne pomake $\gamma = 0; 5; 10$. Vidi se da se fazna razlika signala menja oštro kada nema faznog pomaka u pretkomparatoru i postaje postepenija (sa manjom strminom) sa porastom γ ili uz manji razmak snopova (Ψ/ε).

Ranije je utvrđeno da se nulta tačka pojavljuje na LV antene ($\Theta = 0^\circ$) za simetričan antenski dijagram, kada su naponi sa obe antene jednaki, što us-



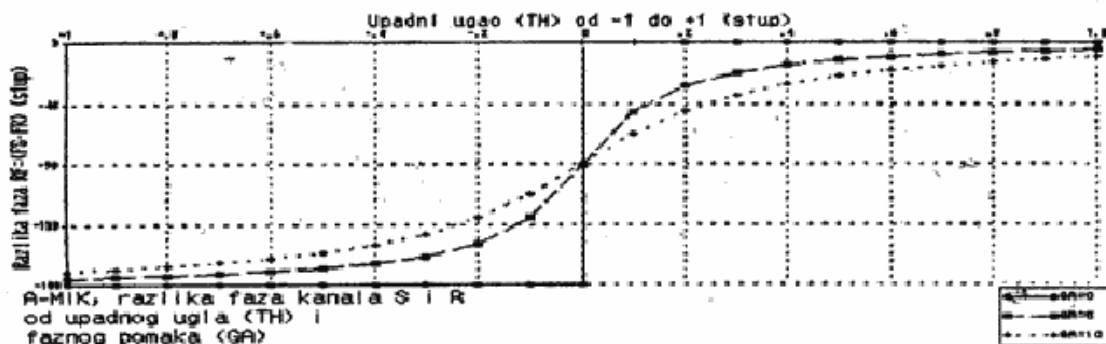
Sl. 9

Zbog faznih pomaka pretkomparatora dolazi do druge pojave — pomaka promene fazne razlike ($\alpha_s - \alpha_r$), odnosno do pomaka LV antene. Signali S i R uspoređuju se u faznom detektoru prijemnika. Promena faze je indicacija o položaju antene. Bilo koji pomak ove promene faze odgovara nekoj grešci u tačnom očitavanju položaja antene. Slika 9 prikazuje razliku faza ($\alpha_s - \alpha_r$), za fazni pomak $\gamma = 5^\circ$, širinu snopa $\varepsilon = 5^\circ$ i neke norm. razmake snopova

lovjava naponsku simetričnost između A i B kanala. Neka nivoi signala nisu jednaki (naponska nesimetrija), što može izazvati veće gušenje u jednom kanalu nego u drugom. Izrazom (3) opisan je ugao Θ , koji predstavlja pomak LV zbog nesimetričnosti napona:

$$\Theta_s = \frac{\varepsilon}{\pi} \tan^{-1} \frac{1 - NN}{1 + NN} \cot \frac{\pi}{2} \frac{\Psi}{\varepsilon} \quad (3)$$

gde $NN > 1$ predstavlja gubitke u relativnom naponu kod slabijeg kanala.



Sl. 10

Pomak LV prikazan je na slici 11 za razmake snopova od $\Psi/\varepsilon = 0.2; 0.4; 0.6$. Može se videti da za neku naponsku nesimetričnost manji pomak LV je uz veći rs — uglovni razmak snopova (Ψ/ε).

Neki parametri F-MIK

Na slici 2a prikazana je konfiguracija antene faznog monoimpulsnog komparatora (F-MIK) i uopštena situacija radarskog signala koji dolazi pod nekim uglom Θ u odnosu na ravninu otvora antene. Signal koji dolazi na antenu A kasni u odnosu na signal antene B. Ovo kašnjenje izazvano je dužinom $S = d \sin \Theta$ i unosi kašnjenje faze $\Phi = 2\pi (d/\lambda) \sin \Theta$. Naponi na antenama A i B mogu se opisati sa:

$$A = K_s \sin(\omega_0 t); \quad B = K_r \sin(\omega_0 t + \Phi) \quad (4)$$

gde je K — konstanta koja je određena predajnom snagom, daljinom, radar-skom površinom cilja i parametrima antene.

Signali kanala sume i razlike su:

$$U_s = K_s [\sin(\omega_0 t) + \sin(\omega_0 t + \Phi)] = K_s \sin(\omega_0 t + \alpha_s) \quad (5)$$

$$U_r = K_r [\sin(\omega_0 t + \Phi) - \sin(\omega_0 t)] = K_r \sin(\omega_0 t + \alpha_r) \quad (6)$$

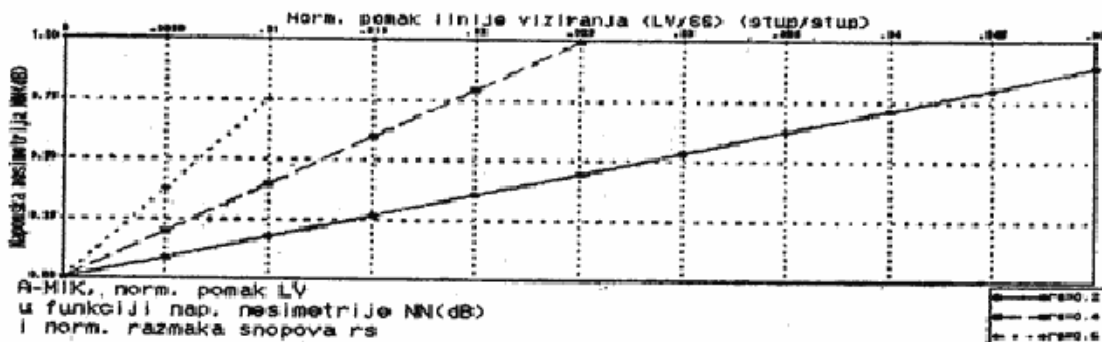
gde su: K_s i K_r — amplitude kanala S i R.

$$K_s = K_1 \sqrt{(1 + \cos \Phi)^2 + (\sin \Phi)^2} = 2K_1 \cos(1/2\Phi) \quad (7)$$

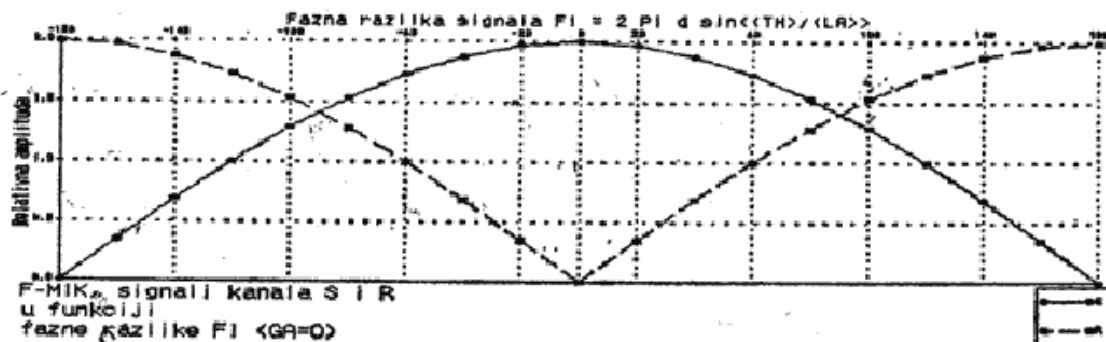
$$K_r = K_1 \sqrt{(\cos \Phi - 1)^2 + (\sin \Phi)^2} = 2K_1 \sin(1/2\Phi) \quad (8)$$

a: α_s i α_r — pripadne faze

Na slici 12 nacrtane su relativne amplitude kanala sume i razlike kao funkcije faznog kašnjenja Φ .



Sl. 11



Sl. 12

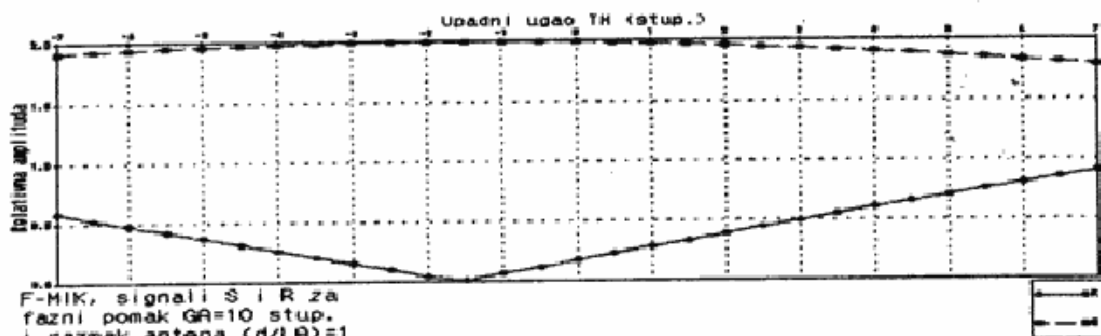
Fazna promena ($\alpha_s - \alpha_r$) za $\gamma = 0$ događa se na LV ili kod $\Theta = 0^\circ$ ili $\Phi = 0^\circ$, što je isto kao i kod A-MIK, (sl. 10). Ako se pretpostavi da u napajanju antene B postoji *fazni pomak* γ , fazna razlika sume i razlike ($\alpha_{s1} - \alpha_{r1}$) događa se kada je $\Phi = -\gamma$, a ne kod $\Phi = 0^\circ$. To će izazvati promenu ugla LV.

Amplitude kanala S i R za neki fazni pomak γ su:

$$\begin{aligned} K_{s1} &= 2K_1 \cos[1/2(\gamma + \Phi)]; \\ K_{r1} &= 2K_1 \sin[1/2(\gamma + \Phi)] \end{aligned} \quad (9)$$

položaj nule kanala R ili fazne promene za fazni pomak γ zavisi od veličine $2\pi d/\lambda$. Iz izraza $\Phi_0 = -\gamma$ dobije se $\Theta_0 = \gamma/(2\pi d/\lambda)$. Da bi se pokazao uticaj normiranog razmaka antena (d/λ) na položaj nule kanala R i na položaj fazne promene, na slici 14 dat je dijagram za vrednosti (d/λ) = 1; 5; 10; 15; 20. To pokazuje da su u F-MIK razmak antena (d) i valna dužina (λ) važni parametri u određivanju grešaka sistema.

Ponovo pretpostavimo slučaj *naponske nesimetrije* između kanala A i



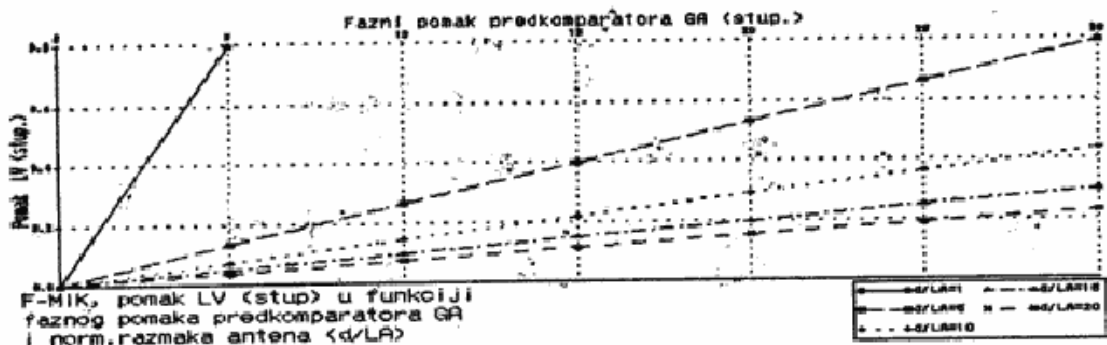
Sl. 13

Da bi se našao položaj nule kanala R, potrebno je izraz (9) izjednačiti sa nulom i rešiti po Φ , što daje: $\Phi_0 = -\gamma$. Budući da je $\Phi_0 = -\gamma$ u nuli, može se videti da je nula amplitude kanala R pomaknuta za isti iznos kao i tačka fazne promene. Pomak nule amplitude signala razlike vidi se na slici 13 (za $\gamma = +10^\circ$). Isto tako, može se videti da

B. Neka je napon u kanalu A reduciran faktorom $L < 1$. Odgovarajući izrazi za F-MIK se menjaju, pa su amplitude kanala R i S:

$$\begin{aligned} K_{r2} &= K_1 \sqrt{(\cos\Phi - L)^2 + (\sin\Phi)^2}; \\ K_{s2} &= K_1 \sqrt{(L + \cos\Phi)^2 + (\sin\Phi)^2} \end{aligned} \quad (10)$$

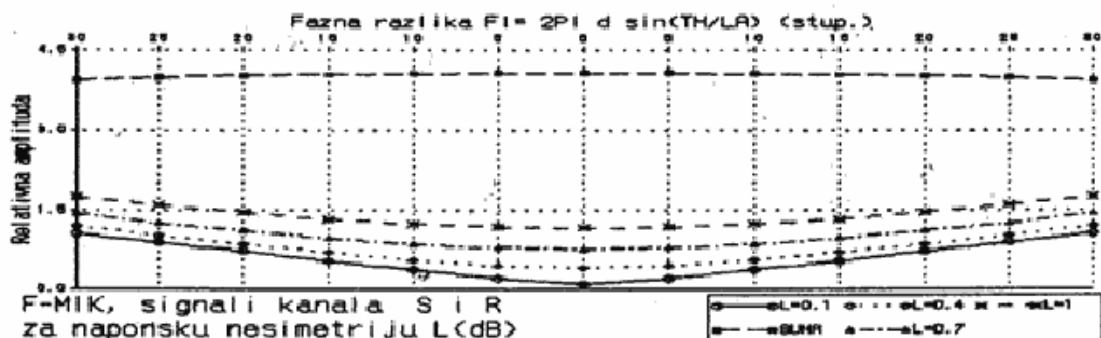
Dijagram ovih izraza prikazan je na slici 15 za naponske nesimetričnosti



Sl. 14

$L=1.0\text{dB}$, 0.4dB , i 0.1dB . Amplituda kanala sume menja se neznatno. Dobro se vidi »popunjavanje« nule kanala razlike porastom L .

Iz prethodnog razmatranja o merenju ugla uočava se da pomak LV izaziva u A-MIK naponska nesimetrija kanala, a kod F-MIK fazni pomak γ u



Sl. 15

Budući da stvarna dubina nule varira sa parametrima oblikovanja antene, ove krivulje samo pokazuju promenu u dubini nule u zavisnosti od promene nesimetričnosti napona. Fazna razlika ($\alpha_2 - \alpha_1$) u zavisnosti od naponske asimetrije L slična je faznoj razlici A-MIK s faznim pomakom pretkomparatora γ . Umesto oštre fazne promene kod $\Phi = 0$, promena je postepenija, ako raste naponska asimetrija L (vidi sl. 10).

Zaključak

U radu su dati neki zahtevi koji se postavljaju širokopojasnim koordinatorima PRR. Koristeći skup ovih zahteva, data su neka rešenja koordinatora polazeći od jednostavnih monoimpulsnih antena do četverozavojne spiralne antene. Izbor tipa antene i tipa prijemnika, u najvećoj meri, zavisi od karakteristika upotrebljene rakete (kao što su promer prednjeg otvora rakete), izvora zračenja koji treba da je pokriven (posebno niže frekvencije), te gustoće izvora zračenja.

pretkomparatoru. Smanjenje dubine nule kanala razlike izazivaju u A-MIK fazni pomak γ u pretkomparatoru, a u F-MIK naponska nesimetrija. Postepenu promenu fazne razlike ($\alpha_2 - \alpha_1$) izaziva u A-MIK fazni pomak γ , a u F-MIK naponska nesimetrija L . U A-MIK širina snopa ϵ i razdvojenost snopova Ψ , utiču na vrednost dubine nule i pomak LV. Unutar ograničenja poželjno je imati veći odnos Ψ/ϵ i manji ϵ . U faznom MIK razmak između antena d , radna talasna dužina λ , utiču na vrednost dubine nule i na pomak LV. Unutar ograničenja poželjno je imati veći odnos d/λ i takvu širinu snopa da se obezbedi jednoznačnost merenja ugla. Dijagrami sume i razlike za A-MIK i F-MIK su slični, pa obrada informacije za oba sistema može biti slična izuzev MIK s četverozavojnom spiralnom antenom gde je potreban dodatni sklop za formiranje snopova.

U radu nisu posmatrane obrade signala. Obrada signala kompleksnijih izvora zračenja u znatnoj meri određuju karakteristike koordinatora.

Literatura:

- [1] Berman R., Guston B.: »ROKET & MISSILES OF WORLD WAR III« BISON BOOK, 1986
- [2] Dan Boyle: »ANTI-RADAR MISSILES« Interavia 11/1982.
- [3] McLendon R., Turner C.: »Broadband Sensors for Lethal Defense Supression« MICROWAVE JOURNAL, Sept. 1983.
- [4] Joseph A. Mosko: »An Introduction to Wideband, Two-Channel Direction-Finding Systems«, Part I, Part II. MICROWAVE JOURNAL., Feb. 1984. 1 March 1984.

Dr Stefan Janković,
dipl. inž.
Miroljub Jovanović,
dipl. inž.

Metodologija dijagnostike nedozvoljenih vibracija na primeru jednog tipa helikopterske gasne turbine

Važna faza ispitivanja, novih ili remontovanih, gasoturbinskih motora (GTM) na ispitnoj stanici jeste snimanje nivoa frekventnog spektra vibracija. Prekoračenje dozvoljenog nivoa vibracija direktno utiče na pouzdanost i vek rada GTM.

Poznavanje konstrukcije GTM, opreme za ispitivanje i optimizacije programa ispitivanja, osnovni su preduslovi za funkcionalnu dijagnostiku vibracija GTM.

U radu je prikazana originalna metodologija dijagnostike nedozvoljenih vibracija, na jednom tipu helikopterskog GTM. Ova metodologija može se uspešno primeniti i na druge tipove GMT.

Uvod

Na nekoliko gasoturbinskih motora (GTM) ASTAZOU XIV M, sa helikoptera GAZELLE SA-342, prilikom serijskih ispitivanja, registrovana je pojava nedozvoljenog nivoa vibracija.

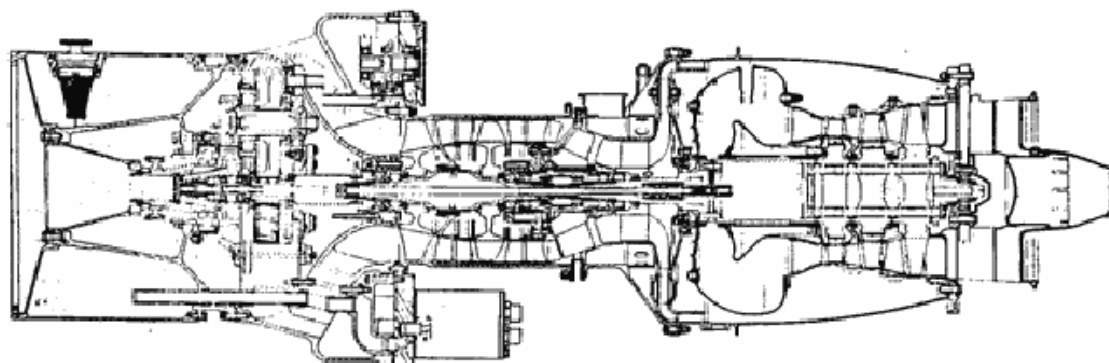
Ispitivanja su vršena na univerzalnoj ispitnoj stanici (UIS) u VZ »MOMA STANOJLOVIĆ«, koja je, po posebnom programu, verifikovana od proizvođača motora ASTAZOU XIV M.

Za dijagnosticiranje uzroka nedozvoljenih vibracija urađen je program, po kome je uspešno pronađen i otklonjen uzrok pojave nedozvoljenih vibracija na GTM ASTAZOU XIV M. Navedeni GTM, kao složeni dinamički sis-

tem koji se sastoji od velikog broja, međusobno zavisnih elemenata i pod-sistema, prikazan je na slici 1.

Teoretske osnove dijagnostike vibracija gasoturbinskog motora

Vibracije su mehaničko oscilovanje koje se, obično, definiše kao reakcija dinamičkog sistema na pobudne sile. One zavise od broja pobudnih sila, njihove veličine, karaktera i mesta delovanja. Pri radu GTM stvaraju se unutrašnje dinamičke sile i momenti, koji su uslovljeni njegovom konstrukcijom. Spoljašnje pobudne sile na GTM rezultat su sprege sa letelicom. Unu-



Sl. 1 — Uzdužni presek gasne turbine ASTAZOU XIVM

trašnje i spoljašnje pobudne sile su, u osnovi, mehaničkog ili aerodinamičkog porekla. Ponašanje GTM pod dejstvom ovih sila može se analizirati na osnovu spektra vibracija koji predstavlja skup prostih harmonijskih kretanja, na koje se može razložiti složeno oscilovanje različitih tačaka motora.

Zadaci dijagnostike GTM mogu se podeliti na dve osnovne grupe

Prvu grupu sačinjavaju zadaci određivanja tehničkog stanja motora i njegovih elemenata, uz što ranije otkrivanje neispravnosti. Cilj ovih zadataka je ostvarenje zahtevane pouzdanosti rada GTM i smanjenje troškova vezanih za otklanjanje neispravnosti. Zadaci prve grupe rešavaju se pri ispitivanjima na ispitnim stanicama i u eksploataciji.

Drugu grupu zadataka čini ocena stanja vibracija motora i njegovih sklopova radi sprečavanja otkaza izazvanih vibracijama.

Spektar vibracija GTM u radu obuhvata, praktično, ceo opseg frekvencija zvuka i podeljen je prema frekvencijama na: mehaničke vibracije rotora, vibracije rotora aerodinamičkog porekla, vibracije izazvane akustičnim šumom (bukom) i vibracije nastale u zupčastim prenosima, ležajevima i agregatima.

Rotor turbokompresora je osnovni i najvažniji izvor vibracija na GTM. Oscilatorno kretanje tačke kućišta GTM, u bilo kom pravcu, može se prikazati izrazom:

$$X(t) = \sum_{n=1/m}^n A_i \cos(i \omega_i t - \varphi_i) \quad (1)$$

gde je:

- A_i — amplituda pomeranja i -tog harmonika,
- i — redni broj harmonika,
- n i m — celi pozitivni brojevi,

- $\omega = 2\pi f$ — ugaona frekvencija obrtanja rotora,
- φ_i — faza i -tog harmonika.

Najuticajnija komponenta u navedenom izrazu pripada prvom harmoniku.

Amplituda vibracija zavisi od statičke i dinamičke neuravnoteženosti rotora. Posledica neuravnoteženosti su sile i momenti koji izazivaju vibracije rotora i GTM kao celine. Neuravnoteženost nastaje usled: netačnosti izrade delova i sklopova rotora i statora, nehomogenosti materijala, elastičnih i zaostalih deformacija nastalih pri sastavljanju GTM, netačnosti tehnologije uravnotežavanja, itd. Autori su se uverili da je poželjno izvršiti uporedna ispitivanja dinamičke neuravnoteženosti rotora na dva različita uređaja, radi utvrđivanja tačnosti opreme, alata i tehnologije uravnotežavanja. Ovakvim unakrsnim ispitivanjem, znatno se dobija na efikasnosti i pouzdanosti otkrivanja uzroka neuravnoteženosti rotora.

U toku rada GTM, neuravnoteženost rotora se menja pod dejstvom sila pobude, temperaturskih deformacija i istrošenja (habanja) delova. Ovi faktori utiču na: deformaciju osa rotora turbine i kompresora, pojavu nedozvoljene saosnosti rotora, nedozvoljene tačnosti obrtanja (»bacanje«) spojne čaure rotora, povećanje zazora u ležajevima, itd. Na kraju, sve ove pojave dovode do promene nivoa i pravca delovanja inercijalnih sila i momenata od neuravnoteženih masa rotirajućih sklopova.

Vibracije koje stvara debalans mase pojavljuju se u spektru snimljenih vibracija na frekvenciji obrtanja rotora. Za GTM ASTAZOU XIV M to je približno frekvencija od 716 Hz, zbog rada na konstantnom broju obrtaja ($n = 43.000 \text{ min}^{-1}$). Na GTM sa više rotora, koji kinematski nisu povezani, stvaraju se harmonici sa kombinovanim frekvencijama.

Nestabilnost broja obrtaja i međusobni uticaj sa drugim izvorima vibra-

čija dovodi do modulacije vibracionih signala nastalih na nosećoj frekvenciji rotora. Poznata su tri osnovna tipa modulacije: amplitudna, frekventna i fazna. Kod amplitudne modulacije, karakteristična je pojava tzv. »bočnih frekvencija«: $\omega + \Omega$ i $\omega - \Omega$.

gde je:

ω — brzina obrtanja rotora,

Ω — frekvencija modulacije.

Kod frekventne i fazne modulacije, osim navedenih frekvencija, mogu nastati oscilovanja i sa frekvencijama $\omega \pm 2\Omega$; $\omega \pm 3\Omega$, itd. Mada je pojava modularnog oscilovanja nedovoljno izučena, smatra se da je tome osnovni uzrok sistem automatske regulacije goriva, koji ne održava konstantnu brzinu obrtanja rotora. Autori su, u toku ispitivanja većeg broja GTM ASTAZOU XIV M, došli do rezultata pojave nedozvoljenih vibracija na frekvenciji od približno 600 Hz. Nedozvoljene vibracije na ovim frekvencijama su posledica neispravnog ubrizgavanja goriva, kroz obrtni brizgač, u komoru sagorevanja.

Frekvencija prvog harmonika vibracija rotora iznosi od 30 do 750 Hz, u zavisnosti od tipa GTM i režima njegovog rada. Kao osnovni kriterijum intenziteta vibracija od bilo kog uzroka, uzima se amplituda brzine vibracija, nezavisno od frekvencije.

Osim navedenih mehaničkih vibracija, koje se pojavljuju u radu GTM, postoje i vibracije izazvane gasodinamičkim nestacionarnim strujanjima kroz rešetke turbokompresora. Uzrok ovakvog strujanja je: odstupanje u geometriji sprovodnih aparata kompresora ili turbine, deformacija lopatica usled centrifugalnih sila, pojave nedozvoljenih zazora, krivljenja i erozivnog istrošenja na lopaticama. Ovaj tip vibracija pojavljuje se na frekvenciji:

$$f = zn + i \text{ n (Hz)} \quad (2)$$

gde je:

$n \text{ (min}^{-1}\text{)}$ — broj obrtaja rotora,

z — broj lopatica radnog kola ili sprovodnog aparata određenog stupnja kompresora ili turbine.

$i=1,2,3,\dots$ — redosled harmonika rotora.

Istraživanja uzroka vibracija aerodinamičkog porekla pri ispitivanju GTM na UIS, pokazala su da se maksimalni intenzitet ovih vibracija pojavljuje na frekvenciji:

$$f = (z \pm 1) n \text{ (Hz)} \quad (3)$$

Najčešći uzrok vibracija bila je pojava erozivnog istrošenja lopatica od mehaničkih čestica (peska), deformacija usled upada stranog tela ili pojave pumpanja na kompresoru.

Cesta je i pojava izvora vibracija na GTM od zupčastih prenosa u reduktorima motora. Frekvencija na kojoj se pojavljuje ovaj tip vibracija je:

$$f = izn \text{ (Hz)} \quad (4)$$

gde je:

$n \text{ (min}^{-1}\text{)}$ — broj obrtaja rotora,

z — broj zuba odgovarajućeg zupčanika,

$i=1,2,3,\dots$ — redosled harmonika rotora.

Uzroci pojave ovih vibracija su: netačnost izrade i sastavljanja zupčanika (zazor između bokova zuba, korak ozubljenja, kvalitet površine, i dr.) i deformacije nastale u toku eksploatacije motora. Pri ispitivanju GTM na UIS, uočena je i pojava vibracionog šuma usled neodgovarajućeg zazora bokova zuba u reduktoru motora.

Vibracije nastale na mestu ležajeva GTM imaju složenu strukturu i prozrokovane su velikim brojem faktora. Osnovni uzroci ovih vibracija su greške u toleranciji izrade i ugradnje ležajeva.

Najčešće greške u izradi su: valovitost kotrljajnih staza, ovalnost, nedozvoljene razlike u prečnicima kotrljajnih tela, neuravnoteženost separatora, i dr.

Frekvencija na kojoj se pojavljuju vibracije usled valovitosti kotrljajnih staza može se prikazati funkcijom:

$$f = \left(1 \pm \frac{d_k}{D_o} \cos \beta \right) \frac{Z_m Z_t}{2b} n \text{ (Hz)} \quad (5)$$

gde je:

d_k (mm) — prečnik kuglice,

D_o (mm) — srednji prečnik kruga koji prolazi kroz centre kuglica,

β — ugao dodira kuglice,

z_m — broj kuglica,

Z_t — broj talasa na kotrljajnoj stazi prstena,

b — najveći zajednički delilac za brojeve z_m i z_t ,

n (min⁻¹) — broj obrtaja vratila.

Znak (+) u gornjem izrazu uzima se za spoljašnji prsten ležaja, a znak (-) za unutrašnji.

Za slučaj vibracija od dinamički neuravnoteženog separatora, frekvencija pojave vibracija može se prikazati funkcijom:

$$f = \left(1 - \frac{d_k}{D_o} \cos \beta \right) \frac{n}{2} \text{ (Hz)} \quad (6)$$

Svako kretanje, pa prema tome i vibraciono, može se predstaviti sa tri karakteristične veličine: trenutnim pomeranjem (x), brzinom pomeranja (v) i ubrzanjem pomeranja (a). Diferenciranjem izraza (1) dobija se veličina brzine (v), a diferenciranjem brzine ubrzanje (a).

U tehnici merenja se, umesto amplitudnih vrednosti, koriste: srednja apsolutna vrednost (AVERAGE ABSOLUTE VALUE) i srednja kvadratna vrednost (RMS — ROOT MEAN SQUARE).

Izraz za srednju amplitudnu vrednost je:

$$X_{|sr|} = \frac{1}{T} \int_0^T |X| dt \quad (7)$$

Izraz za srednju kvadratnu vrednost:

$$X_{ef} = \frac{1}{T} \int_0^T X^2 dt \quad (8)$$

gde je:

T — period oscilovanja.

Ova vrednost karakteriše energiju vibracija i naziva se efektivna (stvarna).

Veza između prostog harmonijskog kretanja sa izrazima (7) i (8), je:

$$A = 2 X_{ef} = \frac{\pi}{2} X_{sr} \quad (9)$$

Navedene odnose treba dobro poznavati, jer su moguće greške između jedinica očitavanja na instrumentu i propisanih jedinica za dozvoljene vrednosti harmonijskog kretanja. To je vrlo bitno, jer se može dogoditi da se motor sa nedozvoljenim vibracijama prihvati kao ispravan, zbog različitog parametra očitavanja u odnosu na propisanu jedinicu.

Program ispitivanja nedozvoljenih vibracija GTM ASTAZOU XIV M

Na nekoliko GTM ASTAZOU XIV M, pri serijskom ispitivanju na UIS, pojavio se nedozvoljeni nivo vibracija. Zbog složenosti teoretske analize (izrada matematičkog modela), pristupilo se ispitivanju uzroka vibracija pomoću metodologije koja se, u osnovi zasniva na funkcionalnoj dijagnostici.

Merenje intenziteta vibracija predstavlja jednu od značajnih faza kod serijskog ispitivanja GTM ASTAZOU XIV M. Proizvođač GTM je u svom programu serijskog ispitivanja definisao samo dozvoljeni intenzitet vibracija, mesto merenja i karakteristike merenih davača. Do vrednosti dozvoljenog nivoa vibracija, proizvođač GTM je došao na osnovu višegodišnjeg iskustva stečenog pri projektovanju, proizvod-

Program merenja vibracije motora ASTAZOU XIV M

Opterećenje motora	Faza ispitivanja	Oznaka režima rada	Režim rada motora	Dozvoljeni nivo vibracija		Napomena
				Zadnji ležaj	Prednji ležaj	
1	2	3	4	5	6	7
SA KOČNICOM	A (min. količina vode u kočnici)		Ručicom gasa lagano ubrzavati motor od $n=60\%$ do $n=100\%$ REGISTROVATI VIBRACIJE NA:	20 μm ili 140 mV	5 μm ili 62,5 mV	Min. opterećenje
		X ₁	— $n=60\%$ — prvo merenje			
		X ₂	— $n=70\%$ — drugo merenje			
		X ₃	— $n=80\%$ — treće merenje			
		X ₄	— $n=90\%$ — četvrto merenje			
		X ₅	— $n=100\%$ — peto merenje			
	B (min. količina vode u kočnici)		Na $n=100\%$ tri puta registrovati vibracije u razmaku od 1 minuta:	20 μm ili 140 mV	5 μm ili 62,5 mV	Min. opterećenje
		X ₆	— $n=100\%$ — prvo merenje			
		X ₇	— $n=100\%$ — drugo merenje			
		X ₈	— $n=100\%$ — treće merenje			
	C		Zagrevati motor 5 minuta pri $n=100\%$ i 50% snage (P) i registrovati vibracije			
		X ₉	— $n=100\%$; P=50%			
	D (min. količina vode u kočnici)		Rasteretiti motor (min. količina vode u kočnici). Tri puta registrovati vibracije u razmaku od 1 minuta.	20 μm ili 140 mV	5 μm ili 62,5 mV	Min. opterećenje
		X ₁₀	— $n=100\%$ — prvo merenje			
		X ₁₁	— $n=100\%$ — drugo merenje			
		X ₁₂	— $n=100\%$ — treće merenje			
	E		Opušten motor na max. snagu (P=440 kW) pri $n=100\%$, stabilizovati 3 minuta, zatim tri puta registrovati vibracije u razmaku od 1 minuta:	15 μm ili 105 mV	2 μm ili 25 mV	Max. opterećenje
		X ₁₃	— $n=100\%$; P=100% — prvo merenje			
		X ₁₄	— $n=100\%$; P=100% — drugo merenje			
		X ₁₅	— $n=100\%$; P=100% — treće merenje			

1	2	3	4	5	6	7
SA KOCNICO	F (min. količina vode u kočnici)		Rasteretiti motor, stabilizovati 3 minuta, a zatim tri puta regis- trovati vibracije u razmaku od 1 minuta.	20 μ m ili 140 mV	5 μ m ili 62,5 mV	Min. opterećenje
		X ₁₆	— n=100% — prvo merenje			
		X ₁₇	— n=100% — drugo merenje			
		X ₁₈	— n=100% — treće merenje			
BEZ KOCNICE	G		Ručicom gasa lagano ubrzavati motor, od n=60% do n=100%. Registrovati vibracije na:	20 μ m ili 140 mV	5 μ m ili 62,5 mV	Motor rasterćen
		X ₁₉	— n=60% — prvo merenje			
		X ₂₀	— n=70% — drugo merenje			
		X ₂₁	— n=80% — treće merenje			
		X ₂₂	— n=90% — četvrto merenje			
		X ₂₃	— n=100% — peto merenje			
	H		Na n=100% tri puta registrovati vibracije u razmaku od 1 minuta:	20 μ m ili 140 mV	5 μ m ili 62,5 mV	Motor rasterćen
		X ₂₄	— n=100% — prvo merenje			
		X ₂₅	— n=100% — drugo merenje			
		X ₂₆	— n=100% — treće merenje			

— n=100% (43000 min⁻¹)

— P=100% (440 kW)

nji i eksploataciji motora na helikopteru. Sve vibracije GTM, iznad dozvoljenih vrednosti, direktno ugrožavaju bezbedan let helikoptera. Osim toga, ovu pojavu oseća i pilot, što negativno utiče na njegovu koncentraciju i motoriku.

Tačno utvrđivanje uzroka nedozvoljenih vibracija na UIS, eliminiše kasnije troškove višestrukog rastavljanja, pregleda, sastavljanja i ispitivanja GTM.

Problem vibracione dijagnostike je vrlo složen, jer zahteva analizu za svaku gasnu turbinu ponaosob. Za dijagnosticiranje uzroka nedozvoljenih vibracija urađen je originalan program sa predlogom mera za trajno otklanjanje uzroka nedozvoljenih vibracija na GTM ASTAZOU XIV M.

Program je podeljen na faze:

— kalibracija opreme UIS sa posebnim osvrtnom na davače i podmodul za merenje vibracija;

— izrada programa merenja nedozvoljenih vibracija sa ispitivanjem nivoa na ETALON motoru ASTAZOU XIV M;

— kontrolno ispitivanje intenziteta vibracija na reklamiranim gasnim turbinama;

— rastavljanje i pregled gasnih turbina sa konstantovanim nedozvoljenim vibracijama;

— ponovno ispitivanje gasnih turbina na UIS, nakon otklanjanja nedozvoljenih vibracija;

— analiza snimljenog frekventnog spektra vibracija.

Cilj programa je bio da se utvrdi stvarni intenzitet nedozvoljenog nivoa vibracija i predlože mere za njihovo svodenje u dozvoljene granice. Pri tome, prvo se mora proveriti tačnost opreme za merenje, kao i postupak ispitivanja na UIS. Ovakav pristup isključuje eventualna kasnija sporenja između isporučioaca sastavljenog motora i finaliste koji ga ispituje na UIS.

Prva faza sadrži proveru i kalibraciju opreme UIS po sistemima, prema dokumentaciji za održavanje. Tek nakon potvrde laboratorije za metrologiju da je sva oprema ispravna, može se početi sa sledećom fazom programa.

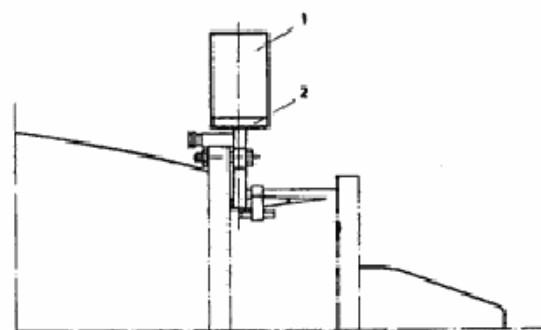
U drugoj fazi se pristupa izradi programa merenja intenziteta vibracija. Detalji programa za merenje vibracija dati su u tabeli 1. Tokom izrade programa proizvođač motora je proverio da nije došlo do izmena dozvoljenog nivoa i jedinice merenja vibracija. To je bitno, jer neki proizvođači za jedinicu merenja vibracija uzimaju dvostruki pomeraj D_m (μm), a drugi maksimalnu brzinu V_m (mm/sec), ili maksimalnu vrednost ubrzanja A_m (mm/sec²).

Prema navedenom programu, obavljen je snimanje vibracija na ETALON motoru sa konfiguracijom opreme i rasporedom davača prikazanim na slici 2 i 3. Pod ETALON motorom se podrazumeva motor, pomoću koga je verifikovana UIS kroz uporedna ispitivanja, na ispitnim stanicama proizvođača motora i UIS. Ovaj motor se isključivo koristi za propisanu periodičnu kalibraciju UIS.

Program verifikacije UIS sa ETALON motorom izvršen je specifičnim postupkom, nakon čega je dobijen sertifikat od proizvođača motora ASTAZOU XIV M. Program verifikacije UIS je predmet posebnog rada.

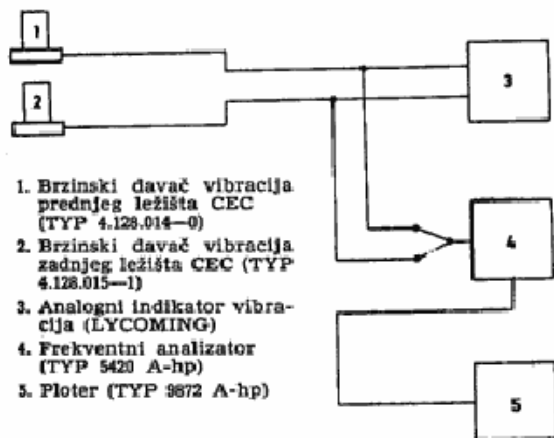
Na osnovu snimljenih dijagrama vibracija ETALON motora (dijagram 1), vrši se spektralna analiza vibracija u frekventnom domenu i donosi zaključak u odnosu na dozvoljeni intenzitet. Nužno je uporediti vrednosti dobijenih intenziteta vibracija ETALON motora, sa vrednostima dobijenim pri verifikaciji UIS. Nepromenjene vrednosti dozvoljenog nivoa vibracija potvrđuju da su oprema i postupak merenja na UIS ispravni za nastavljnje programa ispitivanja.

Treća faza programa predstavlja kontrolno ispitivanje nedozvoljenih vibracija na reklamiranim motorima, po istom programu kao za ETALON motor. Analiza snimljenih dijagrama potvrđuje da reklamirani motori imaju nedozvoljeni intenzitet vibracija.



1. Davač vibracija CEC (4-128, 015-1)
2. Pločica za pričvršćivanje davača (6202.62.066.0)

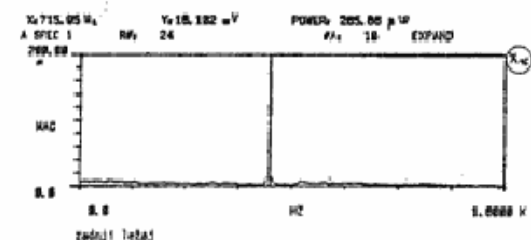
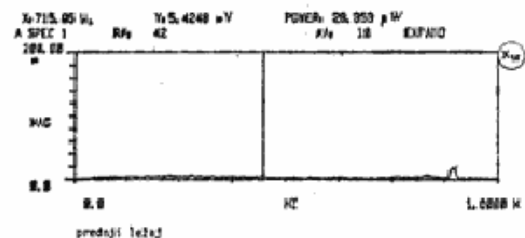
Sl. 2 — Pričvršćivanje davača vibracija na zadnji ležaj GTM ASTAZOU XIVM



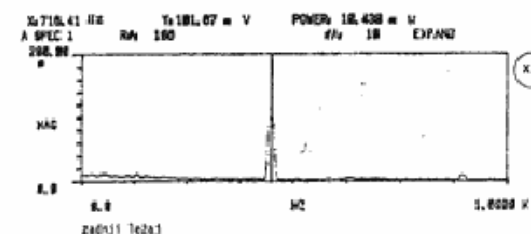
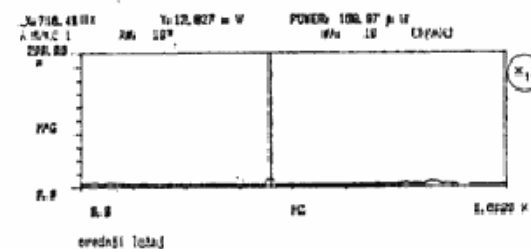
1. Brzinski davač vibracija prednjeg ležišta CEC (TYP 4.128.014-0)
2. Brzinski davač vibracija zadnjeg ležišta CEC (TYP 4.128.015-1)
3. Analogni indikator vibracija (LYCOMING)
4. Frekventni analizator (TYP 5420 A-hp)
5. Ploter (TYP 9872 A-hp)

Sl. 3 — Blok šema za snimanje spektra vibracija na GTM ASTAZOU XIVM

Na dijagramu (D.2), prikazan je spektar vibracija samo za jedan režim (X15) rada motora na UIS, iz programa prikazanog u tabeli 1. Za svaki od režima iz tabele 1 (od X1 do X26) snimljen je dijagram spektra vibracija za ETALON motor i reklamirani motor ASTAZOU XIV M, pre i nakon otklanjanja nedozvoljenog nivoa vibracija.



D.1. Dijagram spektra vibracija ETALON motora ASTAZOU XIV M na jednom režimu iz Programa ispitivanja



D.2. Dijagram spektra vibracija reklamiranog motora ASTAZOU XIV M na jednom režimu iz Programa ispitivanja

Iz snimljenih dijagrama se zaključuje da su nedozvoljene vibracije prisutne na stvarnoj frekvenciji obrtanja rotora, što ukazuje na to da su nastale usled dinamičke neuravnoteženosti rotora turbine, ili odstupanja koaksijalnosti ose vratila turbine, sa osom ležajeva u kućistima.

U četvrtoj fazi programa pristupa se rastavljanju i pažljivoj kontroli delova i sklopova GTM sa nedozvoljenim vibracijama.

Kontrolne operacije su:

- dimenzionalna provera sklopa zadnjeg ležaja (slika 4) sa posebnom kontrolom tolerancija oblika i položaja delova i propisanih zazora u sklopu (slika 5 i slika 6);

- dimenzionalna provera sklopa kućišta turbine (slika 7);

- provera tačnosti obrtanja (»bacanja«) sklopa rotora turbine (slika 8);

- kontrola statičke i dinamičke neuravnoteženosti sklopa rotora turbine (slika 8);

- provera stanja ležajeva turbine (dimenzije, tvrdoća);

- dimenzionalna provera spojne čaure između rotora turbine i kompresora;

- provera stanja labirinata turbine.

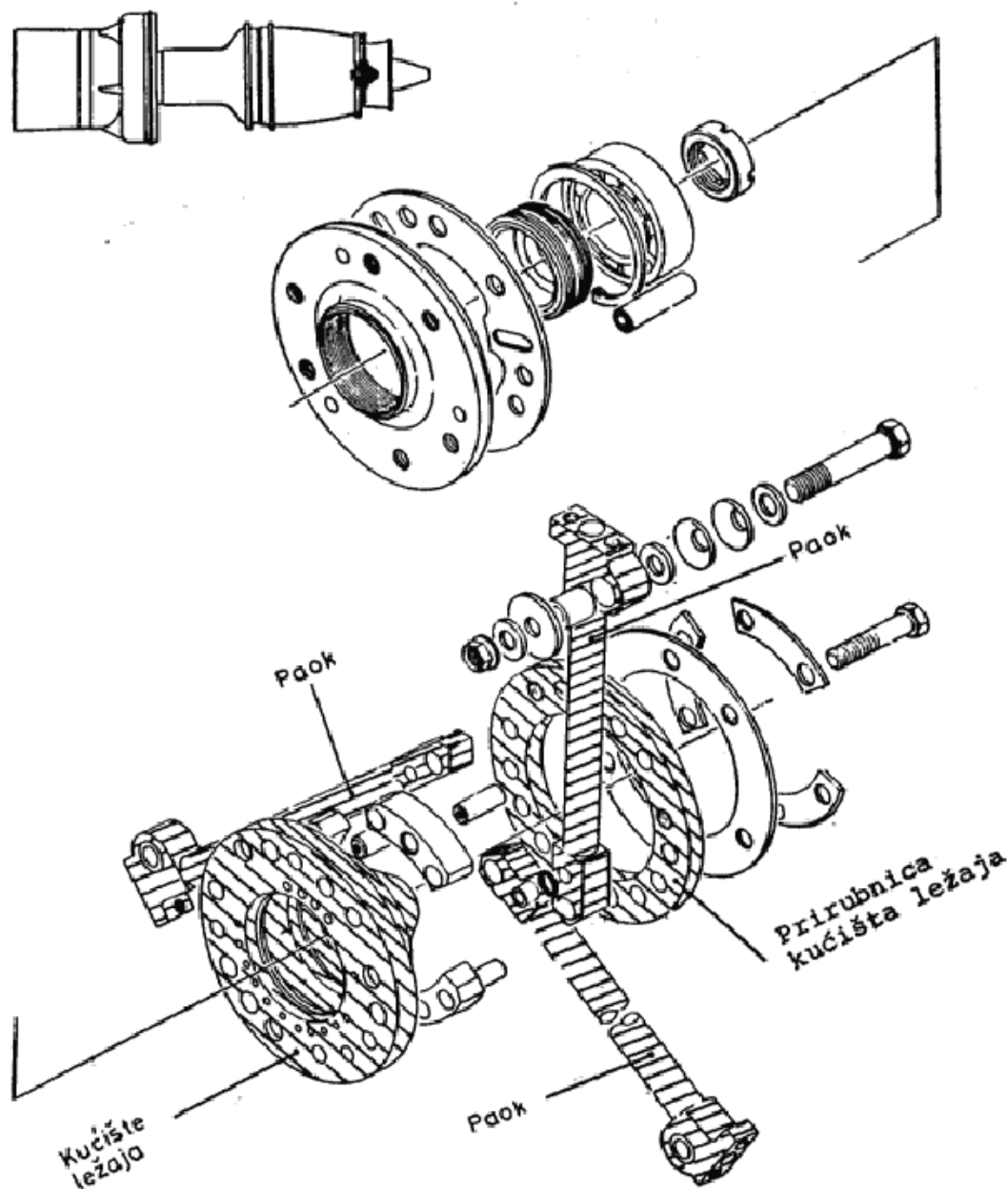
Na osnovu registrovanih odstupanja dimenzija i tolerancija oblika na delovima zadnjeg ležaja (slika 4), konstruisana je skica međusobnog položaja (koaksijalnost) geometrijskih osa rotora turbine i kućišta zadnjeg ležaja (slika 9). Na skici je uočljiva nedozvoljena ekscentričnost osa u iznosu od 0,07 μm, umesto dozvoljene vrednosti od 0,02 μm.

Sa novim ispravnim sklopom zadnjeg ležaja i kućištem turbine, ponovo je sastavljen reklamirani GTM ASTAZOU XIV M radi ponovnog snimanja spektra vibracija prema programu (tabela 1).

Pregled izmerenih vibracija na GTM ASTAZOU XIV M

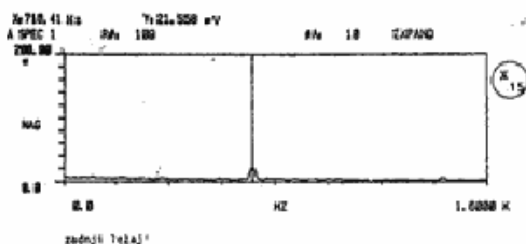
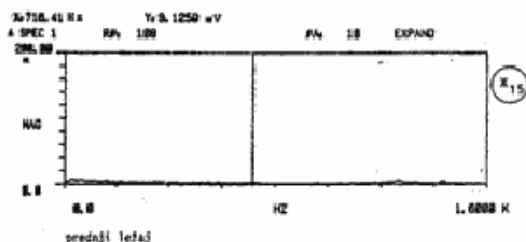
Faza ispitivanja	Oznaka režima rada	Zadnji ležaj		Prednji ležaj		Zadnji ležaj	Prednji ležaj
		ETALON MOTOR	Reklamirani motor	ETALON MOTOR	Reklamirani motor	Reklamirani motor (nakon rastav. i pregleda)	
1	2	3	4	5	6	7	8
A	X ₁	11,531	30,121	2,201	14,236	17,432	6,247
	X ₂	25,008	27,040	5,530	15,410	28,560	6,828
	X ₃	11,377	47,489	4,457	8,373	17,732	3,715
	X ₄	4,076	77,600	10,002	24,196	20,142	12,197
	X ₅	19,169	230,91	20,618	14,367	20,642	13,946
B	X ₆	20,431	199,05	27,00	15,652	25,488	13,067
	X ₇	21,641	192,19	19,425	12,132	32,567	7,965
	X ₈	21,564	204,16	15,819	9,953	33,559	9,047
C	X ₉	17,398	160,24	12,066	13,639	28,465	4,110
D	X ₁₀	22,015	148,10	12,083	10,400	39,961	5,891
	X ₁₁	21,945	144,30	13,125	8,228	39,863	5,373
	X ₁₂	23,245	131,42	12,465	7,341	41,133	4,719
E	X ₁₃	13,614	85,731	7,821	10,986	21,604	3,306
	X ₁₄	14,575	94,846	6,706	11,309	21,979	3,817
	X ₁₅	16,102	101,67	5,425	12,827	21,558	3,126
F	X ₁₆	24,382	138,81	11,523	12,722	44,019	6,027
	X ₁₇	24,048	149,78	10,321	11,264	42,666	4,300
	X ₁₈	21,784	144,30	9,005	9,776	42,110	5,659
G	X ₁₉	5,656	15,430	0,421	4,379	17,844	5,571
	X ₂₀	—	30,832	3,003	13,405	31,090	7,841
	X ₂₁	9,758	63,603	8,555	18,305	25,308	11,079
	X ₂₂	4,028	89,008	9,799	11,362	24,527	19,958
	X ₂₃	15,539	250,52	21,255	19,031	34,416	14,194
H	X ₂₄	17,351	199,81	10,2	20,540	37,256	28,051
	X ₂₅	19,056	203,79	11,241	12,654	39,443	25,428
	X ₂₆	19,492	208,42	8,484	9,806	38,226	21,130

Oznaka režima rada	Dozvoljen nivo vibracija	
	Zadni ležaj	Prednji ležaj
X_1 do X_{12} i X_{14} do X_{26}	140 mV (20 μ m)	62,5 mV (5 μ m)
X_{13} do X_{15}	105 mV (15 μ m)	25 mV (2 μ m)

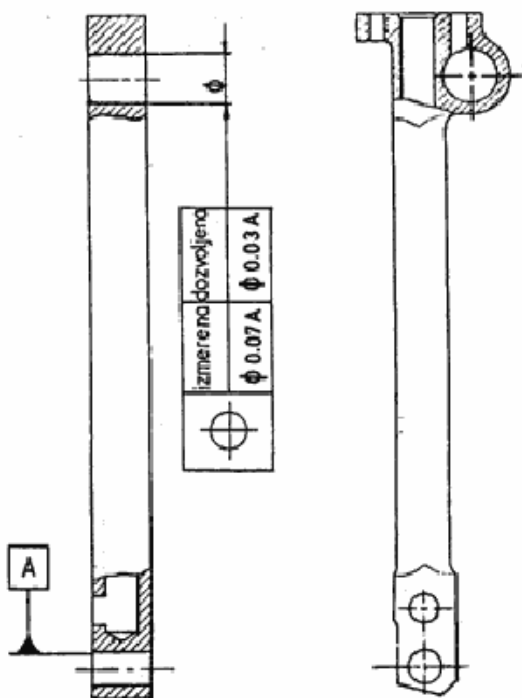


Sl. 4 — Izgled delova sklopa zadnjeg ležaja GTM ASTAZOU XIVM

U petoj fazi programa obavljeno je ponovno snimanje spektra vibracija reklamiranog GTM na UIS, nakon u-



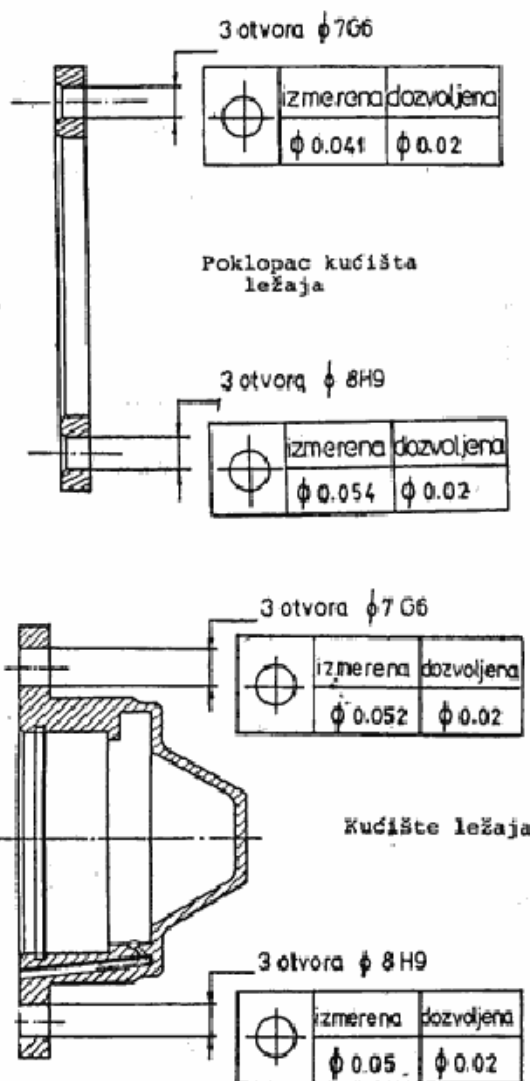
D.3. Dijagram spektra vibracija reklamiranog motora ASTAZOU XIV M na jednom režimu iz Programa ispitivanja nakon otklanjanja uzroka vibracija



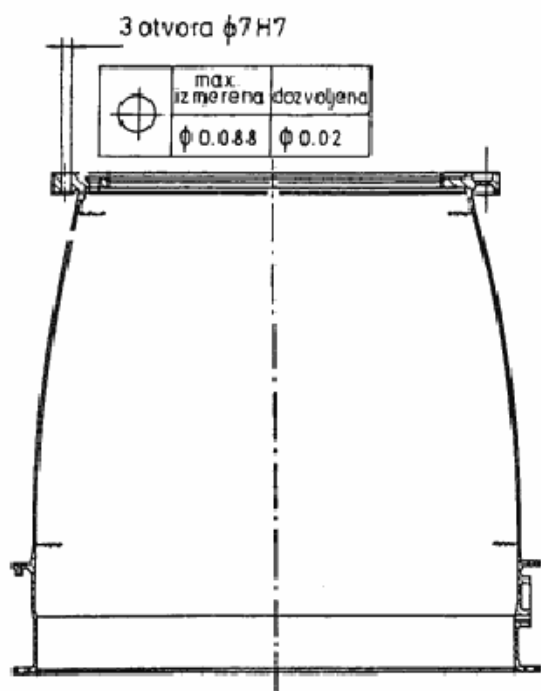
Sl. 5 — Izmerena odstupanja na paoku zadnjeg ležaja GTM ASTAZOU XIVM

klanjanja njihovog uzroka. Dobijeni rezultati izmerenog intenziteta vibracija prikazani su na dijagramu (D.3) samo za jedan režim rada GTM (X15), u toku izvođenja programa ispitivanja na UIS (tabela 1).

U poslednjoj, šestoj fazi programa, izvršena je analiza vrednosti snimljenog spektra vibracija. Uporedni rezultati snimljenog intenziteta vibracija ETALON motora i reklamiranog GTM ASTAZOU XIV M, pre i nakon ras-

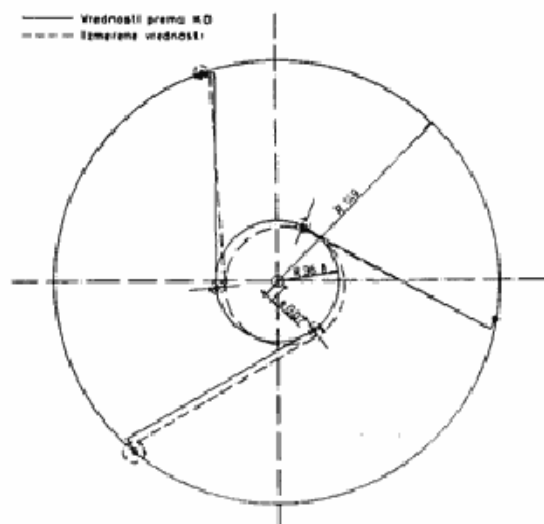


Sl. 6 — Izmerena odstupanja na kućištu zadnjeg ležaja sa prirubnicom



Sl. 7 — Izmereno kućište turbine GTM ASTAZOU XIVM

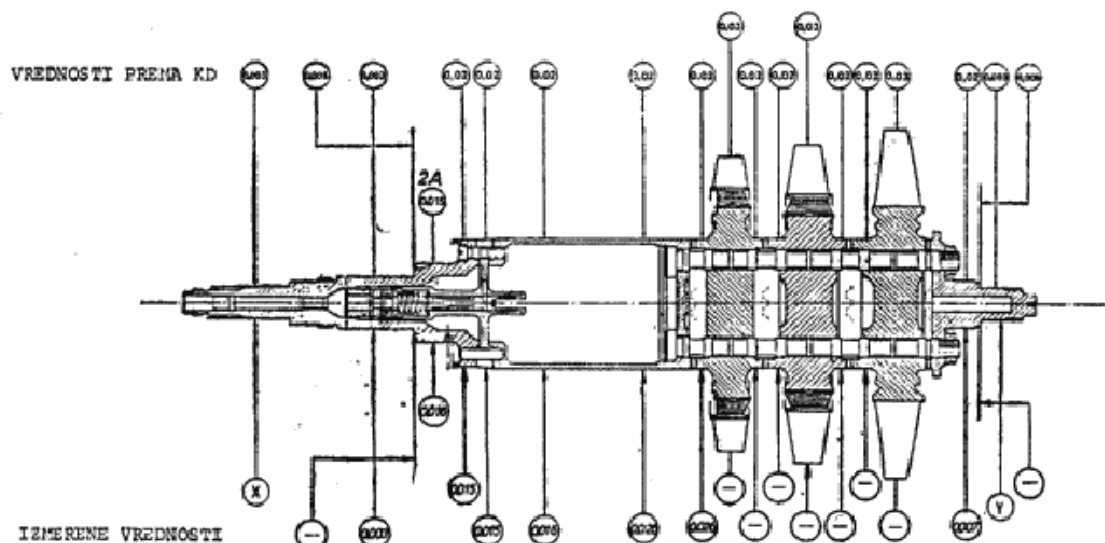
tavljanja i pregleda, prikazani su u tabeli 2. Iz dobijenih rezultata se vidi da je na reklamiranom GTM nedozvoljen intenzitet vibracija sveden u dozvoljeni, nakon zamene neispravnog sklopa zad-



Sl. 9 — Izmerena ekscentričnost ose zadnjeg ležaja GTM ASTAZOU XIVM

njeg ležaja (slika 4) i kućišta turbine (slika 5). Takođe, iz rezultata se zaključuje da je nivo vibracija reklamiranog GTM sveden na približno isti nivo, kao kod ETALON motora.

Nakon otkrivanja uzroka nedozvoljenih vibracija, istraživanje je nastavljeno radi utvrđivanja intenziteta uticaja pojedinih neispravnih sklopova i delova na ukupni nivo vibracija. Selekc-



Sl. 8 — Izmerene vrednosti tačnosti obrtanja (bacanje) rotora turbine ASTAZOU XIVM

tivno su zamenjivani jedan po jedan neispravan sklop, dok su ostali zadržavani. Na ovako sklopljenim i ispitanim GTM, registrovan je nivo vibracija i analiziran uticaj svakog od neispravnih sklopova. Tek nakon zamene svih neispravnih sklopova (zadnji ležaj i kućište), nivo vibracija je sveden u dozvoljene granice.

Rezime

Analizom eksperimentalnih rezultata sprovedenog programa ispitivanja nedozvoljenih vibracija na nekoliko reklamiranih GTM ASTAZOU XIV M, zaključeno je:

1. Rezultati kalibracije opreme UIS i kontrolnog ispitivanja ETALON motora su potvrdili da tačnost opreme i postupak ispitivanja na UIS, nisu uzrok nedozvoljenih vibracija.

2. Konstatovane su nedozvoljene vibracije na nekoliko reklamiranih GTM ASTAZOU XIV M, na osnovu snimljenog frekventivnog spektra vibracija pomoću dopunske opreme (slike 2 i 3).

3. Glavni uzrok nedozvoljenih vibracija otkriven je u netačnoj izradi

sklopa zadnjeg ležaja (slika 4) i kućišta turbine (slika 5). Netačnost izrade navedenih sklopova dovodi do nesaosnosti prednjeg i zadnjeg ležaja turbine (slika 9), što je neposredni uzročnik nedozvoljenih vibracija.

4. Dopunjena je tehnologija skla-panja GTM ASTAZOU XIV M sa obaveznom dopunskom kontrolom dimenzija sklopa zadnjeg ležaja i kućišta turbine. Tako su smanjeni troškovi ponovnih rastavljanja i ispitivanja GTM na UIS.

5. Sprovedena i potvrđena metodologija ispitivanja nedozvoljenih vibracija GTM ASTAZOU XIV M postupkom funkcionalne dijagnostike primenljiva je i na druge tipove GTM.

6. Inostrani proizvođač GTM ASTAZOU XIV M je bez primedbi prihvatio reklamaciju za sve neispravne delove i potvrdio metodologiju utvrđivanja nedozvoljenih vibracija, otkrivanja uzroka, kao i mere za njihovo otklanjanje. Izvedeni program ispitivanja nedozvoljenih vibracija na GTM ASTAZOU XIV M, potvrđuje mogućnost UIS za obavljanje ekspertskih ispitivanja i istraživanja.

Literatura:

- [1] A. M. Ahmedzanov i dr.: Diagnostika sastojanija VRD po termogodinamičeskim parametram, Mašinstroenie 1993.
- [2] I. V. Keba: Diagnostika aviaционnih gazoturbinskih dvigatelj, Transport 1980.
- [3] N. N. Smirnov i dr.: Obsluživanje i remont aviaционной tehniki po sostojaniji Transport 1987.
- [4] R. I. Adgamon dr.: Avtomatizirovanie Ispitani-ja v aviastroeni, Mašinstroenie 1989.
- [5] V. V. Kijueva i dr.: Tehničeskie sredstva diag-nostirovanija-spravočnik, Mašinstroenie Mos-kva 1989.

- [6] Dr Z. Adamović: Tehnička dijagnostika u mašinstvu. Privredni pregled 1988.
- [7] Dr S. Janković: Modeliranje univerzalne Ispitne stanice za pouzdano i ekonomično ispitivanje helikopterskih gasnih turbina, Doktorska disertacija, 1991.
- [8] ČASOPISI: Aviaциона tehnika, JU, V. KO-ZEVNIKOV i dr.: K optimizaciji ispitani GTD na osnove posledovatelnih Bejsovskih procedur (№ 2 1975). Gas turbine world. Journal of the American helicopter SOC.

Pristup određivanju resursa za snabdevanje TMS u borbi

Pri određivanju resursa za snabdevanje jedinica-potrošača TMS u borbi izdvajaju se dva osnovna problema: prognoza utroška sredstava u vremenu i usklađivanje intervala strpljivosti potrošača, do realizacije popune. Pri prognoziranju utroška za karakteristične situacije izrađuju se taktički modeli, simuliraju borbena dejstva, statistički obrađuju izlazi i vrši analiza zahteva. Ovako ocenjeni zahtevi, uz ocene taktičkih, organizacionih, tehnoloških i drugih faktora jesu osnova za određivanje resursa, za željenu pouzdanost realizacije zadataka snabdevanja potrošača TMS u borbenim dejstvima.

Uvod

Osnovni zahtev koji realizatori snabdevanja tehničkim materijalnim sredstvima jedinica u borbi treba da zadovolje jeste pouzdana popuna potrošača potrebnim količinama i asortimanom TMS, na datom prostoru i u vremenu, kako bi se omogućilo uspešno izvršavanje borbenih zadataka. Podrazumeva se uspostava neophodnih tokova informacija i materijala, uz mogućnost preostrojanja organizacije kad dođe do narušavanja tokova usled dejstva okruženja. U tom smislu, određivanje adekvatnih resursa za snabdevanje je značajno, kako sa aspekta pouzdanosti izvršenja zadataka, tako i u smislu optimalnosti sistema.

Prognoza utroška TMS u borbenim dejstvima, koja se karakteriše slučajnim procesima, jedan je od većih problema pri traženju odgovora na pitanje kako odrediti resurse za sistem snabdevanja. Kao jedna od mogućnosti za pouzdanije prognoziranje u novije vreme koristi se modeliranje karakterističnih borbenih dejstava i simulaciju na računaru. Pri gradnji simulacionih modela koriste se iskustva iz savremenih borbenih dejstava i znanja eksperata iz ratne veštine, operacionih istraživanja i drugih oblasti.

Biće prikazana i mogućnost određivanja resursa za snabdevanje muni-

cijom, gde je polazište izrada simulacionog modela za karakteristična borbena dejstva, provera modela i dobijanje vremenske slike stanja utroška municije. Pri izradi modela sistemskim pristupom formalizovani su uticajni faktori i uslovi izvođenja dejstava karakterističnih za trošenje municije. Na osnovu dinamičkog modela borbenih dejstava i modela za kvantifikaciju utroška municije, dobijene su vremenske slike stanja.

Za konkretni primer, definisani su parametri, varijable i funkcije, izvršene simulacije i provere modela i rezultata, dobijene krive utroška i, na osnovu izlaza, određeni resursi za snabdevanje potrošača municijom.

Modeliranje dinamike dejstava i kvantifikacija utroška municije

Priroda problema, bez obzira na definisana ograničenja, podrazumeva izgradnju modela sa mogućnostima obuhvata širokog spektra uticajnih faktora u slučajnim procesima koji se odvijaju tokom borbenih dejstava. Sa druge strane, modeli treba da omoguće da se za svaki konkretni eksperiment može definisati konačan skup parametara, varijabli i funkcija, kojima se definiše ulaz, tako da se u širini spektra ne

izgube značajne informacije o ponašanju realnog sistema. Postupak, modeliranja za definisani problem obuhvata kreiranje dva modela: dinamike borbenih dejstava i modela kvantifikacije utroška municije u vremenu.

Kreiranje simulacionog modela borbenih dejstava realizuje se kroz preslikavanje složenih procesa koji se realizuju u realnom sistemu na slučajan način, u modele za simulaciju pomoću elektronskog računara. Pri tome se mogu koristiti pretpostavke saznavno-teoretskog karaktera, dobijene na osnovu taktičkog učenja, fizičkih modela i matematičkih modela različitog tipa.

Formalizacija realnih procesa provodi se u skladu sa spoznavno-teoretskim pretpostavkama, a modeli treba da omoguće preslikavanje svih karakterističnih tipova i konfiguracija borbene situacije, koje su značajne za utvrđivanje utroška municije u vremenu. Na osnovu operativno-taktičkog opisa modela i konkretnih zadataka, karakterističnih za istraživanje definisanog problema, treba izraditi logičku shemu simulacionog modela, razraditi algoritme i programe i izvršiti testiranje i potrebne korekcije.

U prvom koraku vrši se opis funkcija međusobnih dejstava protivnika, na potrebnom nivou apstrakcije. Za definisanje funkcija međusobnih dejstava protivnika, u modelu se mora obezbediti okvir koji može obuhvatiti karakteristične funkcije i omogućiti potrebne kombinacije snaga, oblika i vidova borbenih dejstava.

Sirova informacija kojom se opisuju funkcije međusobnih dejstava može se formirati na osnovu statistički obrađenih podataka iz savremenih borbenih dejstava, sa združenih taktičkih vežbi i manevara, kao i na osnovu rezultata različitih istraživanja oružane borbe. Kada se raspolaze adekvatnim matematičkim modelima i definisanim skupom potrebnih podataka, funkcije

dejstava protivnika mogu se formirati uz uvažavanje rezultata ovih modela.¹

S obzirom na namenu, uslove u kojima dejstvuje, specijalnosti i organizacijsko-formacijske strukture jedinica pešadije, za modeliranje funkcija dejstava u razmatranje se uzimaju protivpešadijska borba, protivoklopna borba i protivdesantna borba. Ostali sadržaji borbenih dejstava opisuju se drugim funkcijama i u interakciji sa navedenim. Konfiguracijom simulacionog modela omogućuje se realizacija napada i odbrane kao osnovnih vidova, kao i željene kombinacije za eksperimente.

Za realizaciju konkretnih eksperimenata obezbeđuju se sledeće funkcije dejstava jedinica pešadije:

- funkcija nailaska pešadijskih (mehanizovanih) odeljenja napadača, u konkretnim uslovima i vremenu trajanja dejstava, na zadani način;

- funkcija otkrivanja pešadijskih odeljenja napadača i odlučivanja o mestu, vrsti, načinu i trajanju dejstava u protivpešadijskoj borbi branioca;

- funkcija nailaska borbenih vozila na borbeni raspored jedinica pešadije;

- funkcija otkrivanja tenkova i oklopnih transportera i odlučivanja o dejstvu branioca, i

- funkcija otkrivanja specijalnih vozila za protivelektronsku borbu, komandnih vozila i sličnih ciljeva i odlučivanja o dejstvu branioca.

¹ Kod modela koji se koriste pri prognoziranju u vojsci, a opisuju se algebarskim i transcendentnim jednačinama oblika $y = f(\bar{a}, \bar{x}) + \psi(\bar{b}, \bar{x}) \eta$, jedna veličina se izražava preko drugih parametara. Pri tome su $f(\bar{a}, \bar{x})$ i $\psi(\bar{b}, \bar{x})$ neke determinisane funkcije, $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ poznati parametri, $\bar{a}$ i $\bar{b}$ skupovi nepoznatih parametara i η slučajni proces sa nulnim matematičkim očekivanjem. Kao vrlo česta primena modela ovog tipa jesu modeli eksponencijalnog tipa. (Prema: J. V. Čujev i B. Mihajlov, Prognoziranje u vojsci, VIZ Beograd 1980, str. 95–112). Eksponencijalni modeli se sreću pri definisanju brzina ciljeva, npr. tenkova u borbi, $v = e^{-q_0 \alpha} (v_{\max} - v_{\min}) + v_{\min}$, gde je v — brzina tenkova u borbi ($v_{\max}$ — maksimalna, $v_{\min}$ — najmanja), q — koeficijent odnosa verovatnoća pobeđene strane A i B i α — koeficijent usaglašavanja. (Prema: P. N. Tkačenko i drugi, Matematičke modele borbenih dejstava, Moskva 1989, str. 88).

Skup parametara obuhvata matematičko očekivanje vremena otkrivanja odeljenja i drugih ciljeva tokom uvođenja prvog i drugog ešelona, kao i rezerve napadača, očekivanog vremena uvođenja. Takođe se procenjuju parametri trajanja dejstva (matematičko očekivanje) po mestu, načinu i vrsti sredstava, očekivani broj pojava jedinica-odeljenja napadača i branioca u skladu sa mogućom gustinom snaga i ostalim taktičkim faktorima. Varijablama se omogućuje povezivanje parametara sa funkcijama, preko adekvatnih teoretskih ili empirijskih raspodela.

Respektivna moć artiljerije, koja vatrom i pokretom u borbi podržava taktičke i operativne jedinice, sastave i grupacije, omogućava ispoljavanje uticaja na tok i ishod borbenih dejstava. U svim oblicima oružane borbe, vidovima i oblicima borbenih dejstava, artiljerija može da ostvari protivoklopnu, protivdesantnu i protivartiljerijsko-raketnu borbu. Za obuhvat većine značajnih faktora pri realizaciji konkretnih eksperimenata u simulaciji borbenih dejstava, u modelu se obezbeđuju sledeće funkcije dejstava artiljerije:

— funkcija očekivanih vatri koje otvaraju artiljerijske, raketne i minobacačke baterije napadača u pripremi i podršci;

— funkcije nailaska mehanizovanih i pešadijskih četa napadača u zone odgovornosti artiljerije za podršku branioca;

— funkcije nailaska tenkova i transporta napadača u zone odgovornosti protivoklopne artiljerije i raketa branioca;

— funkcije zastupljenosti ciljeva napadača u borbenom rasporedu po vremenu i prostoru;

— funkcije rasporeda artiljerijskih resursa branioca;

— funkcije otkrivanja ciljeva i odlučivanja o dejstvu.

Skupovi parametara i varijabli povezani su sa funkcijama i definisani preko matematičkih očekivanja određenih veličina (vremena trajanja grupnih i pojedinačnih dejstava, broja ciljeva, itd). Informacije za funkcije odlučivanja unose se u model u vidu verovatnoća upotrebe kalibara, raspoloživosti artiljerije, operativno-taktičkog značaja ciljeva i na druge načine, tako da definišu mesto, vreme i, najverovatnije, načine dejstava. Ako se kreiraju modeli za određivanje utrošaka municije za, na primer, mbr u odbrani, na konkretnom prostoru u datim uslovima, parametri, varijable i funkcije u modelu borbenih dejstava za određivanje utrošaka municije u vremenu mogu se opisati na sledeći način:

- | | |
|--------|---|
| T1 | — prosečno vreme otkrivanja odeljenja pešadije napadača u prvom borbenom ešelonu; |
| V\$PPE | — varijabla kojom se definiše odstupanje od matematičkog očekivanja T1 (može biti po eksponencijalnoj, normalnoj, ravnomernoj ili empirijskoj raspodeli); |
| KPO1 | — očekivano brojno stanje odeljenja pešadije napadača u prvom borbenom ešelonu; |
| T2 | — prosečno vreme otkrivanja odeljenja pešadije napadača u uvođenju drugog borbenog ešelona; |
| V\$DEP | — raspodela u kojoj je T2 matematičko očekivanje; |
| TDE | — očekivano vreme uvođenja drugog borbenog ešelona napadača u odnosu na početak borbenih dejstava; |
| KPO2 | — očekivano brojno stanje odeljenja pešadije koja se uvode iz drugog borbenog ešelona napadača; |
| T3 | — prosečno vreme otkrivanja odeljenja pešadije napadača po uvođenju rezerve; |

V\$REP — definisanje raspodele u kojoj je T3 matematičko očekivanje;

TUR — očekivano vreme uvođenja rezerve napadača;

KROP — broj odeljenja pešadije koja se uvode kao rezerva;

PPP — deo snaga koje u toku borbe treba neutralisati (uništiti) vođenjem protivpešađijske borbe;

APP — deo snaga koje treba da neutrališe artiljerija;

TPP — deo snaga po kojima dejstvuju oklopno-mehanizovane jedinice branioca;

NDA — odluka kada pešađijska (mehanizovana) četa nema operativno-taktički značaj kao cilj za artiljeriju;

FN\$DAV — empirijska funkcija raspodele očekivanih vatri koje otvaraju artiljerijske, raketne i minobacačke baterije napadača u pripremi;

AVPR — očekivani broj artiljerijskih vatri u pripremi napada;

FN\$DAR — empirijska funkcija otkrivanja artiljerijskih vatri napadača u podršci;

TAR — očekivano vreme početka artiljerijske podrške uvođenja drugog borbenog ešelona napadača;

AVPO — očekivani broj artiljerijskih vatri u podršci;

DZA — deo artiljerije napadača koji treba da neutrališe artiljerija branioca;

FN\$VAB — empirijska funkcija zastupljenosti vrsta artiljerijskih baterija napadača;

DZK — deo artiljerije napadača po kome je rentabilna upotreba kalibara kojima raspolaže branilac;

UKO — verovatnoća učešća artiljerije branioca u neutralisanju ostalih baterija napadača;

TT1 — prosečno vreme otkrivanja tenkova i OT napadača u prvom borbenom ešelonu;

V\$TEP — raspodela u kojoj je TT1 matematičko očekivanje;

BTIT — očekivani broj tenkova i OT u prvom b/e napadača;

TT2 — prosečno vreme otkrivanja tenkova i OT napadača po uvođenju drugog b/e;

V\$TED — raspodela u kojoj je TT2 matematičko očekivanje;

TTD — očekivano vreme uvođenja OMJ napadača u drugom borbenom ešalonu;

BOD — očekivani broj tenkova i OT koje napadač uvodi u drugom b/e;

„

„

„

VTD — očekivano vreme trajanja b/d.

Kvantifikacija parametara, varijabli i funkcija je složen posao, a zavisi od iskustva kreatora modela sistema, znanja kojima raspolažu, kao i informatičke podrške. Jedan primer kvantifikacije nekih parametara za konkretan model dat je u tabeli (detalji se mogu naći u literaturi [1]).

Izlazi iz modela za simulaciju dinamike borbenih dejstava mogu se koristiti kao ulaz u model kvantifikacije utroška municije, u osnovi, nasledeći način:

— uvažavanjem vremenske slike stanja i potrebe municije po vrsti, kvalitetu i kvantitetu za ostvarenje željenih efekata po ciljevima;

— uvažavanje vremena dejstva grupa i pojedinačnih oruđa — oružja po ciljevima i praktične brzine gađanja u određenim uslovima borbenih dejstava;

Značajni vremenski parametri, varijable i funkcije za eksperiment

Oznaka	Kvantifikacija	Metodologija												
T1	54 (s) (9 desetinki minuta)	Prosečno vreme otkrivanja pešadijskog odeljenja (grupe) napadača, do I položaja (T1), II položaja (T2) i III položaja (T3) odbrane. Zavisi od tempa napada i preglednosti terena, meteoroloških i drugih uslova.												
T2	78 (s)													
T3	108 (s)													
TDE	6 (h) (1800 desetinki minute)													
TUR	12 (h)													
V\$PPE	0,01 + FN\$EXP													
V\$DEP	0,011 + FN\$EXP	Vreme kad se očekuje uvođenje II b/e i rezerve (TUR) napadača.												
V\$REP	0,012 + FN\$EXP													
FN\$ DAV	0,02, 30/0,06, 50/0,08, 80/0,14, 150/0,24, 200/0,4, 300/0,64, 600/0,7, 950/0,82, 1100/1,1500	DAV — empirijska funkcija dejstava artiljerije napadača. Najčešće dejstvo je posle 20 min (200 desetinki minuta), kad prestane priprema koju vrše avioni.												
T, T1, TT2, TTR	36 (s), 72 (s), 108 (s)	Prosečno vreme otkrivanja tenkova napadača, do I, II i III položaja odbrane.												
V\$TEP	(TT1).FN\$EXP													
V\$TED	(TT2).FN\$EXP	Generisanje vremena otkrivanja tenkova po eksponencijalnoj raspodeli.												
V\$TER	(TTR).FN\$EXP													
FN\$ VOC	0,17, 7/0,5, 8/0,678, 9/1,10	Funkcija zastupljenosti ostalih ciljeva oznakom 7-KM divizionara; 8-osmatračnice; 10-sredstva PEB; 9-ostali ciljevi.												
MH1	(1) (2) (3) (4)	U MH1, redovi: (1)-načina angažovanja pešadije branioca kad vodi PPB na liniji otvaranja vatre (S3-vatra so, S4-vatra MT) (2)-na liniji GZV (S3, S4, S5-MB 82mm)												
	(1) <table><tr><td>3</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>6</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>		3	4	0	0	3	4	5	0	3	6	4	5
3	4		0	0										
3	4		5	0										
3	6	4	5											
	(2) <table><tr><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>6</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	3	4	5	0	3	6	4	5					
3	4	5	0											
3	6	4	5											
	(3) <table><tr><td>3</td><td>6</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	3	6	4	5									
3	6	4	5											
MH2	(1) (2) (3) (4)	U MH2, u zavisnosti od načina dejstva, data su očekivana vremena trajanja dejstava po svakom otkrivenom elementu b/p napadača. Ta vremena su matematička očekivanja, a u konkretnom slučaju za eksponencijalnu raspodelu.												
	1) <table><tr><td>390</td><td>100</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>76</td><td>148</td><td>50</td><td>0</td></tr><tr><td>18</td><td>26</td><td>34</td><td>25</td></tr></table>		390	100	0	0	76	148	50	0	18	26	34	25
390	100		0	0										
76	148		50	0										
18	26	34	25											
	2) <table><tr><td>76</td><td>148</td><td>50</td><td>0</td></tr><tr><td>18</td><td>26</td><td>34</td><td>25</td></tr></table>	76	148	50	0	18	26	34	25					
76	148	50	0											
18	26	34	25											
	3) <table><tr><td>18</td><td>26</td><td>34</td><td>25</td></tr></table>	18	26	34	25									
18	26	34	25											

— provođenjem kritičke analize izlaza iz modela dinamike borbenih dejstava, određivanjem vremenskog intervala u kojem se može pouzdano određivati utrošak, i

— kombinacijom navedenih načina.

Za navedene i druge moguće kombinacije može se definisati sledeći model kvantifikacije utroška municije:

$$Q_{m, \Delta t}^i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^k q_{ij}^i n_{ij} \Delta t_i \gamma_{qi} f_{\Delta t_i} \quad (1)$$

$$Q_{m, \Delta t_i}^i(v_G) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^k v_{G,j}^{i, \Delta t_i} n_{ij} t_{ij} \gamma_{qi} \quad (2)$$

$$Q_{m, T}^i = \sum_{\Delta t_i=1}^T Q_{m, \Delta t_i}^i \quad (3)$$

$$Q_{m, T} = \sum_{i=1}^n Q_{m, T}^i \quad (4)$$

Pri tome su oznake:

— $Q_{m, \Delta t_i}^i [t]$ — masa municije i-te vrste, utrošene u intervalu vremena $(\Delta t_i - \Delta t_{i-1})$;

— $i=1, \dots, n$ — oznaka vrste municije iz sastava borbenog kompleta jedinice za koju se određuje utrošak municije u vremenu;

— $j=1, \dots, k$ — oznaka vrste cilja iz skupa mogućih ciljeva, po kojem se dejstvuje;

— $q_{ij}^i [kom]$ — potrebna količina municije i-te vrste za ostvarivanje željenog efekta po cilju j-te vrste;

— $n_{i, \Delta t_i} [kom]$ — broj ciljeva vrste j, na koje se dejstvuje municijom i-te vrste, u intervalu $(\Delta t_i - \Delta t_{i-1})$;

— $\gamma_{qi} [t/kom]$ — masa pojedinačnog projektila i-te vrste municije;

— $f_{\Delta t_i}$ — koeficijent popravke usled specifičnih uslova dejstava;

— $Q_{m, \Delta t_i}^i(v_G)[t]$ — masa municije i-te vrste, utrošene u intervalu vremena $(\Delta t_i - \Delta t_{i-1})$, kad se kao referenca uzima brzina oružja — oruđa;

— $v_G^{i, j, \Delta t_i} [projektila/min]$ — praktična brzina gađanja oruđa vrstom municije i, po cilju j u intervalu vremena $(\Delta t_i - \Delta t_{i-1})$;

— $t_{ij} [min]$ — vreme trajanja vatre;

— $n_i [kom]$ — broj oružja — oruđa koja gađaju cilj j u intervalu $(\Delta t_i - \Delta t_{i-1})$ municijom, i

— $Q_{m, T}^i [t]$ — ukupna masa utrošene municije svih vrsta, do vremena T;

— $T [h]$ — posmatrani period vremena koji je protekao u odnosu na početak borbenih dejstava.

U skladu sa eksperimentalnim okvirima koji se mogu koristiti na modelu dinamike borbenih dejstava, model kvantifikacije može se povezati sa modelom borbenih dejstava. Moguća je i varijanta izrade posebnih programa u kojima će kostur biti model kvantifikacije utroška municije u vremenu, na osnovu ulaza, prethodno definisanih izlazom — rezultatima eksperimentisanja na modelu dinamike borbenih dejstava. Zadnja varijanta je pogodnija kod analize u kojima je značajan faktor uticaja kvaliteta municije na efekat po ciljevima.

Za potrebe utvrđivanja utroška municije mbr u karakterističnim dejstvima izrađeni su modeli, uz sledeća ograničenja:

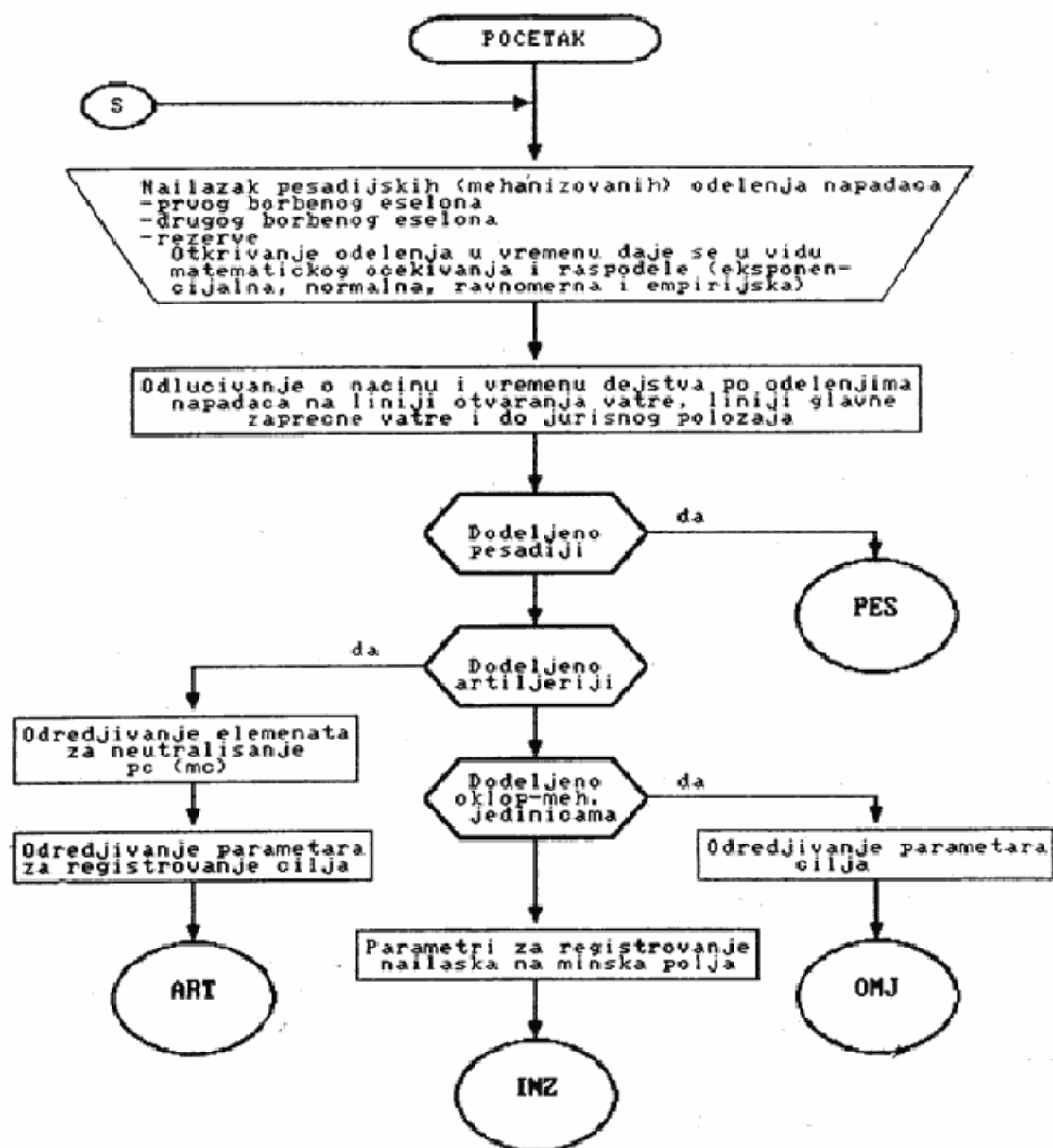
— smatra se da je vatra celokupnog naoružanja međusobno usklađena;

— obezbeđena je potrebna koncentracija vatre (linija glavne zaprečne vatre, prepreke, prolazi, itd.);

— vatra se prenosi na ciljeve blagovremeno;

— sistemi vatre su prilagođeni zemljištu i promenama borbenog rasporeda;

— organizacija vatre je usklađena sa ciljem i zadatkom jedinice — potrošača municije, ešalonirana po dubini;



Sl. 1 — Deo logičkog dijagrama modela (list 1)

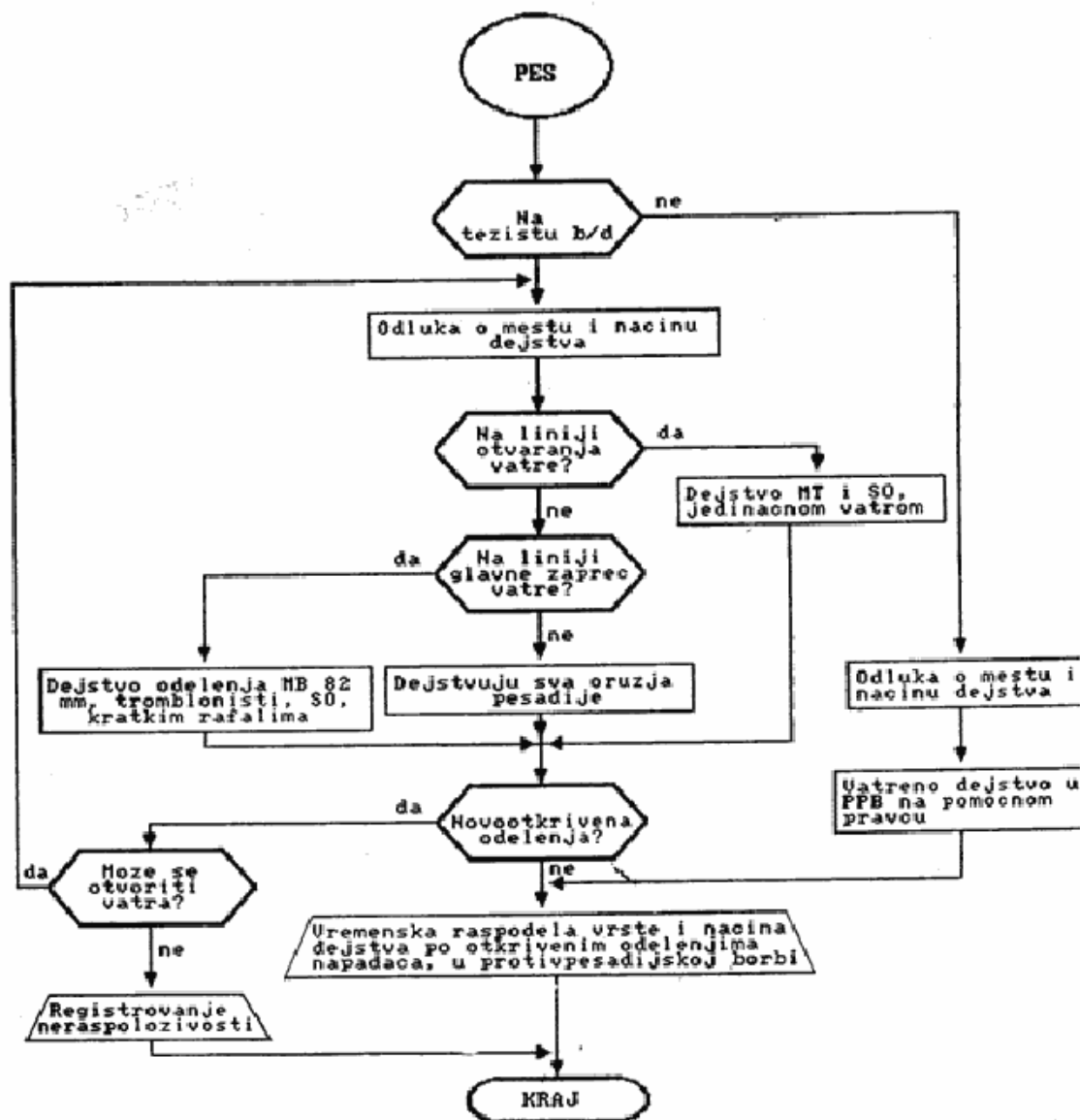
— maskirna disciplina je zastupljena, a manevar resursima ne narušava efikasnost vatrenog sistema.

Modeli su prezentirani opisom, logičkim dijagramima, programima za računar i utvrđeni potrebni eksperimenti. Deo logičkog dijagrama modela dinamike b/d za određivanje utroška municije u vremenu prikazan je na slici 1.

Valjanost modela dinamike borbanih dejstava i modela kvantifikacije

utroška municije u vremenu utvrđena je adekvatnim testiranjima i upoređivanjem sa rezultatima koji su poznati u teoriji i praksi.

Izlazi iz simulacije i modela kvantifikacije, za konkretan zadatak, poslužili su za određivanje krivih utroška municije u vremenu. Na slici 2 prikazani su krive utroška municije 7,62 mm za minimalnu i maksimalnu gustinu va-



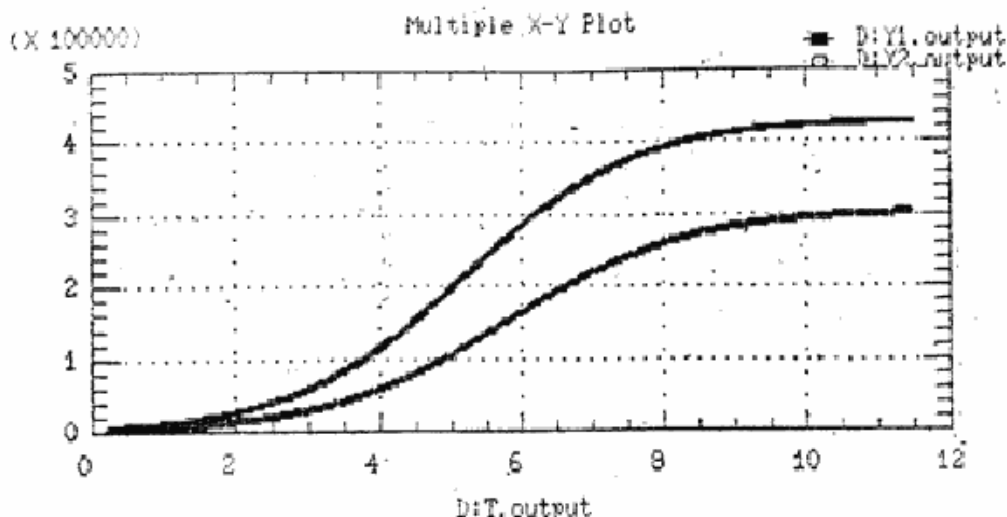
Sl. 1 — Deo logičkog dijagrama modela (list 2)

tre. Kako se očigledno radi o logičkim krivama («s» krive), u teoriji su opisane izrazom:

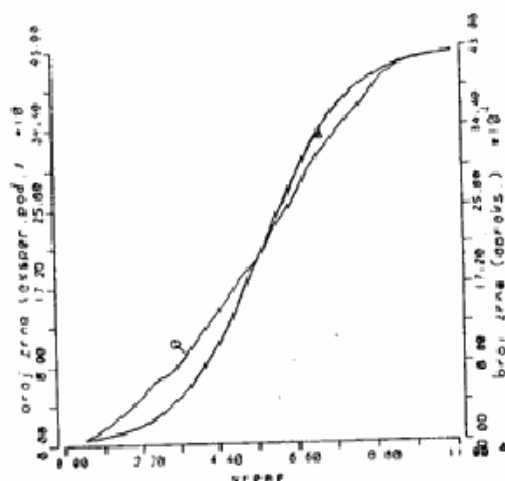
$$Y_t = \frac{k}{1 + b e^{at}} \quad (5)$$

pri čemu se parametri k , b i a mogu odrediti poznatim statističkim metoda-
ma tri tačke.

Za ostale vrste municije takođe su dobijene krive utroška za određeni pe-
riod borbenih dejstava, u karakteristi-
čnom zadatku jedinice. Za potrebe sta-
tističke obrade i analize rezultata ko-
rišćena je pogodnost, koju omogućuje
GPSS: pri istom scenariju borbenih
dejstava menjano je početno stanje ge-
neratora slučajnih brojeva. Pri tome su
ovi brojevi menjani po tablici slučajnih



Sl. 2 — Utrošak municije 7,62 mm u komadima, za prvih 12 časova b/d za minimalnu i maksimalnu gustinu vatre



Sl. 3 — Kriva utroška municije 7,62 mm za 12 časova b/d (eksperimentalna i aproksimacija)

brojeva, tako da je obezbeđena neophod-
na nezavisnost simulacija za dati scena-
rio dejstava. Izvršena je ocena značaj-
nih statističkih veličina za željeni ste-
pen pouzdanosti.

Na modelu su mogući i eksperimenti
u kojima se ocenjuju relativni od-
nosi za varijante angažovanja resursa.
Za tu svrhu se početne vrednosti ge-
neratora slučajnih brojeva drže konsta-
ntnim, a scenario menja po želji istra-
živača (parametri, varijable i funkcije)
u skladu sa eksperimentom.

Za tesni primer utvrđena je odr-
živost rezultata, tako što su upoređeni
sa iskustvima o utrošku municije u sa-
vremenim borbenim dejstvima, za sli-
čne situacije (za, na primer, municiju
kalibra 7,62 mm, prema FM 101-10-1,
za slična dejstva u Vijetnamu utrošak

po angažovanom oružju bio je od 35 do 245 metaka, na dan „a“ pomodelu je dobijano 115 do 173). Konstruisana je kriva ukupne mase utrošene municije za dati period borbenih dejstava.

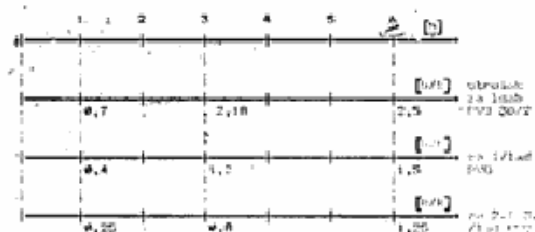
Kad je poznata (ocenjena) dinamika utroška municije, pristupa se analizi zahteva koji se postavlja pred sistem snabdevanja, za snabdevanje potrošača municije.

Skup rezultata dobijenih za testni primer može poslužiti za analizu problema vezanih za sistem snabdevanja jedinica municijom.

Određivanje resursa za snabdevanje

Poznata (procenjena) dinamika trošenja municije jeste izlaz za analizu organizacije i tehnologije snabdevanja potrošača municijom. Pored poznate potražnje, treba odrediti varijante organizacije (ešeloniranja, principi dotura, neprikosnovene rezerve) i tehnologije, pre svega tehnoloških elemenata koje treba dovesti u odnos sa zahtevima. Očigledna je veza intervala strpljivosti potrošača sa potrošnjom i ešeloniranjem municije, a skup za optimizacije u sistemu snabdevanja zaokružuje se informacijama o tehnološkim i drugim ograničenjima.

Za prikaz mogućnosti korišćenja rezultata stimulacije može poslužiti analiza potreba za snabdevanje klasičnom



Sl. 4 — Utrošene količine municije u lad PVO u vremenu

municijom lad PVO, koji je u eksperimentu izvodio adekvatna b/d. Na slici 4 prikazana je količina utrošene municije u borbenim kompletima po vremenu, za prvih 6 časova dejstava.

Pod pretpostavkom da je u jedinici lad PVO ešeloniran 1 b/k municije uz oruđa i 1 b/k u pozadini ove jedinice, vidi se da vrlo brzo nastaje potreba za snabdevanjem municijom kalibra 30 mm sa višeg nivoa. Zamena mesta baterija u borbenom rasporedu ne dolazi u obzir, zbog taktičkih razloga (model omogućava ovako ispitivanje).

Moguća varijanta ešeloniranja (ili organizacije snabdevanja u konkretnom slučaju) je:

1 b/k municije uz oruđa kalibra 30 mm;

1,5 b/k municije 30 mm u pozadini lad PVO.

Kod visokog intenziteta naprezanja, za dati period borbenih dejstava na taj način bi se mogao produžiti interval strpljivosti lad PVO, kada je u pitanju snabdevanje municijom sa višeg nivoa.

Uzimajući u obzir navedeni pristup, za rešavanje problema snabdevanja municijom u b/d, pozadinska jedinica lad PVO morala bi da raspolaže sledećim resursima:

— motorna vozila nosivosti 5 t, 3 komada (jedno za pretovar, na jednom 1 b/k za bateriju 20/3 mm i na jednom 1 b/k za lab PVO 30/2 mm);

— motorno vozilo nosivosti 8—10 t (niske pokretljivosti), 1 komad (za utovar 0,5 b/k municije za lab PVO 30/2 mm i 2 b/k municije za bateriju lab PVO 20/3 mm);

— 15 ljudi za pretovar municije (ručni), uz $I_{m1}=30$ min za pretovar municije sa motornog vozila niske pokretljivosti (na vozila 5 t) i njegovo upućivanje u StTS višeg nivoa snabdevanja radi popune.

Da bi razmatranje bilo zaokruženo, trebalo bi provesti modeliranje snabdevanja, u kojem bi bilo značajno, pored ostalog, i simuliranje dejstava napadača po adekvatnim resursima. Za analizu nije zanemariva ni raspoloživost puteva dotura i evakuacije u vreme kada treba realizovati zadatke snabdevanja, pa se i taj element mora uključiti u razmatranje.

Zaključak

Složeni procesi i velika promena stanja okruženja u kojima se odvijaju borbena dejstva uslovljavaju stohastičnost trošenja svih resursa. Predviđanje utroška resursa u vremenu, posebno municije, značajno utiče na određivanje organizacije i tehnologije snabdevanja potrošača u borbi i na određivanje značajnih sistema snabdevanja tehničkim materijalnim sredstvima. Savremene oružane snage razvijaju metodologije za predviđanje utroška resursa u skladu sa uslovima i načinom izvođenja borbenih dejstava, strukture snaga, doktrinarnim stavovima i drugim uslovima.

U prikazanoj metodologiji uvažavaju se karakteristike složenih dinamičkih procesa u borbi, saznanja operativno-taktičkog karaktera i problematike vezane za snabdevanje potrošača municije. Za potrebe predviđanja utroška municije polazi se od modela borbenih dejstava i definisanja funkcije međusobnih dejstava protivnika. Formiraju se skupovi podataka na osnovu statističke obrade informacija iz savremenih ratova, rezultata savremenih

istraživanja i drugih izvora ([1]). Ovi skupovi se preslikavaju u kreirani simulacioni model (čija je valjanost utvrđena) u obliku parametara, varijabli i funkcija i vrše simulacije. Po dobijanju vremenske slike stanja kvantifikacije i analize krivih utroška municije u vremenu, pristupa se analizi problema vezanih za snabdevanje.

Ako su rezultati, dobijeni na opisani način, dovoljno pouzdani, mogu se primeniti u analizi tehničkog snabdevanja. Poznavanje zakonitosti trošenja municije u vremenu, pojavnog oblika, količina i vrsta municije, kao i intervala strpljivosti potrošača za merodavne periode vremena, može doprineti rešavanju problema vezanih za snabdevanje municijom jedinica u borbi. Primenom prikazanog pristupa, kada se izlazi iz modela za utvrđivanje utroška uzimaju kao osnova za određivanje snabdevačkih kapaciteta, raste verovatnoća primene principa automatizma u snabdevanju potrošača municije.

Jednom kreirane simulacione modele moguće je (i potrebno) dograđivati u skladu sa novim saznanjima o ponašanju sistema koji model oponaša. Mogućnosti za relativno jednostavne izmene eksperimentalnog okvira takođe su pogodnost i razlog više za kreiranje simulacionih modela. Analitičarima sistema najčešće preostaje konstruisanje modela za simulaciju, jer je to, zbog složenih stohastičkih procesa koji se istovremeno odvijaju u borbi, jedini način za pouzdanije predviđanje zahteva za snabdevanje koji se u vremenu postavlja pred sistem.

Literatura:

- [1] Maksić, R.: Prilog definisanju postupka za utvrđivanje zakonitosti utroška municije u vremenu za jedinice u oružanoj borbi, doktorska disertacija, CVTS Kov JNA, Zagreb, 1989.
- [2] Vukićević, S. i drugi: RAMA-2, istraživački projekt, SSNO, Beograd, 1988.
- [3] Vukadinović, S.: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1978.
- [4] Field Manual № 101-10-1, Headquarters Department Of The Army, Washington, C. C., 26 July, 1971.
- [5] Maksić, R., Mišković, V., Kerec, Z.: Simulacija borbenih gubitaka, Zbornik radova, XV Symposium, 1988.



vojno školstvo

Mr Zvonko Maričić,
potpukovnik, dipl. inž.

»Tehnologija održavanja naoružanja« u sklopu reforme vojnog školstva

Jedna od polaznih osnova stvaranja visoko obrazovanog, stručno osposobljenog i profesionalno usmerenog oficira tehničke službe svakako je nastavni plan i program. U radu je dat predlog programa jednog od stručnospecijalističkih predmeta koji bi postavljenim zadacima i sadržajem mogao biti pretpostavka stvaranja takvog profila.

Uvod

Nije potrebno dokazivati da se ritam ovladavanja novim tehnologijama gotovo svakodnevno ubrzava. Ko ne može da prati takav tempo razvoja nužno stagnira i ta sudbina jednako pogađa pojedince, grupe, institucije, države, društva... A napretka nema bez ljudskog znanja i veština. Razvoj nauke je, stoga, osnovna pretpostavka razvoja društva. Ljudsko mišljenje, znanje i veštine su one prelomne tačke iz kojih sve počinje i time postaju odlučujuća poluga društvene reprodukcije i uslov opstanka u savremenom svetu.

Time i vaspitno-obrazovna komunikacija, kao pretpostavka ljudskog znanja, postaje nužan uslov za prodor u zbivanja moderne civilizacije. Otuda potreba da se i sistemi vaspitanja i obrazovanja stalno inoviraju.

Stvaranje visokoobrazovanog, stručno osposobljenog i profesionalno usmerenog oficira tehničke službe (TSI) jako je složen i delikatan zadatak. Od više preduslova ovaj rad takvu težnju obrađuje sa aspekta sadržaja programa jednog od stručnospecijalističkih predmeta koji, zajedno sa nekim predmetima koji mu prethode, u konačnoj formi određuje stručnospecijalistički profil.

Profil i profesionalna usmerenost oficira tehničke službe

Već niz godina postoji dilema kakav profil oficira TSI je potreban JNA, a naročito sada Vojsci Jugoslavije (VJ).

Ocenjuje se da poslednje dopune nastavnih planova i programa (NPP) u Vojnotehničkoj Akademiji (VTA) KoV

predstavljaju izbalansirani sadržaj koji obezbeđuje inženjerska znanja. Koncipiran je tako da slušaoci, budući oficiri TS1, treba da steknu fundamentalna znanja uz naglašenu specijalizaciju i solidna opštevojna znanja. Kasnije, kroz praksu, pojedinci svoja znanja moraju nadograđivati u zavisnosti od nivoa rukovođenja i komandovanja na kojem se budu nalazili.

Profesija oficira TS1 ima svoje zahteve u oblasti znanja, navika i veština. Uspeh njegovog rada u velikoj meri će zavisiti od socijalne orijentacije, nivoa njegovih moralnih, duhovnih i psiholoških osobina.

Profesionalna usmerenost ogleda se i u ličnom stremljenju primene svojih znanja, iskustva i sposobnosti u oblasti izabrane profesije. Pri tome se podrazumeva i pozitivan odnos prema profesiji, sklonost i interes za nju i spremnost da zadovoljava svoje duhovne i materijalne potrebe, radeći u oblasti svoje profesije. Naravno, sve to se ne postiže samo školovanjem.

Stručnjak u oblasti tehničke službe mora biti u stanju da prati i shvati savremene pristupe u održavanju tehničkih sredstava i da primenu savremenih koncepcija u održavanju doživljava kao izazov i potrebu. Da bi to bilo moguće, ponuđena stručnospecijalistička, a naročito fundamentalna znanja, moraju biti znatno šira i predstavljati »otvorena vrata« za sve pojedince koji potencijalno, mogu da prate i apsorbuju dostignuća u toj oblasti. Stoga, predmet »tehnologija održavanja naoružanja« treba da obuhvata zadatke i sadržaj koji objektivno mogu biti uslov stvaranja kreativnog nosioca u službi održavanja sredstava naoružanja i vojne opreme.

Zadaci predmeta

U odnosu na prethodna razmatranja pred predmet »tehnologija održavanja naoružanja« postavljaju se sledeći zadaci:

— Sticanje znanja iz teorije održavanja tehničkih sredstava.

— Ovladavanje osnovama projektovanja tehnologije održavanja i izrade tehnološke dokumentacije za održavanje.

— Osposobljavanje za upravljanje i rukovođenje procesom održavanja sa stanovišta tehnologije održavanja.

— Razvijanje smisla za analitički pristup rešavanja problema u tehnologiji održavanja.

— Osposobljavanje za optimizaciju tehnološkog procesa održavanja (naročito na trupnom i armijskom nivou održavanja).

U kojoj meri su postavljeni zadaci objektivni i da li će ponuđenim programom biti realizovani stvar je ne samo kritičkih razmatranja već ispunjenja i ostalih preduslova savremene visokoškolske nastave i provere u praksi. Cilj je da se stvori kreativni nosilac tehničkog obezbeđenja koji će se brzo i uspešno prilagođavati različitim situacijama, a naročito u vanrednim uslovima.

Sadržaj programa predmeta

Imajući u vidu zadatke predmeta (u grupi stručnospecijalističkih predmeta zauzeo 96 časova — 5,1%), sačinjen je program koji, integracijom stručnospecijalističkih uz davanje novih znanja, predstavlja spoj teorije i prakse u oblasti tehnologije održavanja. Koncipiran je tako da se davanje novih znanja zasniva na usvojenim znanjima iz predmeta koji mu prethode, a struktuiran je tako da čini logičan redosled aktivnosti u definisanju održavanja tehničkih sredstava shodno zahtevima integralnog tehničkog obezbeđenja. Slušaoci treba da shvate da je i najsloženije probleme u održavanju moguće rešavati uz pomoć savremenih naučnih disciplina, i da je neophodno takva razmatranja sprovoditi u što ranijoj fazi razvoja sredstava. Iz tako postavljene teoretske sfere uspostavljene su rela-

cije sve do praktičnog provođenja postupaka održavanja, čime je obezbeđen proces upravljanja stanjem tehničkih sredstava.

Predavanja sačinjavaju četiri oblasti — tematska područja:

I — OSNOVE TEHNOLOGIJE ODRŽAVANJA

1. — Uvod u teoriju održavanja tehničkih sredstava

2. — Otkazi tehničkih sredstava

3. — Integralno tehničko obezbeđenje

Ovim blokom tema slušaoci se upoznaju sa osnovnim pojmovima i polaznim osnovama teorije održavanja, obeležjima sistema održavanja, kriterijuma optimizacije i početnim matematičkim modelima. Pri tome se tehnička sredstva posmatraju kao sistemi sa svim obeležjima sistema, a posebno, parametrima koji odražavaju stanje sistema. Posebna pažnja posvećena je otkazima tehničkih sredstava, jer, što više saznajemo o otkazima postajemo sposobniji da ih sprečimo i učinimo neškodljivim.

II — MODELIRANJE TEHNOLOGIJE ODRŽAVANJA

1. — Razrada tehnologije održavanja (u fazi razvoja sredstava naoružanja i usavršavanje postojeće tehnologije održavanja)

2. — Identifikacija i sistematizacija parametara tehnologije održavanja (matematički model tehnologije održavanja)

3. — Realizacija, praćenje, ocena i optimizacija tehnologije održavanja

Kroz ovaj blok tema slušaoci se osposobljavaju da probleme tehnologije održavanja razmatraju još u fazi projektovanja i razvoja tehničkih sredsta-

va (znatno pre upotrebe), kada su sve izmene jednostavne, a efekti, dugoročno gledano, veliki. Zadiranjem u strukturu tehničkih sredstava otvara se spektar pitanja iz oblasti tehnologije održavanja, kao što su pogodnost za održavanje, mogućnost agregatnog principa remonta, zamenljivost delova i sklopova... Takođe, slušaoci se osposobljavaju da odabranu varijantu tehnologije održavanja sprovedu u praksu, prate je, ocene i, po potrebi, poboljšavaju.

III — UTVRĐIVANJE TEHNIČKOG STANJA SREDSTAVA NAORUŽANJA

1. — Tehnička dijagnostika

2. — Postupak utvrđivanja tehničkog stanja pešadijskog naoružanja

3. — Postupak utvrđivanja tehničkog stanja artiljerijskih oruđa

4. — Osnovno i tehničko održavanje sredstava naoružanja.

5. — Remont i revizija sredstava naoružanja.

Imajući u vidu početne dužnosti oficira TS1, slušaoci treba da upoznaju praksu održavanja. To će im omogućiti brzo snalaženje u sistemu održavanja, kritički osvrt na postojeću praksu i rešenja, kao i sposobnost prihvatanja izmena radi poboljšanja pojedinih segmenata sistema održavanja.

IV — TEHNOLOŠKI PROCES REMONTA

1. — Osnovni pojmovi i karakteristike tehnološkog procesa remonta

2. — Faze tehnološkog procesa remonta

3. — Tehnička remontna dokumentacija (TRD)

Slušaoci treba da se upoznaju i osposobe za rukovođenje složenim rado-

vima u održavanju, kao što su srednji i generalni remont, a isto tako, da koriste i lako se snalaze u remontnoj dokumentaciji. Ovladavanje ovim znanjima je pretpostavka racionalizacije procesa održavanja i datim uslovima okruženja.

Vežbe iz predmeta sačinjava, uglavnom, praktičan rad na sredstvima i njihovim sklopovima iz područja utvrđivanja tehničkog stanja. Teme vežbi su:

1. — Osnovi tehnoloških merenja
2. — Pribor i sredstva za merenje i kontrolu stanja pešadijskog naoružanja (praktično izvođenje)
3. — Pribor i sredstva za merenje i kontrolu stanja artiljerijskih oruđa (praktično izvođenje)
4. — Opitna gađanja iz pešadijskog i artiljerijskog naoružanja (bez praktičnog izvođenja)
5. — Osnovno i tehničko održavanje pešadijskog i artiljerijskog naoružanja (praktično izvođenje na odabranim sredstvima)
6. — Tehnološki proces konzervacije sredstava naoružanja (poseta stanicama za konzervaciju)
7. — Upoznavanje sa postojećim TRD odabranih predstavnika sredstava naoružanja.

Cilj vežbi jeste da slušaoci, korišćenjem tehničkih uputstava (TU-I i II) i ostale tehničke dokumentacije, ovladaju postupkom provera i ocene tehničkog stanja, kako sklopova, tako i oružja-oruđa kao celine. Postupci obrade, opravke i zaštite samo se nabrajaju uz naglašavanje mogućnosti, dok se akcent daje dijagnostici, defektaciji i oceni stanja. To slušaoci treba da pripremi za samostalno donošenje odluka u službi (naročito u trupnim uslovima).

Iz teme br. 2, 3 i 5 slušaoci pripremaju i izvode po jednu vežbu uz nadzor i pomoć nastavnika i instruktora. Pri tome slušaoci treba da pokažu da su ovladali veštinom upotrebe osnovnih mernih sredstava.

Kao poseban oblik nastave predviđena je samostalna izrada seminarskog rada iz sledećih oblasti:

1. — Prema Uputstvu za izradu TRD za jedan sklop oružja-oruđa razrada TRD za GR
2. — Analiza tehnologije održavanja odabranog predstavnika sredstava naoružanja
3. — Identifikacija, sistematizacija i analiza otkaza odabranog predstavnika sredstava naoružanja

Cilj seminarskog rada jeste da se stečena znanja provere primenom na konkretnom problemu i sredstvu iz navedenih oblasti.

Za sprovođenje vežbi neophodan je kabinet koji treba da bude popunjen na sledeći način:

- po jedan primerak grupe oružja-oruđa;
- odabrani sklopovi oruđa i njihovi preseki;
- šeme odabranih sklopova;
- garniture opštih i specijalnih alata, opreme i sprava;
- pokretna tehnička radionica za remont naoružanja;
- sklopovi i delovi sa karakterističnim oštećenjima i neispravnostima;
- dokumentacija koja se vodi u TS1;
- tehnička uputstva TU-I, II, III i IV i odabrana tehnička dokumentacija;
- personalni računar sa instaliranim informacionim sistemom TS1 i delom baza podataka;
- ostala oprema i pomagala (grafoskop, video, ...).

Deo znanja iz predmeta koji se ne mogu steći u kabinetskim uslovima (tehnološki proces generalnog remonta i revizije i neki složeniji radovi u održavanju) slušaoci treba da steknu kroz izvođenje stručnog stažiranja u remontnim zavodima.

Umesto zaključka

U prethodnom sadržaju predmeta »tehnologija održavanja naoružanja« nisu se razmatrala dostignuća u oblasti održavanja tehničkih sredstava. Sadržaj je koncipiran tako da je slušaoc pripremao isključivo za početne dužnosti. Nije se osećala potreba za prethodnim znanjima, pa se mogla čuti i konstatacija da su slušaoci previše školovani u odnosu na dužnosti koje će obavljati. Naime, slušaoci su bili osposobljeniji za projektovanje sredstava nego za rad u službi održavanja, što je izazivalo i odbojnost prema poslovima održavanja.

Posledice takvog rada bile su očite kada se, sredinom devedesetih godina, radilo na projektu »Usavršavanje sistema održavanja«, u okviru kojeg je postavljen zadatak »Razrada tehnologije održavanja«. Deo organa TS1 nije bio u stanju da shvati ideje i ciljeve zadatka. Zbog već uhodanog klišea, praksa održavanja se sporo menja i nedovoljno se vodi računa o generacijskom i tehnološkom jazu sredstava naoružanja i vojne opreme.

Literatura:

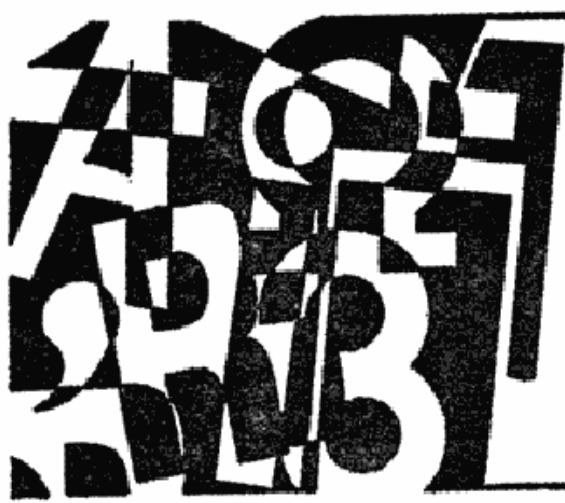
- [1] Pedagoško-psihološke osnove visokoškolske nastave (prevod sa ruskog), CVTS KoV JNA, Zagreb, 1987.
- [2] Nastavni plan i program na VTA CVTS KoV JNA, Zagreb, 1985.

Budući oficir TS1 u svom svakodnevnom radu mora koristiti stručnu literaturu, standarde i propise i uspešno se snalaziti u njima.

Ponudeni program predmeta, uvažavajući trendove razvoja sredstava naoružanja i vojne opreme, trendove u oblasti održavanja, propuste prethodnog programa i potrebe TS1, na neki način, predstavlja kompromis i prelazno rešenje. Kompromis zbog toga što je slušaocima potrebno preneti znanja, kako za obavljanje početnih dužnosti, tako i polazna znanja koja će sposobnim pojedincima omogućiti učešće u stručnim zahvatima u sistemu održavanja. Prelazno rešenje ogleda se u tome što konstatovani raskorak nije moguće premostiti odjednom, već je potrebno da se program proveru u praksi i, po potrebi, nadograđivati ga.

Stoga, ponudeni program treba da predstavlja bar prvo približavanje realizaciji postavljenih zadataka i ciljeva. Takve ambicije sigurno postoje, no treba imati na umu da NPP ne donosi rezultate sam po sebi, već tek uz odgovarajuće angažovanje nastavnika postaje stvaran.

- [3] Elaborati Projekta »Usavršavanje sistema održavanja TMS KoV«, CVTS KoV JNA, Zagreb, 1983.—89.



prikazi iz inostranih časopisa

Evropski program razvoja perspektivnih vojnih tehnologija »EUCLID«^{*)}

Tokom nekoliko poslednjih godina evropske zemlje pokušavaju da organizuju koordinaciju svojih radova u oblasti razvoja perspektivnih tehnologija, uključujući i tehnologije vojnoga smjera. Najobimnije mere u tom smislu preduzete su poslednjih 5 godina u okviru programa EURECA po inicijativi Francuske. U realizovanju preko 400 programa 19 zemalja je prijavilo svoje učestvovanje, a ovi programi su, uglavnom, povezani sa razvojem takvih perspektivnih tehnologija, kao što su mikroelektronika, informatika, veza, biotehnologija i zaštita čovekove okoline. U toku ostvarivanja programa učestvovalo je oko 2.000 organizacija, a ukupni obim finansijskih sredstava dostigao je sumu od 10 milijardi ekija.

Deo radova u okviru programa EURECA, sa izrazito vojnim smerom, bio je objedinjen u program koji je dobio naziv EUCLID (European Cooperation for the Long term in Defence — dugoročna kooperacija u oblasti vojne tematike evropskih zemalja). Godine 1989. rukovodioci vojnih resora zema-

lja potpisali su dogovor o nezavisnoj evropskoj grupi programa IEPG (Independent European Program Group). U ovu grupu spadaju sve evropske zemlje, članice NATO, ali ona formalno nije povezana sa organizacionim strukturama NATO.

Proglašeni su osnovni ciljevi programa EUCLID:

- stvaranje tržišta otvorenijeg za konkurenciju za oružje i vojnu tehnologiju u okviru evropske zajednice;

- podrška intenzivne izmene tehnologije vojnog značaja između zemalja — članica grupe IEPG za strukturno usavršavanje i racionalizaciju njihovih vojnih industrija, uključujući ukazivanje namenske pomoći zemljama sa manje razvijenom vojnom industrijom;

- učvršćivanje saradnje u oblasti razvoja i proizvodnje savremenog naoružanja i tesna saradnja vojnonaučnog i vojnotehničkog potencijala evropskih zemalja radi isključivanja dubliranja radova vojnog smjera i stvaranja jedinstvenih operativnih uslova i standarda za oružje i vojnu tehniku.

Program EUCLID koordinira rad u nizu najperspektivnijih tehnoloških oblasti CEPA (Common European Priority Areas). Ove oblasti su razbijene u

^{*)} Prema podacima iz časopisa: »ZARUBENOE OBOZRENIE« 1/82.

konkretno projekte istraživanja i razvoja. Za koordinaciju radova u svakoj tehnološkoj oblasti (što predstavlja analog spisku »kritičnih tehnologija« ministarstvo odbrane SAD (vidi VTG br. 3/1992) stvorene su radne grupe koje su oformile spisak projekata.

Za dalji rad u okviru programa EUCLID određeno je 11 perspektivnih tehnologija i preko 50 projekata (vidi tabelu). Ministri odbrane zemalja IEPPG potpisali su memorandum o međusobnom razumevanju u kome je naveden spisak takvih projekata, njihova glavna područja, sadržaj i orijentacioni rokovi izvršavanje predstojećih radova. Zemlja, nosilac projekta istraživanja i razvoja, saglasno dogovoru na konkursnoj bazi, bira organizaciju (firmu) koja će biti nosilac zadatka. Pri tome se pretpostavlja da će firma-nosilac zadatka vršiti raspodelu novčanih sredstava između firmi-podugovorača onih zemalja koja su ta sredstva odvojila za realizovanje projekta u kojima učestvuju. Na takav način ipak se radi samo o koordinaciji radova koji se izvode, a ne o centralizovanoj preraspodeli finansijskih sredstava između učesnika u programu, kako je bilo prvobitno odlučeno. Očekuje se da će i zainteresovane firme sopstvenim sredstvima finansirati te radove. Planirano je da će svake godine po vladinoj liniji biti izdvojeno za program EUCLID ne manje od 140 miliona dolara, a trećinu ove sume daće Francuska. Zapadni stručnjaci smatraju da će se kasnije te novčane doznake i povećavati.

Na prvi pogled, struktura programa EUCLID, po ciljevima i smerovima rada, naliči na oblasti »kritičnih vojnih tehnologija« na osnovu kojih u SAD teče razvoj najperspektivnijih projekata pod rukovodstvom ministarstva odbrane. Ali, ipak, ovde postoje međusobne principijelne razlike.

Prvo, evropski program nema za glavni cilj dostizanje liderstva u svetu u svim objavljenim oblastima. Imajući u vidu realne mogućnosti, postavljeni zadaci su skromniji — očuvanje konku-

rentskih sposobnosti evropskog naoružanja za njegov izvoz u zemlje »trećeg sveta«, obezbeđenje dinamičnijeg razvoja vojne industrije zemalja koje učestvuju u programu, objedinjavanje njihovih napora pri stvaranju naučno-tehničkog zaloga budućih programa razvoja naoružanja.

Drugo, u vreme kada se pozicije SAD zasnivaju na težnji svestranog iskorišćavanja dostignuća drugih zemalja, uključujući i evropske, za napredak sopstvenih radova, dotle je evropski program u znatnoj meri orijentisan na izbegavanje suvišnog paralelizmu u radu koji sprovede američki stručnjaci i na racionalno iskorišćavanje one tehnologije koju su oni spremni da saopšte. Evidentan je primer upoređivanje radova u okviru »kritičnih tehnologija« ministarstva odbrane SAD »Kontrola odraza objekata vojne tehnike« i radova po odeljku programa EUCLID »Upravljanje odrazima objekata«. EUCLID ne pretpostavlja sprovođenje istraživanja u okviru širokog programa tipa američkog »Stealth« (nevidljivi avion), tim pre što evropske zemlje ni pojedinačno ni zajedno nisu u stanju (pa čak im nije ni potrebno) stvaranje sistema oružja koje je analognom američkom strategijskom bombarderu B-2. Evropske zemlje, u krajnjoj meri danas, prisiljene su da se koncentrišu na rešavanje pojedinačnih problema, kao što je smanjivanje demaskirajućih obeležja stacioniranih objekata, zaklona za avione, poletno-sletnih staza, itd.

Treće, program EUCLID u znatnoj meri je orijentisan na postizanje kratkoročnih ciljeva, a ne kao kod »kritičnih tehnologija« ministarstva odbrane SAD. Tako, na primer, radovi na razvoju perspektivnih radara nisu usmereni na stvaranje sredstava za otkrivanje i navođenje sa kvalitativno novim mogućnostima, već pre na razvoj već relativno dobro uhodanih tehnologija razvoja radara sa aktivnim faziranim antenskim rešetkama. Istraživanja se neposredno dotiču sa programom razvoja stanice ECP-90 za ugradnju u per-

TABELA PERSPEKTIVNIH TEHNOLOGIJA IZ PROGRAMA »EUCLID«

Naziv tehnologije	Sadržaj radova	Osnovne zemlje — učesnice (firme)
Perspektivni radari (Modern Radar Technology)	Kvalitativno poboljšanje radara u vozilima (letelicama, brodovima), uključujući one sa faziranim antenskim rešetkama, za presretanje ciljeva u vazduhu. Stvaranje arsenidgalijumskih monolitnih integralnih kola ultravisokih frekvencija za radarsku tehniku.	NEMAČKA, (»Dornier«, »Siemens«), Britanija (»Marconi«, »Ferranti«), Francuska (»Tompson-CSF«), Holandija (»Hollandse Signaal-apparaten«), Italija (»Elektronica San Giorgio«)
Mikroelektronske komponente od silicijuma (Silicon Micro-electronics)	Modernizacija komercijalnih silicijumskih integralnih kola da odgovaraju uslovima za vojnu primenu: poboljšanje pouzdanosti i otpornosti na zračenje, usavršavanje međuspojeva i ploča. Stvaranje standardnih familija integralnih kola za vojnu namenu.	FRANCUSKA (Uglavnom francuske, nemačke i britanske firme)
Konstrukcije od kompozitnih materijala (Composite Structures)	Razvoj novih kompozitnih materijala i konstrukcija od njih (uključujući izučavanje njihovih svojstava), uključujući olakšani oklop za tenkove i pomorsku tehniku, kompozitne materijale otporne na toplotu za korišćenje u gasnoturbinskim motorima i aerokosmičkoj tehnici.	HOLANDIJA, Britanija (»Rolls Royce«, »British Aersspace«), Francuska, Španija, Norveška
Modularna avionska elektronska oprema (Modular Avionics)	Razvoj standarda za avionsku elektroniku borbenih specijalnih aviona i razvoj modula koji zadovoljavaju te standarde, uključujući radare, sredstva za navigaciju i vezu, izviđačka sredstva i sredstva za elektronsku borbu.	Nisu određeni
Elektrodinamički ubrzivači mase (Electric Gun)	Stvaranje artiljerijskih sistema koji će moći uništavati perspektivna oklopna vozila. Razvoj sredstava koja koriste elektromagnetsku energiju za ubrzavanje projektila male mase do brzine 10—15 km/s, uključujući šinske, solenoidne i elektrotermičke sisteme za izbacivanje.	V. BRITANIJA
Veštački razum (Artificial Intelligence)	Naučnoistraživački i opitno-konstruktorski rad u oblasti veštačkog razuma (inteligencije) za vojne ciljeve: automatizovana radna mesta komandira i poslužilaca automatskih sredstava za komandovanje vojskom, sredstva za prepoznavanje slika i reči, stvaranje baza znanja.	FRANCUSKA, Britanija, Holandija
Upravljanje karakteristikama objekata (Signature Manipulation)	Razvoj sredstava i metoda smanjivanja demaskirajućih osobina oružja i vojne tehnike, kao i građevina u osnovnim fizičkim poljima.	SPANIJA, Francuska

Naziv tehnologije	Sadržaj radova	Osnovne zemlje — učesnice (firme)
Optronički instrumenti (Opto-Electronic Devices)	Usavršavanje infracrvenih izviđačkih da-vača, razvoj »solid state« lasera i gasnih CO ₂ lasera malih dimenzija, stvaranje novih algoritama za zajedničku obradu izviđačkih podataka od mnogih izvora.	ITALIJA (»Agusta«), Britanija (»Marconi«), Holandija
Kosmička sredstva za osmatranje (Satellite Surveillance Technology)	Stvaranje evropskih sredstava za pro-veravanje kako države poštuju obaveze iz postojećih i budućih dogovora o kon-troli naoružanja i vojnih delatnosti, uk-ljučujući optičke sisteme sa visokim stepenom razlaganja, kosmičke radare sa sintetičkim otvorima, sredstva za pre-daju i obradu podataka u realnom vre-menu.	FRANCUSKA, Norveška, Nemačka, Italija, Spanija
Sredstva za ot-krivanje pod-vodnih objekata i propratne teh-nologije (Underwater Detection and Related Tech-nologies)	Istraživanje dinamike okeana, stanje šuma i rasprostiranje akustičkih oscila-cija niskih i vrlo niskih frekvencija u podvodnoj sredini. Razvoj okeanograf-ske tehnike i vučenih rešetaka hidro-fona. Matematičko modeliranje procesa u okeanu.	BRITANIJA (»Marconi«), Norveška
Inženjerijska psihologija (Human Fac-tors)	Razvoj trenažera vojne tehnike, koji se koriste za povećanje kvaliteta obuke ljudstva. Kasnije se pretpostavlja spro-vodenje radova po svim aspektima inžen-jerijske psihologije (racionalizacije, er-gonomika, aparati za daljinsko uprav-ljanje, osobenosti ponašanja čoveka u ekstremnim uslovima i u uslovima stresa).	BRITANIJA, Nemačka, Holandija

* Velikim slovima su označene zemlje čiji predstavnici predsedavaju odgovarajućim grupama.

spektivni evropski lovački avion. Za razliku od američkih, radovi u oblasti mikroelektronike nisu usmereni na istraživanja i razvoje koji bi doveli do pojave proizvoda sa kvalitativno novim nivoom karakteristika, već na doterivanje delova komercijalnih integralnih kola od silicijuma do uslova koje propisuju vojni standardi.

Zaključak

U celini, program EUCLID ima za-datak objedinjavanja napora vojne in-

dustrije evropskih zemalja — članica NATO da bi ona mogla uspešno da konkuriše i ravnopravnije (sa većom dobiti za sebe) sarađuje pri razvoju perspektivnih sredstava za oružanu borbu sa SAD, čija vojna industrija ima oko 2 puta veće mogućnosti. Program EUCLID se ocenjuje kao nov i važan korak evropskih država na putu njihove integracije u jedinstveni ekonomski, vojnoindustrijski i vojni sistem i za postizanje veće samostalnosti na toj osnovi u odnosu na SAD.

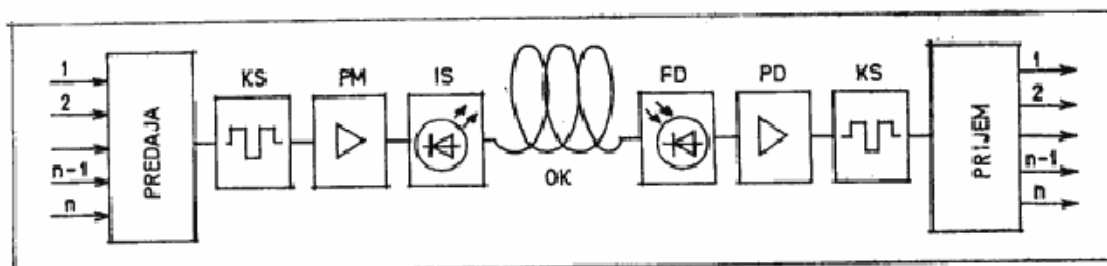
P. Marjanović

Optički kablovi*)

Ostvarivanje veza putem optičkih vlakana (u daljem tekstu — optičkih kablova — prim. prev.) bilo je omogućeno dostignućima, u prvome redu, u oblasti takvih nauka kao što je optika i kvantna elektronika. Prema saopštenjima strane štampe, rezultati ispitivanja potvrdili su prednosti veza putem optičkih kablova (OK) u odnosu na žičane veze preko standardnih električnih kablova. Te prednosti su: znatno širi frekventni opseg; neosetljivost na spoljne elektromagnetne uticaje (smetnje) osim munje i elektromagnetnog impulsa nuklearne eksplozije (EMINE); nemogućnost prisluškivanja (izviđanja) putem indukcije, odnosno bez direktnog priključivanja na liniju; znatno veće rastojanje (udaljenost) između retranslacionih (pojačavačkih) stanica; manje dimenzije i cena po dužoj jedinici kablova; mogućnost primene u eksplozivno zapaljivim sredinama; jeftinije sirovine za proizvodnju (oksid silicijuma umesto deficitarnih i skupih sirovina).

Struktura optičkih sistema za predaju analogna je strukturi sistema sa električnim kablovima. Na slici 1 pri-

raspodelom (prikazan je samo jedan pravac sa dva krajnja korisnika — učesnika u sistemu veza sa optičkim kablovima). Sa izlaza predajnika, uređaja za stvaranje digitalnih signala (PREDAJNIK), digitalni signal ide na uređaj za kodiranje (KS), u kome se signal pretvara u formu koja je optimalna za predaju kroz optički kabl (OK). Sa digitalnog pretvarača signal ide na pojačavač-modulator (PM), koji vrši modulaciju svetlosnog signala, koji stvara (generiše) izvor svetla (IS). Tako kodiran, pojačan i modulisan signal uvođi se u optički kabl. Na kraju linije, na ulazu u prijemni uređaj, svetlosni signal dolazi na fotodiodu (FD), gde se pretvara u električni signal, a zatim ide na pojačavač-demodulator (PD), pa na uređaj za dekodiranje (KS) i, na kraju, na prijemni uređaj za formiranje kanala. Pri velikoj dužini linije (kablo) između krajnjih stanica postavlja se neophodan broj pojačavačkih stanica (retranslatora). One sadrže uređaj za pretvaranje svetlosnog signala u električni, pojačavaju ga (održavaju određenu veličinu amplitude i dužinu impulsa), a zatim ga ponovo pretvaraju u svetlosni i emituju kroz optički kabl (svetlovod). Osim toga, optička linija veze ima neo-



SL. 1 — Funkcionalna šema veze (jedan pravac sa dva učesnika — korisnika) pomoću optičkog kablova:

KS — kodiranje signala; PM — pojačavač-modulator; IS — izvor svetlosti; OK — optički kabl; FD — fotodioda; PD — pojačavač-demodulator; KS — kodiranje signala

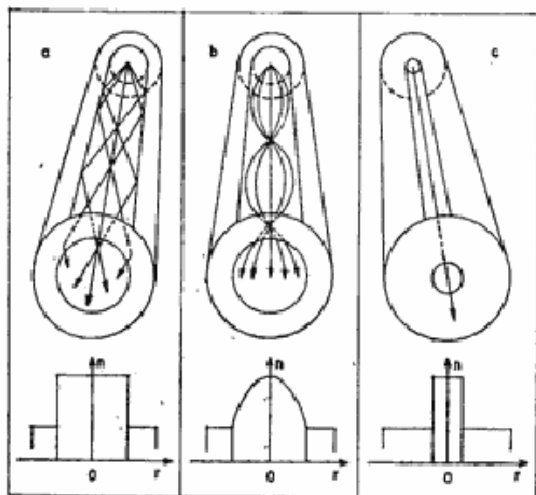
kazana je funkcionalna blok-šema sistema veze sa optičkim kablovima u kome se koristi digitalni uređaj za formiranje kanala veze sa vremenskom

phodne dodatne elemente, kao što su leće (sočiva) za fokusiranje zraka svetlosti radi njihovog uvođenja u svetlovod. Zatim razvodni sklopovi (konektori) za odvođenje optičkog signala u drugi svetlovod ili multiplikatore-demul-

*) Prema podacima iz časopisa: »TEHNIKA I VOORUŽENIE« 6/92.

tiplikatore, koji omogućavaju predaju signala različite talasne dužine kroz jedan svetlovod (optički kabl).

Osnovni elemenat optičkog sistema veza (OSV) je optički kabl, koji se sastoji od svetlovoda — sa jednim ili nekoliko optičkih vlakana sa jezgrom. Vlakna su grupisana u samostalnu konstrukciju koja sadrži noseći elemenat i zaštitne obloge (analogno električnim kablovima) (slika 7). Vlakno se sastoji od jezgra i obloge. Jezgro predstavlja svetloproзраčnu dielektričnu nit kružnog preseka koja je pokrivena optičkom oblogom konstantne debljine, takođe izrađene od svetloproзраčnog dielektričkog materijala (najčešće se koristi kvarcno staklo visokog stepena čistoće) (slika 8). Prostiranje svetlosti kroz svetlovod ostvaruje se zahvaljujući potpunoj unutrašnjoj refleksiji na granici između optičkog vlakna i njegove obloge zbog toga što je indeks prelamanja veći kod vlakna nego kod obloge. U zavisnosti od načina prostiranja svetlosti kroz svetlovod, optički kablovi se klasifikuju na: multimodna sa stepenastim profilom prelamanja (slika 2a); multimodna gradijentna (slika 2b) i monomodna (slika 2c).



Sl. 2 — Vrste optičkih vlakana i prostiranje svetlosti u njima;

a — multimodno sa stepenastim indeksom prelamanja; b — multimodno gradijentno; c — monomodno

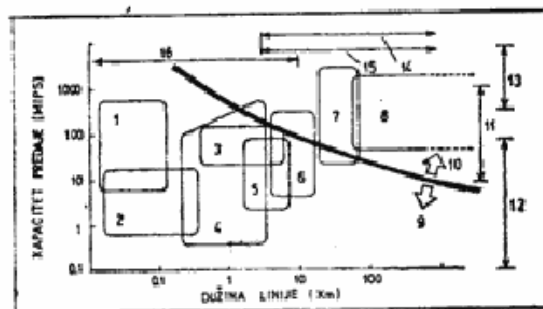
Prečnik jezgra optičkog vlakna je mali, pa na rasprostiranje svetlosti kroz njega utiče njena talasna dužina. To se ogleda u tome što ono može da prenosi (propušta) samo ograničenu količinu zraka svetlosti sa diskretnim veličinama ugla prelamanja. Uglovi prostiranja posebnih modova (oblika) karakterišu se time što posle dve uzastopne refleksije talasa oni moraju biti u fazi. Pri standardnom prečniku jezgra 50 μm (mikrometara) i prečnikom obloge 125 μm može se ostvariti desetak uglova prelamanja, čime se dobija multimodno vlakno. Sa smanjivanjem prečnika vlakna njihov broj se smanjuje i pri određenoj veličini (7—10 μm) dobija se jednomodno vlakno.

Po karakteru izmene indeksa prelamanja ta dva tipa svetlovoda odnose se na vlakna sa stupnjevitim profilom (step indeksom) prelamanja. Pri tome, multimodno vlakno može da prenosi frekventni opseg od nekoliko desetina megaherca (MHz), a monomodno do jednog gigaherca (GHz) — uz nešto manje prigušenje. Isto tako, zbog malog prečnika vlakna teže se nastavlja i spaja sa izvorom svetlosti. Znatno manji prenosni opseg frekvencija kod multimodnog vlakna objašnjava se različitom dužinom puta svetlosnih talasa i, shodno tome, vremena prostiranja posebnih modova.

Međuprostor (srednji položaj) između monomodnog i multimodnog vlakna sa step-indeksom zauzima multimodno gradijentno optičko vlakno, kod kojeg se indeks prelamanja jezgra vlakna menja po zakonu parabole duž radijusa sa najvećom vrednošću u centru. Ono se naziva gradijentnim zato što gradijent, to jest izmena indeksa prelamanja jezgra vlakna duž radijusa nije jednak nuli, kao u vlaknu sa stepenastim profilom indeksa prelamanja. Kod gradijentnih vlakana (standardni prečnik je, takođe, 50/125 μm) proizilazi da je fokusiranje zraka u jezgro vlakna, a njihova trajektorija dobija formu talasa. Lakše ih je spojati sa izvorom svetlosti i nastavljati nego mo-

nomodno, a u isto vreme, ona imaju širi prenosni opseg frekvencija, koji je reda veličine od jednog do stotine megaherca (MHz).

Prigušenje u idealnom svetlovodu, koji je izrađen na bazi kvarca (oksida silicijuma), jednakomerno (jednolično) opada sa povećanjem talasne dužine, a zatim se brzo povećava, sa minimumom na talasnoj dužini od 1,55 μm . U stvarnosti, zbog prisustva hidroksilne grupe OH, takođe u neznatnim količinama, pojavljuju se tri, ne tako oštro izražena, minimuma prigušenja na talasnim dužinama: 0,85; 1,30 i 1,55 μm , koje su dobile naziv prvi, drugi i treći »prozor« prozirnosti (prozračnosti). Ti talasi odnose se na nevidljivi bliski deo infracrvenog (IC) talasnog opsega. Teorijski, prigušenje koje se dešava na tim frekvencijama kod monomodnog vlakna je respektivno: 1,9; 0,32 i 0,16 dB/km, a za multimodna gradijentna vlakna: 2,12; 0,42 i 0,22 dB/km.



Sl. 3 — Oblasti primene optičkih kablova:

1 — kompjuterske mreže; 2 — male lokalne mreže (na vazduhoplovima, brodovima i podmornicama); 3 — kablowska TV; 4 — velike lokalne mreže (u preduzećima); 5 — korisničke i informacione mreže; 6—7 — retranslatori u zgradama; 8 — podvodni kablovi; 9 — multimodni gradijentni svetlo vodi; 10 — monomodni svetlo vodi; 11 — laserske diode; 12 — svetlosne diode; 13 — laserske monomodne diode; 14 — višekanalna predaja; 15—16 — talasni dijapazon 0,9—1,6 i 0,7—0,9 μm

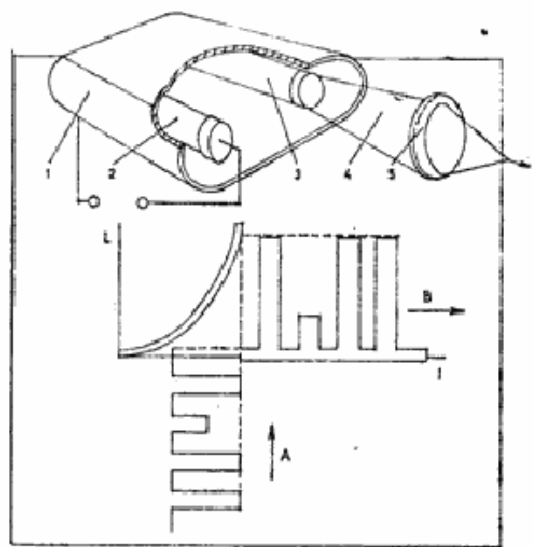
Na prvim etapama razvoja optičkih kablova koristila su se multimodna vlakna s radnom talasnom dužinom 0,85

μm zbog nepostojanja lasera sa drugim talasnim dužinama. Početkom osamdesetih godina počeo je ozbiljan rad na proizvodnji izvora i prijemnika na talasnoj dužini 1,3 μm , posle čega su se počeli proizvoditi svetlo vodi veće dužine samo sa radnom talasnom dužinom 1,3 μm . Razvoj tehnologije proizvodnje, nastavljanja i spajanja optičkih kablova sa izvorima svetlosti, dovelo je do toga da je jednovremeno sa prelezom na tu radnu talasnu dužinu počelo korišćenje optičkog kabla sa jednomodnim vlaknom. Njihovo zajedničko korišćenje omogućilo je povećanje razdaljine (razmaka) između retranslacionih elemenata (pojačavača na trasi) sa 5—10 na 20—25 km, uz istovremeno povećanje propusne moći (kapaciteta) jedne pare vlakna sa 1920 kanala (140 Mb/s) na 7680 i više kanala. U današnje vreme završavaju se pripreme za serijsku proizvodnju elementarne baze za talasnu dužinu 1,55 μm . Njena primena dozvoljava povećanje razmaka između retranslacionih (pojačavačkih) elemenata na trasi za dva puta.

Prelazak na veće talasne dužine bližeg IC-dijapazona (1,3 i 1,55 μm) i korišćenjem prednosti monomodnih optičkih kablova — osnovna je tendencija savremene etape razvoja optičkih kablova. Isto tako, linije sa talasnom dužinom 0,85 μm i dalje nalaze široku primenu u lokalnim mrežama, zahvaljujući njihovoj manjoj ceni. Zbog toga se za te mreže razrađuju i skuplja vlakna vrste kvarc-polimer i polimer-polimer, koje su pogodnije za kraće linije.

Kao izvor svetlosti (zraka) za optičke kablove koriste se poluprovodničke svetlosne diode (PSD) i laserske diode (LD). Osnovne prednosti PSD su visok stepen pouzdanosti (vek trajanja 10^5 do 10^7 časova), stabilnost rada i niska cena. Njihovi nedostaci su mala snaga, širok talasni opseg i dosta niska usmerenost zračenja. Zbog toga se samo mali deo svetlosti može uvesti u vlakno (od 10—100 mikrovati što odgovara -20 do -10 dBm). Prema brzini rada PSD su pogodne za brzinu predaje do 100

Mb/s. One se, najčešće, koriste za optička vlakna male dužine u lokalnim vezama, mrežama.



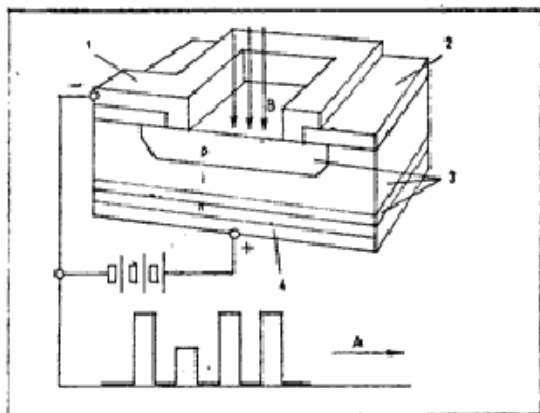
Sl. 4 — Izvor svetlosti — laser na bazi kružnog generatora zračenja:

1 — reflektor; 2 — impulsni izvor svetlosti; 3 — aktivni element-jezgro; 4 — zrak svetlosti; 5 — sočivo za fokusiranje; A — električni signal; B — svetlosni (optički) signal

Laserske diode imaju veću snagu (reda veličine mW) i oštru usmerenost zračenja. Zahvaljujući tome, u vlakno se može uvesti snaga 500—1000 mikrovati μ W. Po brzini rada one mogu obezbediti brzinu predaje do mnogo stotina Mb/s, pa čak i do jednog GHz, ali one su znatno skuplje od PSD, imaju manju temperaturnu stabilnost i vek rada (10^4 — 10^5 časova). Koriste se za optička vlakna veće dužine i propusne moći (kapacitet). Tehnologija proizvodnje laserskih dioda i mikročipova međusobno je slična.

Kao prijemnici i detektori svetlosti koriste se fotodiode i diode sa efektom lavine. Dobre osobine takozvane P i N fotodioda su zadovoljavajuće visok stepen stabilnosti rada, brzina, osetljivost i relativno niska cena. One su pogodne pri brzinama predaje do 1 GHz/s.

Fotodiode sa efektom lavine (Zener-diode) imaju veću osetljivost, a koeficijent pojačanja zavisi od priključenog napona. Što je veće pojačanje to je manji propusni opseg diode. Osetljivost prijemnika sa ovom vrstom fotodiode može biti veća i 10 dB nego kod PiN fotodiode. Danas se primenjuju obe vrste fotodioda.



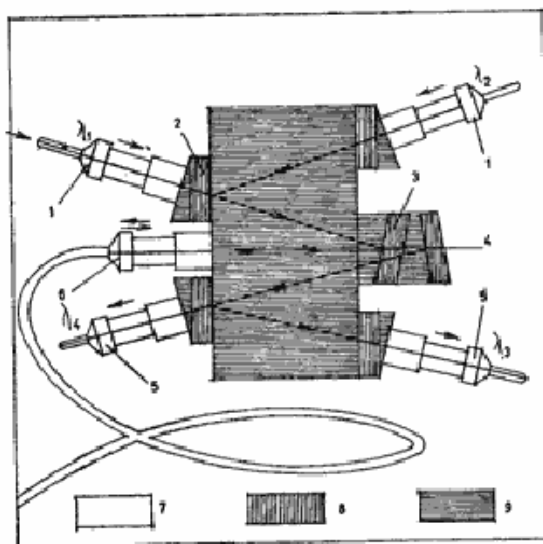
Sl. 5 — Fotodiode sa PiN strukturom: 1 i 4 elektrode; 2 — izolator; 3 — sloj »P« i »N« tipa provodljivosti

Na osnovu analize i rezultata dobijenih ispitivanjem u toku proizvodnje i eksploatacije optičkih kablova komercijalnog karaktera u nizu stranih zemalja, preduzete su mere za njihovo ubrzano uvođenje umesto klasičnih električnih (metalnih) kablova. Prednosti linija veze sa optičkim kablovima u odnosu na električne zapazili su vojni stručnjaci već na početku njihovog razvoja. Još sedamdesetih godina počelo je proučavanje njihovog svojstva i oblasti racionalne primene u vojne svrhe. Sledeća ispitivanja proširena su i postepeno su pojedinačna ispitivanja prešla u istraživačko-projektantska. Većina tih istraživanja bila je posvećena primeni optičkih kablova za prenos informacija u lokalnim informacionim mrežama u objektima i borbenim sredstvima (sistemima): komandna mesta, centri veze, lansirni sistemi raketa, avioni, brodovi, podmornice, i sl. Pri tome, u raznim podsistemima proučavani su

problemi predaje, kako digitalne informacije kompjuterskih sistema i sistema upravljanja, tako i analogne radarske, hidroakustičke i druge vrste informacija. Ti radovi, kada su dospeli do eksperimentalnog stepena i demonstracionih uzoraka, pokazali su efektivnost i svrsishodnost primene optičkih kablova u lokalnim mrežama. Strani stručnjaci napravili su analizu koja, i sa ekonomskog aspekta, opravdava primenu optičkih kablova u novim borbenim sredstvima i sistemima oružja i druge vojne tehnike, kao i pri značajnijoj modernizaciji postojećih sistema oružja i vojne tehnike.

U stranim časopisima navodi se, na primer, da se optički kablovi koriste u sistemima daljinskog upravljanja (do 3 km) radio-stanicama, radarskim stanicama, a i zemaljskim i brodskim raketnim lansirnim sistemima, uključujući i one za krstareće rakete. Navodi se, takođe, da je za KoV SAD razvijena vodena raketa, koja se navodi putem optičkog kablova, a pomoću TV-kamere, koja je smeštena u vrhu rakete. Optički kabl je jednostruk (sa jednim vlaknom) i lake konstrukcije. Predaja u jednom smeru ostvaruje se na talasnoj dužini 1,55 μm . Masa rakete, zajedno sa kablom, iznosi 32 kg, a daljina dejstva (domet) je 10 km (vrše se ispitivanja na povećanju dometa i daljine navođenja do 40 km). Sličan sistem razvija se i za vodena torpeda, daljinski upravljane uređaje za razminiranje, a, takođe, za predaju informacija sa bespilotnih izviđačkih letelica, kao i za upravljanje njima u toku leta.

U ratnoj mornarici SAD proučava se mogućnost primene optičkih kablova u obalskoj odbrani, kako u podvodnoj mreži senzora za prikupljanje akustičkih informacija, tako i u zemaljskim mrežama za prikupljanje i obradu informacija. Primena monomodnog kablova sa talasnom dužinom 1,3 ili 1,55 μm dozvoljava pokrivanje rastojanja maksimalno 120—150 km od akustičkog davača do obale — bez retranslatora (pojačavačkih elemenata na trasi).



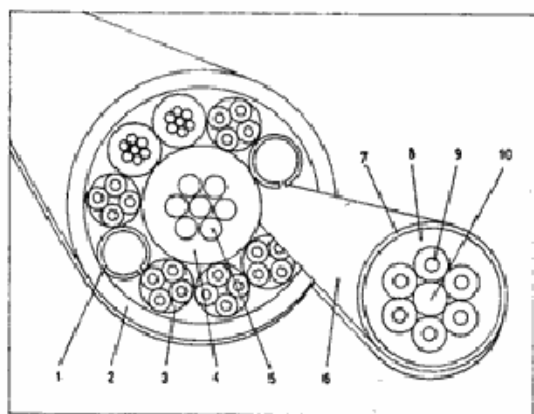
Sl. 6 — Četvorokanalni dvosmerni (dupleks) multipleksor-demultipleksor:

1 — ulazi; 2 — pojasni filter; 3 — pojasni FNC; 4 — pojasni FVC; 5 — izlazi; 6 — zajednički ulaz/izlaz u vlakno svetlovođa; 7 — sočivo za fokusiranje s gradijentnim indeksom prelamanja; 8 — višeslojni dielektrični filter; 9 — stakleno čvorište

Obavljaju se, takođe, ispitivanja sa raznim vrstama robota, među njima i na onima vojne (bojeve) namene, sa primenom optičkih kablova, kako za predaju informacija robotima i upravljanje njima, tako i prijema izviđačke informacije od njega.

Za mrežu veza armijskog korpusa razvijena je poljska linija veze za veće daljine, koja zamenjuje postojeće linije zasnovane na koaksijalnom električnom kablju (sa dve parice). Pri tome, došlo se do zaključka da se može koristiti samo jedna vrsta linije sa brzinom predaje 20 Mb/s. Kabl sa dva gradijentna optička vlakna izrađuje se u dužini 1 km (umesto 0,4 km kao što je to slučaj sa koaksijalnim kablom). Njegovom primenom povećava se rastojanje između pojačavačkih elemenata na trtasi sa 0,4—1,6 km na 6—8 km. Masa opreme za liniju smanjuje se pet puta, što dozvoljava brže razvlačenje kablova i smanjuje broj transportnih sredstava za prevoz kablova.

Za taktičku primenu razrađeni su laki optički kablovi sa jednim vlaknom. Ona su namenjena za brzo razvlačenje (postavljanje) i pomoću helikoptera. Fabrička dužina kabla je 2 km. Radi razdvajanja smera predaje od smera prijema u jednom vlaknu koriste se različite talasne dužine — 1,3 i 1,5 μm . Fabrička dužina može se povećati međusobnim spajanjem pomoću konektora. Uređaj za formiranje kanala je digitalni i radi na principu vremenske raspodele kanala. Rastojanje (dužina linije) između dve krajnje stanice (korisnika) iznosi 10 km, a očekuje se povećanje tog rastojanja na 15—20 km.



Sl. 7 — Konstrukcija magistralnog optičkog kabla sa 16 vlakana:

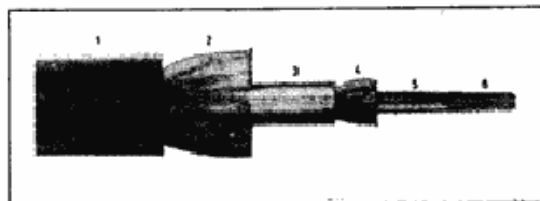
1 — gasna cev; 2 — vanjska obloga od polimera; 3 — kabl sa četiri vlakna; 4 — polietilenska ispuna (sloj); 5 — čelična upletena noseća sajla; 6 — pletenica sa šest optičkih vlakana; 7 — zaštitna traka; 8 — sloj za amortizaciju; 9 — jezgro optičkog vlakna — svetlovoda; 10 — armirajuća nit

Strana štampa beleži da, bez obzira na postignute rezultate, tempo uvođenja optičkih kablova ostaje niži za vojne nego za komercijalne svrhe. Prema mišljenju stranih vojnih stručnjaka, to se objašnjava nedopustivosti bilo kakvog rizika u vojnoj tehnici; niskim nivoom standardizacije, kao i nepotpunom kompatibilnošću sa postojećom opremom. Izvesnu ulogu u tome imaju i postojeći nedostaci optičkih kablova — mnogo viši stepen preciznosti (tačnosti)

pri izradi i eksploataciji nego što je to slučaj sa standardnim električnim metalnim kablovima. Taj problem, prema navodima strane štampe, još nije dovoljno izučen, ali putevi njegovog rešavanja već su razmotreni. Tako, korišćenjem talasne dužine 1,3 i 1,55 μm , umesto 0,85 μm , radijaciona otpornost se znatno povećava. U suštini, osnovni problem u vezi sa izradom optičkih kablova vojne namene rešen je i očekuje se suštinsko povećanje tempa primene u praksi. Po mišljenju stranih stručnjaka, od 2.000 do 2.005. godine žične veze sa električnim kablovima biće istisnute optičkim kablovima.

Tendencije razvoja optičkih kablova vojne namene pokazuju da će u narednim godinama široku primenu naći monomodna optička vlakna sa radnom talasnom dužinom 1,55 μm . To dozvoljava smanjenje prigušenja do 1,2—0,5 dB/km i odgovarajuće povećanje razmaka između retranslacionih elemenata na trasi za dva puta. Realizacija datog pravca vezana je za serijsku proizvodnju izvora svetlosti i optičkih vlakana, optimiziranih za rad na talasnoj dužini 1,55 μm .

Povećanje rastojanja između retranslacionih elemenata biće, takođe, postignuto na račun povećanja snage izvora svetlosti i osetljivosti prijemnika. Narednih godina snaga izvora biće povećana na više desetina mW, tj. za 5—10 dB. Prema proračunima, znatno



Sl. 8 — Optički širokopojasni laki kabl sa dva vlakna za vojne namene (prema standardu američke armije), male mase i faktora prigušenja (slabljenja) sa visokom termičkom tolerancijom (od -55° do $+85^{\circ}\text{C}$):

1 — poliuretanski omotač; 2 — vlakna za armiranje; 3 — poliuretanski omotač; 4 — vlakna za armiranje; 5 — termoplastični zaštitni sloj; 6 — optička vlakna (dva)

povećanje osetljivosti biće moguće zahvaljujući korišćenju heterodinske šeme prijemnika u optičkim komunikacijama (analogno prijemnicima u radio-vezi). Osnovna teškoća izrade takvih prijemnika je u nedovoljnoj stabilnosti frekvencije laserskih dioda. Smatra se da je danas moguće izraditi laboratorijski uzorak heterodinskog prijemnika koji ima neophodnu stabilnost za primenu u optičkim sistemima za vezu, sa kojima se postiže povećanje osetljivosti 11—12 dB.

U poredo sa tim, produžava se traženje novih materijala za izradu svetlovoda sa veoma niskim stepenom prigušenja (gubitaka). Osnovu za takvo traženje poslužili su teorijski proračuni koji su pokazali da već postoje materijali, vlakna kod kojih je prigušenje 0,01—0,001 dB/km.

Paralelno sa tradicionalnim načinom povećanja propusne moći optičkih vlakana na račun povećanja brzine predaje, naći će primenu i drugi načini — spektralna kompresija. Njena suština je u jednovremenom radu nekoliko linija veza preko jednog vlakna, ali na različitim talasnim dužinama. U vojnim vezama spektralna kompresija biće primenjena u lakim dupleksnim linijama putem kabla sa jednim optičkim vlaknom.

Poseban interes predstavljaju pokušaji izrade optičkih pojačavača i regeneratora, čija bi primena omogućila suštinsko pojednostavljivanje optičkih komunikacija, povećanje njihove pouzdanosti i snižavanje cene. Smatra se da postoji nekoliko proizvedenih laboratorijskih uzoraka, koji potvrđuju principijelnu mogućnost rešenja tog problema.

Veliki uticaj na dalji razvoj optičkih komunikacija imaju radovi na usavršavanju elementarne baze, u smislu njene mikrominijaturizacije, povećanja pouzdanosti, veka trajanja i radnih parametara. Planira se izrada kombinovanih optoelektronskih mikrošema predajnika i prijemnika, elemenata inte-

gralne optike i drugih uređaja. Značajno ubrzanje aktivnosti u toj oblasti daje ulaganje u razvoj novih komponenti neophodnih za realizaciju spektralne kompresije, heterodinskog prijemnika i optičke retranslacije.

Preveo i obradio
M. Milašinović

Brzina plovidbe površinskih brodova*)

Kako pokazuju iskustva svetske brodogradnje, maksimalna brzina koju mogu razvijati površinski brodovi dugo ostaje praktički neizmenjena i nalazi se u dijapazonu od 30 do 40 čvorova. Naime, pri daljnjem njenom porastu, brzo raste otpor vode kretanju broda. Za prevladavanje tog otpora neophodno je povećanje snage energetske postrojenja.

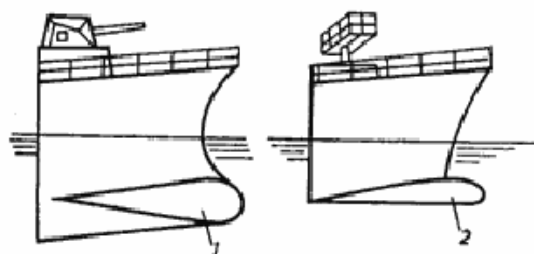
Porast otpora uglavnom se, javlja zbog viskoziteta vodene sredine i valova koji se stvaraju pri plovljenju. Zato već duže vreme u mnogim zemljama konstruktori brodova vrše istraživanja mogućnosti i sredstava smanjenja viskoziteta i otpora valova.

Radi smanjenja trenja otpora preduzimaju razne mere za postizanje laminarnog toka vode, u graničnom sloju uz otplatu broda. Suština je u tome da se izmeni trenje u turbulentnom sloju, koje postoji u stvarnom kretanju broda, sa mnogo manjim trenjem u laminarnom sloju. Veštački laminarni granični sloj može se postići usisavanjem tečnosti kroz uske cevi, izborom forme oplata, a i primenom elastičnih prigušujućih pokrivača, koji imitiraju kožu nekih morskih životinja, na primer delfina. Isto tako, kako pokazuju eksperimenti, praktična realizacija tih mogućnosti otežana je zbog neprijatnog uticaja faktora

*) Prema podacima iz časopisa »TEHNIKA I VOORUZENIE« 6/91.

kao što su turbulentnost toka morske vode, trenja i vibracija hidrodinamičke površine oplate.

Smanjenje otpora trenja može biti postignuto i veštačkom izmenom fizičkih svojstava vode (tečnosti) u graničnom sloju putem uvođenja gasa ili visokomolekularnih dodataka u vodu. Po mišljenju zapadnih stručnjaka, najpraktičniji je opnasti režim gasnog zasićenja, kada vanjska gasna opna odvaja vodnu sredinu od podvodnog dela broda. Smatraju, takođe, da je stvaranje i održavanje takve opne moguće putem neprekidnog dodavanja vazduha pomoću specijalnog potiskivača pod dnom (broda). Rezultati na modelima i stvarnim ispitivanjima površinskih brodova sa plosnatom formom dna dokazali su da je mogućnost smanjenja trenja pomoću vazdušnog »podmazivanja« od 18 do 25%. U današnje vreme data mogućnost ima praktičnu primenu na brzohodnim čamcima glisirajućeg tipa. U RM SAD V. Britanije i Francuske već su projektovani takvi čamci deplasmana od 80 do 140 tona.



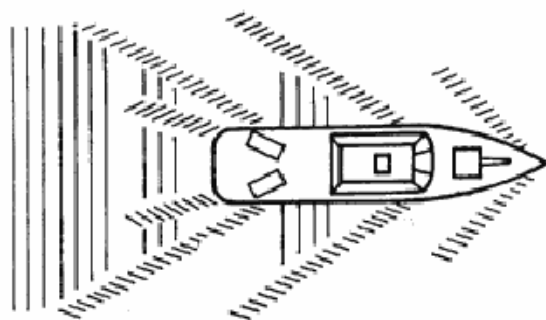
Sl. 1 — Raznolikost interferirajućih uređaja dopunskog valnog sistema;

1 — Pramčani bulp; 2 — Pramčano podvodno krilo

Uvođenje principa vazdušnog podmazivanja vezuje se za neophodnost izmene forme dna broda. Tako čamci američke izrade danas imaju plitak žleb. Vazduh pritiskivan ventilatorom u formiranu komoru zadržava se u njoj sa dve plitke brodske stranice (kobilice) i poprečnim zaštitnicima na pramcu i krmi. Brodovi sa vazdušnom maskom po-

seduju, u odnosu na klasične brodove, bolja svojstva — visoku brzinu i pomorske karakteristike, visoku izdržljivost, postojani su na kursu i manje podložni dejstvu valova. Pored toga, materijalni troškovi za njihovu eksploataciju i tehničko održavanje su niski.

Veliki interes zapadnih stručnjaka izazvalo je otkrivanje svojstva vrlo blagih (slabih) rastvora polimera koji smanjuju trenje. Ustanovljeno je da pri korišćenju rastvora sa koncentracijom hemijskih jedinjenja 0,01—0,02% trenje smanjuje na 60—80%. Prisustvo malih količina polimerovih dodataka u njima praktično ne menja fizička svojstva (karakteristike) kao što su gustina i kinematski viskozitet. Isto tako, kako su pokazala ispitivanja sa povišenim rastvorima polimera, efekat smanjenja trenja se povećava. Primećuje se da efektivnost dejstva dodataka određenog polimera raste sa povećanjem brzine kretanja tela samo do određene vrednosti, posle čega počinje da se smanjuje, kao rezultat razbijanja molekula te smese. Bilo je, takođe, primećeno da neki rastvori polimera imaju sklonost ka brzom starenju i gubitku svojstva koja obezbeđuju smanjenje trenja (otpora).



Sl. 2 — Formiranje pramčanih i krmenih valova

Predlaže se, takođe, da praktična realizacija datog otkrića može biti ostvarena putem stalnog dodavanja polimera na trup (oplatu) broda, kroz specijalne cevi, ili nanošenjem na nju odgovarajućeg pokrivača. Eksperimentalni

podaci pokazuju da je u prvom slučaju otpor trenja moguće umanjiti na 30—70%, a u drugom do 30%. Kako zaključuju zapadni stručnjaci, bez obzira na teškoće projektnog i tehničkog karaktera vezanih za smeštaj dovoljnih količina polimera, izgradnje uređaja za pripremu rastvora razrade efikasnih šema njegove predaje u sloj, navedeni metod je jedan od perspektivnijih.

U poslednje vreme u mnogim stranim zemljama u toku su eksperimentalni i teoretski radovi na smanjenju otpora pomoću uzdužnih rebra oplate broda. Stručnjaci u oblasti aerodinamike ispitali su karakteristike rebrastih ploča sa različitim geometrijom profila i veličinom rebra. Ustanovljeno je da je, u konstrukcionom smislu, najjednostavnija forma. Pri tome se otpor trenja može sniziti za 8—10%.

Konstruktori, takođe, primećuju da površina sa mnogo oštrijim vrhom rebra, u približno istim uslovima, obično obezbeđuje veće smanjenje otpora trenja nego zakrivljena rebra. Dokazano je da, usled smanjenja protoka tečnosti u rebletama (šupljinama) dolazi do izmene strukture turbulentnosti u unutrašnjem delu graničnog sloja. Mlaz vode postaje manje uzburkan, vršni impulsi se ublažavaju žlebovima (kanalima), a time se smanjuje otpor trenja. Smatraju da se to može postići putem leplejnja opni (membrana) sa rebletama (šupljinama), kao što se radi u avijaciji pri ispitivanju u aerodinamičkom tunelu modela aviona. Efektivnost navedenog metoda, kako primećuju zapadni stručnjaci, može biti povišena na 10—15% na račun daljih radova na geometriji i šemi rasporeda, na hidrodinamičkoj površini tela.



Sl. 3 — Brod sa vazдушnim podmazivanjem

Na veličinu viskozitetnog otpora, u tom smislu i otpora trenja, osnovni uticaj ima stanje mokre površine oplate koja je uvek hrapava. Razlikujemo tehnološku i eksploatacionu hrapavost koja je, kao po pravilu ravnomern oraspořena na mokroj površini. Tehnološka hrapavost uslovljena je osobinama konstrukcije trupa, svojstvima materijala i metodama njegove obrade, tehnologije nanošenja boje.

Eksploataciona hrapavost javlja se kao posledica oštećenja boje trupa, korozije železne oplate, obrastanjem oplate, obrastanjem optale morskim organizmima i travom. Ona se određuje odnosom stajanja i vremena vožnje, reonima plovidbe, kalendarskim vremenom, slanošću i temperaturom vode. Tako visoka temperatura, povišena slanost i produženo vreme stajanja broda u lukama pogoduje intenzivnijem obrastanju oplate trupa.

Ne manje važan faktor, koji je potrebno imati u obzir pri rešavanju problema brzine broda, jeste prisutnost otpora valova. Pri plovidbi broda na površini deljenja vode pojavljuju se dve grupe valova: pramčani i krmeni. Svaki od njih sastoji se od sistema odlazećih i poprečnih valova. Osnovnu ulogu u stvaranju otpora valova imaju poprečni penušavi vrhovi valova koji su usmereni pod pravim uglom na skaluglavnog rebra. Pri kretanju broda dolazi do smetnji poprečnih pramčanih i krmenih valova koji utiču na veličinu i karakter izmene otpora valova. Brzine broda kod kojih smetnje poprečnih valova dovode do umanjenja ukupne amplitude rezultirajućih poprečnih valova su povoljni (otpor valova raste sporije). Traženje metoda smanjenja otpora valova vrši se u različitim pravcima. Njegovo realno smanjenje moguće je postići, takođe na račun racionalnog izbora odnosa osnovnih dimenzija broda i koeficijenata celovitosti trupa. Klasična varijanta za depasman broda je povećanje njegove dužine pri istovremenom smanjenju širine. Isto tako, taj put nije

uvek prihvatljiv, pošto smanjenje širine dovodi do smanjenja stabiliteta i usložava razmeštaj glavnih motora i naoružanja. Osim toga, duži trup zahteva povećanje mase konstrukcije trupa, povećavajući uzdužnu čvrstoću, kao i masu cevovoda i električnih kablova.

U današnje vreme najrealnija metoda odnosi se na isključenje i umanjene valova izazvanih kretanjem broda. Prvi je zasnovan na tome da veličina otpora valova potopljenih tela (na primer podmornice) zavisi od dubine ronjenja. U zavisnosti od rasta odnosa dubine ka dužini ronjenja, pri kojoj se otpor valova može smatrati ravnim nuli, više zavisi od brzine tela, a manje od njegove forme.

Pri smanjenju valova otpor se umanjuje pomoću interferirajućih uređaja dodatnog valnog sistema (bulp, a takođe pramčana podvodna krila). Pri pravilnom izboru njihove forme i razmeštaja obezbeđuje se smanjenje otpora do 10—15%. Pramčana krila istovremeno mogu služiti kao sredstvo stabilizacije uzdužnog ljuljanja broda.

Otpor valova moguće je smanjiti i podelom trupa broda na delove. Pri tome, oni su dužni da budu tako raspoređeni da imaju liniju broda i takve odnose osnovnih razmera da bi uzajamnom mešanju njihovih valnih sistema, ukupan otpor valova bio manji nego kod brodova sa jednim trupom istog deplasmana. Treba primeniti da se višetrupnim ratnim i trgovačkim brodovima u poslednje vreme u inostranstvu poklanja veća pažnja, pošto pri takvom projektno-konstrukcionom planu mogu biti poboljšane ne samo brzinske karakteristike, nego i manevrirajuća i druga svojstva upotrebe.

U poslednje vreme u RM zapadnih zemalja počeli su da se pojavljuju dvotrupni brodovi (katamarani) i trotrupni (trimaran). U dvotrupne spadaju katamarani sa promenljivom istisninom (deplasmanom) oplata i malom površinom vodene linije (poluzaronjenje). Pri-

mer broda sa promenljivom istisninom je dvotrupni patrolni čamac V. Britanije koji je dugačak 21,3 metra, širok 6,5 metara i razvija brzinu od 40 čvorova.

U poslednjem desetleću na zapadu je porastao interes za mogućnosti primene u svojstvu ratnih brodova sa malom vodenom linijom, među kojima su prvi bili izgrađeni početkom sedamdesetih godina. Po projektu, oni se sastoje od nadvodne platforme i dva duboko zaronjena trupa slična torpedu, spojena sa njim tankim ojačanjima hidrodinamičke forme, kojima seku površinu vode.

Interesantne radove na projektovanju i izgradnji takvih brodova vrši Japan, SAD i V. Britanija. Važniji parametri, od mnogih koji opredeljuju njihove manevarske i pomorske osobine, jesu oblik (forma), odnos dužine i dubine zaronjenja podvodnog trupa, vertikalni (rastojanje od donje površine nadvodne platforme do računске vodene linije) i horizontalni (rastojanje među suprotnim stranicama trupa) klirens i količina nosača na svakom trupu. Po nekim parametrima takvi brodovi razlikuju se od klasičnih. Tako površina aktivne (dejavujuće) vodene linije kod njih sadrži ne više od 20% od postojeće površine klasičnih istog deplasmana.

Po mišljenju zapadnih stručnjaka brodovi sa malom površinom vodene linije karakterišu se boljim maritimnim sposobnostima (karakteristikama), nego jednotrupni i brodovi sa duboko zaronjenim podvodnim krilima. To se objašnjava time da je njihov trup u obliku torpeda daleko od površine vode i položen je daleko manjem uticaju valova, pa se smanjuje obrazovanje valova.

Treba primeniti da gubici brzine brodova na valovima sa malom površinom vodene linije iznose samo 3%, što je mnogo puta manje nego kod jednotrupnih brodova i brodova na vazdušnom jastuku. Kao rezultat toga, oni mogu održavati brzinu skoro do pune brzine (maksimalne), bez obzira na kurs.

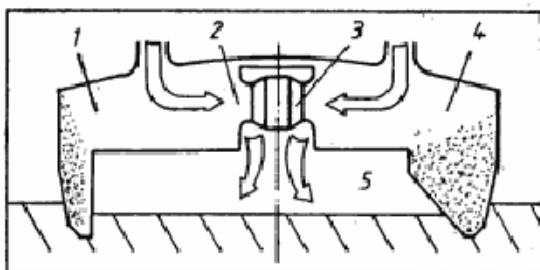
Veličinu maksimalne brzine broda na valovima određuje dopunski otpor (trenje) koje trpi brod. Kod brodova sa malom površinom vodene linije, otpor (trenje) je znatno manji nego kod jednodrupnih, zbog njihovih projektno-konstrukcionih osobina i svojstva lujlana. Na Zapadu se veća pažnja posvećuje optimalnoj geometriji (odnosu) trupa i čvrstini (postojanosti) navedenog tipa, vrše se teoretska istraživanja putem povećanja maritimnih i manevarskih sposobnosti, ispituju se mogućnosti njihovog korišćenja kod fregata, razarača i nosača aviona deplasmana (od 3500 do 5000 t).

Prema podacima iz SAD razrađen je projekat raketnog razarača, opremljenog laserskim oružjem velike snage i izraženog po projektu dvotrupnog broda sa malom površinom vodene linije. Njegov deplasman je 12.000 tona, a brzina 28 čvorova.

Efektivnim sredstvom povećanja brzine i maritimnih svojstava površinskih brodova, kako se smatra na Zapadu, jeste podizanje trupa iz vode i smanjenje njegovog otpora na račun smanjenja zaronjene površine. Praktično, to se postiže korišćenjem hidrodinamičkih sila potiska, čija je veličina uslovljena brzinom plovljenja (glisiranje, plovljenje pomoću podvodnih krila) ili aerodi-

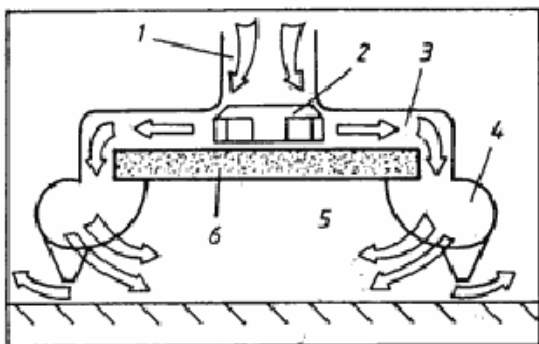
namičke sile (brodovi na vazдушnom jastuku).

Po podacima zapadne štampe, u savremenoj većini zemalja ulazi značajan broj čamaca različitih tipova i namene, kod kojih su primenjeni navedeni tipovi plovljenja. Brzine nekih od njih dostižu 40—50 čvorova. Oni se bitno razlikuju od brodova istog deplasmana, prema formi vodene linije i odnosa glavnih dimenzija. Sa povećanjem brzine uticaj hidrodinamičke sile raste (u režimu glisiranja njegova veličina je 95—97%). Režim čistog glisiranja ostvarljiv je za čamce dužine 40—50 metara. Isto tako, oni imaju bitne nedostatke. Tako, usled dejstva dopunskog malog otpora (trenja), njihove hidrodinamičke sposobnosti su dva puta manje nego kod brodova sa podvodnim krilima. Osim toga, bitno su smanjena maritimska svojstva, zbog velikih opterećenja trupa, nastalih pri udarima valova. Radi kompenzacije tih nedostataka danas se grade gasne šupljine.



Sl. 5 — Sema opšteg sklopa čamca na vazдушnom jastuku:

1 — Bočne čvrste skege, 2 — Usis vazduha, 3. Ventilator, 4 — Vazdušni jastuk, 5 — Bočne čvrste skege deplasanskog tipa.



Sl. 4 — Sema rasporeda amfibijskog čamca na vazдушnom jastuku sa dvostojnom gipkom ogradom:

1 — Usis vazduha, 2 — Ventilator, 3 — Čvrsta komora, 4. — Elastična ograda (suknja) jastuka, 5 — Vazdušni jastuk, 6. Trup.

Za brodove velike tonaže u današnje vreme režim punog glisiranja je nedostižan, ukoliko je njihov pogon nedovoljan za postizanje velike brzine kretanja. Oni su (poluglisirajući) deplasansko-glisirajuće forme, a plovnost obezbeđuju kako hidrostatičkim, tako i hidrodinamičkim silama potiska. Za to se koriste kombinovane linije broskog

trupa — kružnoprarnčane na pramcu i oštroprarnčane na krmi.

Kako primećuju zapadni stručnjaci, počeli su koristiti i V — oblike vodenih linija sa dubokim profilom. Takav trup uračunava osobine vodenih linija brođova sa promenljivim deplasmanom i glisirajućih čamaca — njen prarnčani kraj nastupa u formi glisera i ulazi u sastav prarnčane statve ispod vodene linije. Postoje prarnci koji u prarnčanom delu imaju više vodenih linija, a srednja na krmi prolazi blizu statičke vodene linije.

Unutrašnje i vanjsko ispitivanje čamca (u prirodnim uslovima) takve forme trupa pokazuje bolje karakteristike nego kod čamaca sa običnim kružnoprarnčanim trupom. Pored toga, oni imaju veću poprečnu postojanost, korisnu površinu palube (usled bolje popunjene forme aktivne vodene linije), bolje upravljanje i postojanost na vetru.

Vodene linije V-oblika koriste zapadne firme za izradu brzih čamaca različite namene. U V. Britaniji je na brzinu projektovan patrolni brod, deplasmana 124 tone, koji razvija brzinu 30 čvorova. Planira se da bude naoružan artiljerijskim naoružanjem. Verovatno se primenjuju vodene linije za brzohodne površinske brodove, ne samo malog nego i srednjeg deplasmana. U sadašnje vreme razrađuju varijantu fregate nosača aviona deplasmana 3000—4000 tona za RM zemalja NATO, a korveta deplasmana 1000 tona sa brzinom 38 čvorova.

U zapadnim zemljama se veća pažnja poklanja izgradnji brodova na podvodnim krilima, deplasmana 250—300 tona sa brzinama 40—50 čvorova. U zavisnosti od mogućnosti potiska sile, krila se dele na one koje seku površinu i dubokoroneće. Prve imaju svojstvo samostabilizacije. Pri tome regulacija sile potiska sa promenljivim brzinama proizilazi na račun povećanja ili smanjenja uronjene (mokre) površine.

Podvodna krila ne služe samo za smanjenje otpora broda, pri kretanju

velikim brzinama, nego se pojavljuju kao efikasno sredstvo povećanja plovnosti. Najbolje takve karakteristike imaju brodovi opremljeni dubokozaronjenim krilima.

Brzi brodovi na podvodnim krilima izrađuju se u SAD, Italiji, Švajcarskoj, Kanadi i Francuskoj. Tako u naoružanju RM SAD postoje raketni čamci deplasmana 240 tona sa brzinama 50 čvorova, a u RM Italije raketni patrolni čamci deplasmana 62,5 tona sa istim brzinama. U stranoj literaturi štampani su projektni podaci velikogabaritnih američkih brodova sa podvodnim krilima deplasmana 1500 i 2400 tona, i francuskog protivpodmorničkog broda deplasmana 2000 tona i brzine 50 čvorova.

Na takvom brodu primenjeno je automatsko upravljanje podvodnim krilima i motorima. Pored toga, koriste se hidro (vodomlazni) motori, koji mogu dati veću snagu nego propellerski, a takođe efektivno raditi u širokom dijazonu brzine, stvarajući malu podvodnu šumnost i obezbeđivati visoka manevarska svojstva broda.

Dalje usavršavanje tih brodova ide u različitim pravcima. Delimično se modernizuju šeme krila, povećava njihova nosivost i čvrstoća putem primene novih konstrukcionih materijala. Istovremeno, pri rešavanju tih zadataka postoje problemi. Tako se sa povećanjem dužine broda površina krila povećava neproporcionalno. Kao rezultat, raste njegova masa i smanjuje se korisna nosivost.

Pri povećanju brzine kretanja neizbežan je nastanak kavitacije. To do vodi do naglog porasta otpora kretanju broda, a, takođe, erozivnom rušenju. U takvim uslovima nedopustivo je upotrebljavati krila sa običnim profilom zbog nestabilnosti njihovih karakteristika. Zato se prema informacijama za vrlo brze brodove (sa brzinom preko 60 čvorova), koriste superkavitirajući ili provetravajući profili.

U RM zapadnih zemalja veliku ulogu dobijaju brodovi na vazдушnom

jastuku. U današnje vreme formirala su se dva principijelno različita tipa takvih brodova: amfibijski (trup pri plovljenju može potpuno da se odvoji od vode) i skegovi — sa petom kobilice (sa nepotpunim odvajanjem od vode i tvrdim bočnim stranama).

Amfibijski brodovi imaju elastičnu ogradu pojasa vazdušnog jastuka po celom obimu dna, sa mogućnošću izlaska na obalu, savladavanja prepreka, kretanja po delovima kopna, nad ledom. Njihova vazдушna pokretljivost uslovljena je prilično niskim pritiskom na oslanjajuću površinu. Brzina kretanja na mirnoj vodi i u vremenskim uslovima bez vetra dostiže 60—70 čvorova, a maksimalan deplasman 300 tona. Kao pokretači tih brodova služe vazdušne elise, snage 80—100 [KS/toni]. Pri tome se za formiranje vazdušnog jastuka koristi približno 30—40% energije, a na kretanje broda 50—60%.

Na primer, aerički desantno-iskretni čamci sa korisnom nosivošću do 60 tona opremljeni su sa četiri gasne turbine, snage po 3995 [KS], koji pokreću dve vazdušne elise (propelera) i četiri propelera za lebdenje. U osobine tih čamaca spadaju brzina (do 30—40 čvorova u uslovima) i visoke manevarske i amfibijske mogućnosti (obezbeđuju mogućnost iskrcavanja desanta na 70% obalnih rubova u svetu, prema 17% kod klasičnih desantnih čamaca). Osim toga, njihova mala fizička polja stiče čamac od pomorskih i kopnenih mina.

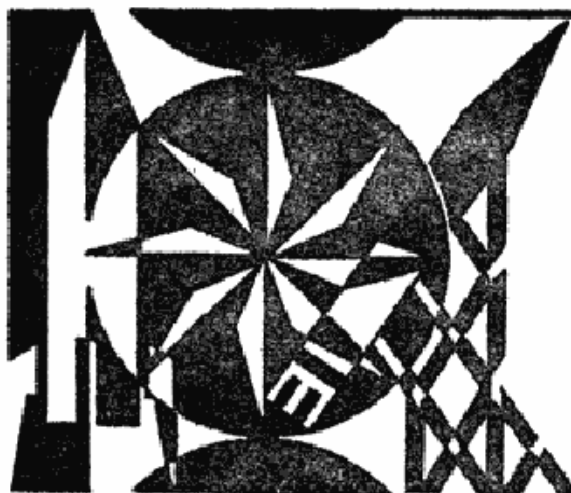
Poboljšanje maritimnih karakteristika brodova na vazdušnom jastuku postiže se povećanjem visine elastične ograde, koja određuje visinu podizanja čvrstog trupa nad površinom vode.

Skegovie (sa petom kobilice) brodovi po konstrukcionom principu, opšteg rasporeda pogonskih uređaja i uređaja za upravljanje, bliski su brodovima promenljivog deplasmata. Sistem ograde vazdušnog jastuka kod njih je kombinovanog tipa: čvrsti zaronjeni skegovi (peta kobilice) na bokovima i elastične ili poluelastične ograde na krajevima. Oni vrše ulogu nosećih elemenata i mogu biti, kako promenljivog deplasmata, tako i glisirajući. Srednja vrednost specifične snage tih brodova je 40—50 KS/toni (na formiranje vazdušnog jastuka troši se približno 30% energije, a na kretanje 70%). Njihov deplasman je 200 tona i brzina kretanja 40 čvorova.

U početku su na brodovima primenjivali tanke (peta kobilice), koje su bile samo oграда prostora vazdušnog jastuka. Zatim za veće brodove koristili su peta kobilice sa promenljivom vodenom linijom, u koje su postavljeni motori i oprema. Pri tome se na račun povećanja visine jastuka povećavale maritimne karakteristike broda i poboljšala njegova žilavost. Osim toga, na nekim brodovima se povećao odnos dužine i širine trupa (4,25 umesto 2,65 kod ranije građenih), što dozvoljava smanjenje otpora i povećanje brzine.

Prema informacijama, otpor skegovih (sa petom kobilice) brodova pri istim uslovima mnogo je niži od amfibijskih. Zato je u današnje vreme jedan od glavnih pravaca u oblasti brodogradnje izgradnja visokotonažnih, brzih brodova na vazdušnom jastuku, deplasmata na 8—10.000 tona i brzine do 80 čvorova.

V. Milatović



tehničke novosti i zanimljivosti

Izraelska samohodna haubica 155 mm »SLAMMER«¹

Prvi prototip samohodne haubice 155 mm SLAMMER, na zahtev izraelskog KoV-a, izrađen je krajem 80-tih godina. Polazni taktičko-tehnički zahtevi bili su: veliki domet, dobra pokretljivost, dobra oklopna zaštita, visoka brzina gađanja, optimalna zaštita posluge i sposobnost brzog otvaranja vatre. Program je obustavljen iz finansijskih razloga.

Prototip je realizovan kupolnom ugradnjom cevi topa 155 mm SOLTAM dužine 52 kalibra na šasiju tenka MERKAWA. Sa projektilom sa generatorom gasa (8. punjenje), ostvaren je domet 42000 m. Borbeni komplet iznosi 75 metaka.

Haubica je snabdevena modernim punjačem sa računarom. Brzina gađanja iznosi 3 metka/15 s, odnosno 9 metaka/min. U slučaju otkaza punjača, ručnim punjenjem ostvaruje se brzina gađanja 3 metka/min. Poslugu čine 4 čoveka. Haubica raspolaže sistemom za pozicioniranje koji omogućava odredi-

vanje mesta oruđa za 1 s. Određivanje azimuta oruđa vrši se nezavisno od SUV-a baterije. Oruđe ima NBH zaštitu. Nosilac razvoja je firma SOLTAM. Završen je razvoj svih podsistema haubice. Prototip je ispitan gađanjem ispaljivanjem 100 metaka. Takođe je izvršeno trupno ispitivanje.

Sovjetski višecevni raketni bacač »SMERCH«²

Pojavljivanje višecevnog raketnog bacača od 300 mm SMERCH na izložbi DSA 90 (DEFENSE SERVICES ASIA) nije predstavljao veliko iznenađenje, jer je njegovo pojavljivanje u sovjetskim oružanim snagama nagovešteno od Pentagona još 1987. godine.

Raketni bacač SMERCH ugrađen je na poznato sovjetsko vozilo MAZ-7310, 8×8, nosivosti 10 t, koje je za ovu namenu oklopljeno i opremljeno novim terenskim pneumaticima. Ovaj tip višecevnog bacača nije se pojavljivao do

¹ Prema podacima iz časopisa: WEHRTECHNIK 1991, br. 6, str. 16 i 17.

² Prema podacima iz časopisa: SOLDAT UND TECHNIK 1990, br. 6, str. 436.

sada na sličnim sredstvima sovjetske armije. U paketu višecernog bacača nalazi se 12 spojenih lansirnih cevi prečnika 300 mm. Dva hidraulična cilindra, postavljena između donjih cevi, omogućavaju dobru stabilnost pri ispaljivanju. Domet raketa, koje su pojedinačno teške preko 300 kg, iznosi 20 do 70 km. Time SMERCH u pogledu dometa obuhvata široko područje bacača i predstavlja nasljednika ranije poznatog bacača BM-22. Na izložbi je samo nagovešteno da glave raketa SMRCH sadrže razorno-rasprskavajuću submuniciju, što je poboljšanje u odnosu na komplikovanu municiju starog bacača BM-22. Pri približnoj proceni korisne nosivosti glave rakete ocenjuje se da ona iznosi preko 100 kg, što uzimajući u obzir garabitne mere glave, može da ima kapacitet oko 60 protivoklopnih mina AT-2. Procenjuje se da je moguće korišćenje glave raketa sa hemijskim ili nuklearnim punjenjem.



Stepen samostalnosti ovog bacača još nije potpuno utvrđen. Velika kabina direktno iza kabine vozača verovatno služi za upravljanje vatrom, čime je ostvarena autonomija slična onoj u sistemima MARS/MLRS na zapadu.

Kao i BM-22 i SMRCH poseduje posebno logističko vozilo za prenos i utovar raketa. Ovo specijalno vozilo oznake MAZ-313 transportuje ukupno 14

raketa u svom držaču, a opremljeno je jednim običnim kranom za brzo i jednostavno punjenje lansirnih cevi raketa.

Bacač granata »GL 40/90-P« italijanske firme »LUIGI FRANCHI«³

Bacač granata GL 40/90-P italijanske firme LUIGI FRANCHI (GROUPE-SOCIMI) razvijen je za potrebe snaga za održavanje reda. Upotrebljava ga italijanska policija.

Za razvoj ovog bacača iskorišćeno je jedno drugo oružje, rasprostranjeno širom sveta — reč je o bacaču HK 69 kalibra 40 mm nemačke firme HECKLER & KOCH. Proizvođač je iskoristio tehničko rešenje bacača HK 69, dodao novi nišan i nov sistem rukohvata.



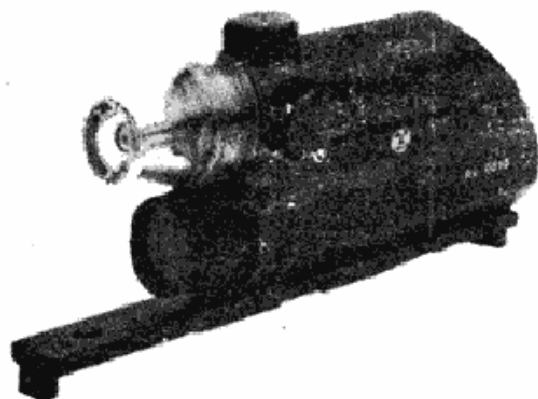
Masa bacača je 3kg, dužina 470 mm (kada je teleskopski kundak uvučen) odnosno 690 mm (sa izvučenim kundakom), širina 54 mm, visina 232 mm, a cev je kalibra 40 mm OTAN i dužine 356 mm.

Ovo jednometno oružje puni se ručno, a koristi široku lepezu granata za osvetljavanje, signalizaciju, dimnih granata i granata sa suzavcem (CN i CS), kao i sve granate za vojnu upotrebu kalibra 40 mm.

³ Prema podacima iz časopisa: DEFENSE & ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, br. 108, str. 87.

Refleksni kolimatorski nišan »RV 20« nemačke firme »KERN«⁴

Nemačka firma KERN (iz grupacije LEICA), renomirana u oblasti optike i precizne mehanike, razvila je jedinstveni nišan KERN RV 20 u saradnji sa poznatim proizvođačem oružja MAUSER.



Refleksni kolimatorski nišan RV 20 namenjen je, pre svega, da olakša nišanjenje i brže gađanje na pokretne ciljeve. To je jednostavan i žustar nišan koji uvećava performanse gađanja: za razliku od tradicionalnih optičkih nišanskih sistema, kod njega se radi o postavljanju crvene mrežice na cilj. Nišanjenje je utoliko lakše, pošto ne zahteva precizno ravnanje. Čim se crvena mrežica postavi na cilj, nišanjenje je obavljeno ispravno.

RV 20 obezbeđuje potpuno vidno polje jer se nišanjenje vrši sa oba otvorena oka. Nišandžija, dakle, raspolaže potpuno svojim vidnim poljem za gađanje. Nišan omogućuje korišćenje po danu i po noći bez baterije: potpuno opto-mehaničke koncepcije, RV 20 uspostavlja neprekidno crvenu tačku bez elektronapanja. Danju se koristi prirodna ili okolna svetlost. Kada ona oslabi, koristi se svetlost tritijuma i pokazuje se

istovremeno krst i crvena tačka. Kada ova tačka jednom potpuno nestane, nišan pokazuje samo krst. Osvetljenje tritijuma ima vreme trajanja oko 10 godina.

RV 20 ima jasnu i svetlu optiku: polarizujući filter dopušta kontinualno podešavanje kontrasta. Nišan je kompletan i lak, a njegova masa varira između 270 i 315 grama zavisno od modela. Refleksni nišan KERN može biti prilagođen za upotrebu na skoro svim oružjima preko interfejsa STANAG 2324 (kompaktni sistem) ili drugih interfejsa raznih proizvođača (npr. H & KMPI 5 ili interfejs WEAVER).

Razvoj dopunskog noćnog IC nišana za švedski PVO raketni sistem »RBS-70«⁵

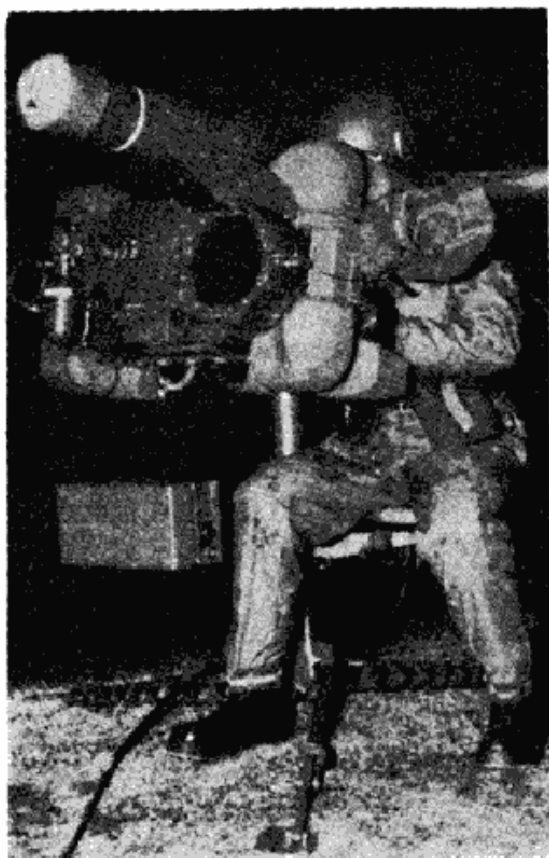
Švedska firma SHWEDISH ORD-NANCE samoinicijativno je razvila dopunski noćni nišan za PVO raketni sistem RBS-70 klase zemlja-vazduh i izvršila kompletna ispitivanja. Do sada su izrađena tri prototipa ovog nišana, koji su ispitivani u širokom rasponu operativnih uslova u Norveškoj i Švedskoj. Nišani su sada spremni za trupna ispitivanja i već su prikazani vojnim predstavnicima sedam zemalja, u severnoj Švedskoj.

Infracrveni nišan, čija je masa 20 kg, projektovan je da se direktno čvrsto nasadi na postojeći dnevni nišan sistema RBS-70 bez neophodnog usaglašavanja. Termalna slika iz opreme za povećanje direktno se ubacuje u čeonu deo dnevnog nišana. Standardna boca sa tečnošću za hlađenje obezbeđuje dovoljno hlađenje za četiri časa rada, zavisno od uslova okolne sredine.

Označavanje cilja za RBS-70 opremljenim dopunskim noćnim nišanom,

⁴ Prema podacima iz časopisa: CIBLES 1991, br. 252, str. 12.

⁵ Prema podacima iz časopisa: JANE'S DEFENCE WEEKLY 1991, 5. oktobar, str. 626.



mogao bi da obezbedi osmatrački radar uz pomoć priključenih terminala-prijemnika za dobijanje podataka cilja.

Projekt ovog nišana je za sada zamrznut, a ukoliko se pojave porudžbine mogao bi biti spreman za proizvodnju sledeće godine, tako da bi prve isporuke mogle uslediti u 1993.

Razvoj nemačkog višenamenskog sistema »IBAS« za centralizovanje upravljanja vatrom⁶

Nemačka firma KRUPP ATLAS ELEKTRONIK razvila je prototip višenamenskog modularnog integrisanog upravljačkog i pokazivačkog sistema

IBAS, koji se može instalirati na oklopna borbena vozila kao što je mehanizovano vozilo pešadije (MIRV) i raznim tipovima vojnih helikoptera. Ovaj sistem može takođe imati primenu u civilnoj odbrani.

IBAS je namenjen za centralizovano komandovanje sistemima za upravljanje vatrom i sastoji se od serija modulskih podsklopova u kompaktnom glavnom bloku, koji sadrži interfejsa za spregu sa sistemima za upravljanje vatrom i mrežama napajanja električnom energijom iz vozila, uz korišćenje identičnih uređaja za komandira vozila i nišandžiju.

Postoji kombinacija od tri standardizovana modula: za način upravljanja, nišansko upravljanje i ulaz/izlaz. Projektovan za upravljanje i prikazivanje operacionih i taktičkih načina, modul načina upravljanja obuhvata komandni blok i programirajuću opremu za pokazivanje u koloru sa visokom rezolucijom, dok modul nišanskog upravljanja obezbeđuje svim nišanima podatke za standardizovane operacije.

Modul ulaz/izlaz namenjen je za specijalne funkcije kao što su testiranje, veza sistema i parametri za nišansko regulisanje. Svaki model u sistemu ima sopstvenu ugradnu opremu koja može da bude aktivirana i upitana preko interfejsa RS 485.

Komplet sklopa IBAS može da bude konfigurisan tako da realno zadovolji svaki tip komandi vozila za upravljanje operacijom, uz korišćenje standardizovane kompjuterske tehničke opreme, programske opreme i interfejsa. Takođe, moduli podsklopova IBAS mogu da se kombinuju prema zahtevima za integrisanje u jedan ili više glavnih sklopova.

Sistem je sada izrađen u vidu funkcionalnog modela kompleta za instaliranje na VT-E eksperimentalnu platformu. Takođe je IBAS uključen u izabrane koncepte za primenu na lovcu tenkova PANTHER i mehanizovano vo-

⁶ Prema podacima iz časopisa: JANE'S DEFENCE WEEKLY 1991, 2. februar, str. 148.

zilo pešadije MARDER 2 MIRV. U slučaju VT-E, oprema za funkcionalni model biće obezbeđena za komandira vozila i nišandžiju, dok će za MARDER 2 MIRV to biti realizovano samo za komandira vozila.

Francuski sistem za upozorenje i upravljanje vatrom »SAMANTHA«⁷

Francuska firma THOMSON-CSF još očekuje odobrenje francuskog KoV za prvu partiju sistema za upozorenje i upravljanje vatrom SAMANTHA koji sačinjava deo protivavionskog sistema za male visine i male daljine MYGALE. Međutim, firma je uverena da će francuski KoV naručiti 78 kompleta sistema SAMANTHA, smeštenih u skloništa, na komionima TRM 2000 ili VLRA. Ova brojka je nedavno povećana sa 5 do 6 sistema, ugrađenih na vozilu VAB, na osnovu iskustva iz zalivskog rata.

Posle prototipa izrađenog jula 1990, firma THOMSON-CSF je spremna da isporuči serijske prototipove SAMANTHA. Svaki uređaj koordinira do 8 topova ili sistema vođenih projektila.

Za izvoz, francuska firma već je proizvela jedan industrijski prototip i dobila je narudžbinu za 7 sistema MANTHA (izvozna verzija slabijih performansi) i 25 vatrene jedinice ASPIC iz Gabona i jedne južnoameričke zemlje. Vatrene jedinice ASPIC se sastoje bilo od 2×4 projektila zemlja vazduh STINGER (varijanta koju žele oba naručioca), vođenih projektila MISTRAL ili vođenih projektila zemlja-vazduh STARSTREAK, sa dnevnim tv-kamerom, jednom IC kamerom CALLIOPE, jednog kriogenog podsistema i nišanskog računara.

⁷ Prema podacima iz časopisa: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1991, br. 9, str. 1019.

Švedski protivoklopni raketni projektil »HEAT« za bacače 84 mm serije »CARL GUSTAV«⁸

Švedska firma SWEDISH ORDNANCE (ranije FFV) razvija protivoklopni projektil HEAT za svoje bestrzajne topove 84 mm serije CARL GUSTAV za koji se tvrdi da će moći da se nosi sa eksplozivnim reaktivnim oklopom. Ova firma takođe tvrdi da će ovaj projektil sa tandemskom bojnomo glavom, koja ima oznaku FFV 751, moći uništiti savremeni osnovni borbeni tenk dejstvom u čeonu oklop, što do sada nije uspevalo ručnim bacačima.

Italijanski artiljerijski projektil 76 mm sa korekcijom putanje leta⁹

Na izložbi vojnopomorske tehnike u Italiji 1989. godine izložen je artiljerijski projektil 76 mm parčadno-razornog dejstva sa korekcijom putanje leta po komandama broskog sistema za upravljanje vatrom. Njega zajedno razvijaju firme OTO MELARA (Italija) i BRITISH AEROSPACE (V. Britanija). Projektil je namenjen za gađanje manevrišućih ciljeva u vazduhu, u prvom redu protivbrodskih raketa, iz jednocevni palubno-kupolnih artiljerijskih oruđa. Ova oruđa su veoma rasprostranjena: na brodovima različitih zemalja sveta ima ih oko 800.

Projektil ima četvorokrili repni stabilizator za stabilizaciju u letu koji se otvara posle izletanja iz cevi oruđa. Korekcija putanje leta projektila se obavlja pomoću 6 pirotehničkih punje-

⁸ Prema podacima iz časopisa: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1991, br. 5, str. 507.

⁹ Prema podacima iz časopisa: ZARUBEŽNOE VOENNOE OBOZRENIE 1991, br. 1, str. 33.

nja koja su smeštena po obodu projektila oko težišta. Jedan od njih dejstvuje po komandi iz broskog centra za upravljanje vatrom u slučaju potrebe korigovanja putanje leta projektila. Prijemnik komandnih signala smešten je u donjem delu projektila, a antena — na stabilizatoru. Posle ispaljivanja projektila u tačku preticanja susreta brodski centar za upravljanje vatrom neprekidno prati cilj i, u slučaju otkrivanja skretanja od potrebnog pravca leta, proračunava novu tačku susreta i daje radio-kanalom komandu za korekciju putanje.

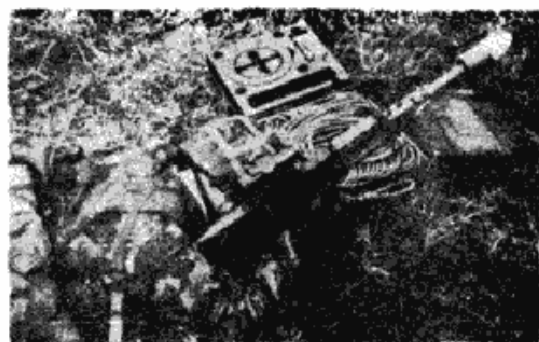


Projektil ima kontaktni i nekontaktni upaljač. Masa projektila je 6,7 kg, uključujući 0,5 kg eksploziva i 1,1 kg ubojnih elemenata u vidu kocki od volframa. Ovaj projektil je uzajamno zamjenjiv sa standardnom čaurom metka. Bez obzira na povećanje dužine projektila za 1,5 puta (sa 536,5 mm) u odnosu na obični artiljerijski projektil 76 mm, ukupna dužina sjedinjenog metka se ne menja jer će se projektil satavljati u čauru dublje na račun smanjivanja barutnog punjenja.

Kako smatraju stručnjaci koji rade na razvoju, efikasni domet po malim cilejvima u vazduhu biće 4—6 km. Troškovi razvoja projektila su iznosili 1 milion funti. U slučaju dobijanja narudžbine od RM Italije ili drugih zemalja, serijska proizvodnja bi se mogla organizovati krajem 1991.

Britanski sistem za brzo pravljenje prolaza kroz protivpešadijsko minsko polje »RAMBS« firme »PAINS-WESSEX«¹⁰

Britanska firma PAINS-WESSEX zaključila je ugovor sa neimenovanim naručiocem iz NATO za razvoj sistema za brzo pravljenje prolaza kroz protivpešadijsko minsko polje RAMBS (Rapid Anti-Personnel Minefield Breaching System). Narudžba se odnosi i na bojno i na nastavno sredstvo.



Vojnik se priprema da ispali projektil sistema za brzo pravljenje prolaza kroz protivpešadijsko minsko polje

Za sistem RAMBS, koji se tri godine razvija kao privatni projekat, tvrdi se da je prenosni sistem za pravljenje prolaza kroz minsko polje kojim rukuje samo jedan poslužilac i da je, kao takav, jedini na svetu.

Ovaj sistem može da očisti prolaz kroz protivpešadijsko minsko polje u dužini od 60 m i širine do 1 m.

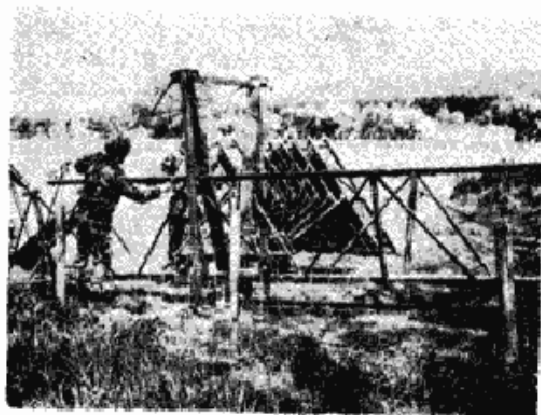
Ceo sistem je lakši od 6,4 kg i sastoji se od projektila koji vuče eksplozivno pružno punjenje, a koji se ispaljuje preko minskog polja u željenom pravcu iz puške standardnog kalibra 5,56 mm ili 7,62 mm. Pružno eksplozivno punjenje se zatim aktivira jednostavnim udarnim upaljačem.

¹⁰ Prema podacima iz časopisa: JANE'S DEFENCE WEEKLY 1991, 2. februar, str. 152.

Obučenom poslužiocu neće trebati više od 60 sekundi za čitavu operaciju. Ako je noć, očišćeni prolaz se obeležava svetlosnim štapićima.

Pešadijski most »COMMANDO« za savladivanje prepreka na bojištu britanske firme »PML«¹¹

Britanska firma PML proizvela je most za borbene potrebe COMMANDO, koji omogućuje borecima-pešadincima premošćavanje useka na bojištu širine do 30 metara. Jednostavan za montiranje, vrlo male mase i lak za transportovanje, ovaj mostovni kompleks sastoji



se od: 18 trapezoidnih podnih dodirujućih modula (dužine oko 2 m); 34 spojnih elemenata za povezivanje susednih modula; jednog sistema nosača koji, učvršćeni na prvom modulu, pojačavaju stabilnost sklopa; portalne lansirne dizalice sa kabinom i uređajem za učvršćivanje za tlo radi olakšanja lansiranja. Razne komponente ove mostovne konstrukcije izrađene su od aluminijumske legure.

¹¹ Prema podacima iz časopisa: DEFENSE & ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, br. 164, str. 96.

Minopolagač za austrijsku PT minu »88«¹²

Za mašinsko, skriveno polaganje PT mina 88 koncipiran je i minopolagač. To je jednoosna prikolica koju vuče teretno vozilo. Mine se mogu polagati tačkasto uz učesće tri čoveka (komandir minopolagača, vozač i pomoćnik za polaganje mina). Sve funkcije minopolagača su elektronski tako osigurane, da se svaka pogrešna radnja odmah naznačuje i automatski prekida proces polaganja mina. Armiranje mina vrši se mašinski tek neposredno pre izbacivanja.

Na slici je prikazan minopolagač, a neki njegovi tehnički podaci su: dužina 6.250 mm; širina 2.430 mm; visina 2.700 mm; masa oko 6.100 kg; brzina polaganja mina je više od 200 mina na sat; pogon uređaja za polaganje mina vrši dizel-motor od 40 kW.



U minopolagač je ugrađen kompjuter sa štampačem, koji na pritisak dirke odštampa na papirnoj traci za svaki niz mina naročito važne podatke (broj mina, razmak, vrsta mine, ukupna dužina minskog polja).

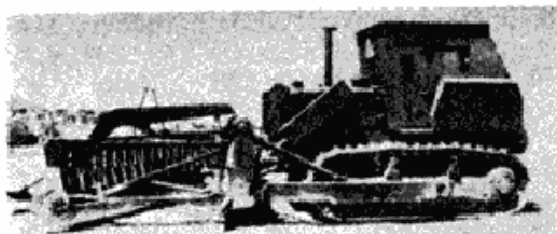
Američki dodaci »MCAP« za raščišćavanje mina traktorom¹³

Firma CATERPILLAR iz SAD razvila je u okviru ugovora sa Upravom

¹² Prema podacima iz časopisa TRUPPENDINGST 1991, br. 3, str. 257.

¹³ Prema podacima iz časopisa SÖLDAT UND TECHNIK 1992, br. 1, str. 81.

KoV za oklopne jedinice SAD dodatke za raščišćavanje mina i za oklopnu zaštitu traktora. Ceo komplet je nazvan MCAP (Mine Cleating Armor Protection). Komplet je namenjen traktorima D7G, koji su u sastavu KoV SAD, a razvijen je za potrebe sukoba u Zalivu. Međutim, razvoj je završen nakon što su obustavljena dejstva, ali se ipak proizvodi.



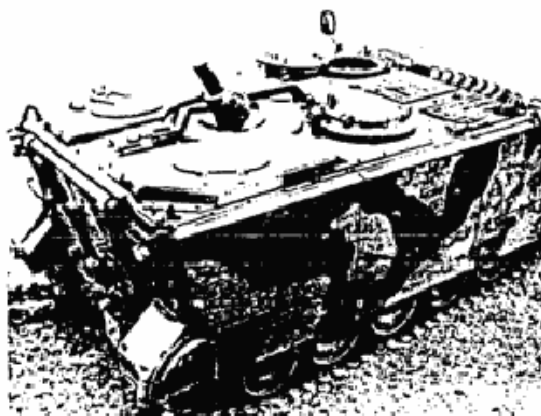
Komplet MCAP je projektovan za poboljšanje bezbednosti traktora u toku raščišćavanja mina na prednjim linijama fronta. Normalno treba da se koristi za proširivanje staza, koje su već stvorene kroz minsko polje pirotehničkim sredstvima ili plugom za mine. Komplet se montira ispred traktora i sastoji se od grabulja, koje su postavljene pod uglom i koje guraju nagazne i protivtenkovske mine na desnu stranu. Grabuljama se upravlja pomoću hidraulike, a one propuštaju kroz svoje zupce materijal tla. Zupci se mogu lako zameniti. Montažu na traktor mogu izvršiti dva čoveka u roku od 10 min. Masa oklopa, koji se dodaje traktoru je 3.084 kg, i on štiti vozača, motor, hladnjak, gorivo, hidraulične rezervoare i akumulatore od malokalibarskog oružja do 7,62 mm, od parčadi artiljerijskih granata i od mina, koje eksplodiraju u toku raščišćavanja.

U Arizoni (SAD) izvršeno je ispitivanje kompleta MCAP. Pokazao se kao veoma uspešan pri raščišćavanju kako otvoreno, tako i sakriveno postavljenih nagaznih i protivtenkovskih mina raznih tipova. Neke mine su bile ukopane i do dubine od 30 cm. Širina razminirane staze je 3,66 m. Efikasnost je bila

100%. Međutim, ispitivanja su vršena samo u pustinjskim predelima, tj. u suvom ili vlažnom pesku, tako da ovaj princip razminiranja pogoduje samo peskovitom tlu.

Minobacač kalibra 120 mm nemačke firme »RHEINMETALL« ugrađen na oklopni transporter »M113«¹⁴

Nemačka firma RHEINMETALL je na izložbi NVO Defendory, oktobra 1990. godine, prikazala varijantu poznatog američkog oklopnog transportera M113 sa ugrađenim minobacačem kalibra 120 mm. Transporter M113 proizveden u desetinama hiljada komada, na kome je sprovedeno niz poboljšanja, usavršavanja i modifikacija prikazan je sa pomenutim ugrađenim minobacačem na sl. 1.

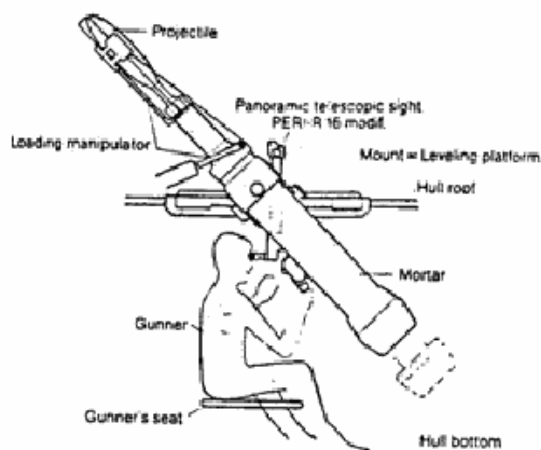


Sl. 1

Predviđeno je da se u opremu nemačkog KoV-a uvede 400 ovakvih borbених vozila sa ugrađenim minobacačima kalibra 120 i 81 mm. Smatra se da će se uvođenjem ovakvog sistema nao-

¹⁴ Prema podacima iz časopisa: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1991, br. 3, str. 269.

ružanja dobiti na pokretljivosti pri upotrebi ovog naoružanja (uz NBH i oklopnu zaštitu) kao i na vatrenoj moći. Način ugradnje minobacača 120 mm na vozilu M113 je prikazan na sl. 2. Punjenje se obavlja na uobičajen način — kroz usta cevi, dok mehanizam za smanjenje sile trzanja i nivelisanje platforme smanjuje dejstvo reaktivnih sila na vozilo i omogućuje brzinu gađanja od 18 metaka/min. Isti koncept je primenjen i za minobacač kalibra 81 mm.



Sl. 2

Municija za minobacače ugrađene u vozilo ima identične unutrašnje i spoljne karakteristike kao i municija koja se koristi u klasičnim jedinicama. Razlika je u tome što su zrna koja se koriste za minobacač ugrađen u vozilo nešto drugačijeg oblika (P-princip, tj. mina u obliku artiljerijske granate). Zapravo ovakvog projektila je optimizirana tako da se primenjuje veće eksplozivno punjenje, čime se povećava brzina rasprskavajućih parčadi. Firma RNEINMETALL tvrdi da je nova minobacačka municija 120 HE-L u ovom trenutku jedina koja ima efikasno dejstvo na tzv. »polutvrde« ciljeve. Senzor upaljača reaguje na 15 m iznad tla, a parčad se rasprskava u mlaz konusnog oblika manjeg ugla disperzije

Češkoslovački protivpožarni tenk »SPOT 55«¹⁵

Nova situacija prisilila je Češkoslovačku da nađe civilnu primenu za svoje borbene tenkove. Tenk T-55 je skup kako po nabavnoj ceni tako i po troškovima za održavanje. On troši 190 do 330 l goriva i 6 do 11 l ulja na 100 km. Međutim, on ima i određene prednosti. Snaga motora mu je velika, 427 kW uz masu od 40 t, pa može da vozi kako kroz šumu tako i kroz zidove. Može da savlada uspon od 32° i nizbrdice od 30°. Može da pređe neravnine terena kao npr. rovove širine 2,7 m i vodene prepreke. Uobičajena protivpožarna vozila nemaju takve osobine, a kod T-55 su njegove prednosti dopunjene još i perfektnom zaštitom posade od spoljašnjih dejstava. Debeli oklop štiti tri člana posade od vrelina, tako da vozilo može da provede do 30 min na spoljašnjoj temperaturi od 600° bez ugrožavanja posade. Oklop pruža zaštitu i od predmeta koji padaju, zatim od eksplozije, a filterski sistem omogućava posadi da radi i u okolini zagađenoj dimom, hemijskim sredstvima ili radioaktivnim zračenjem.

Šasija sa motorom i ostalim agregatima identična je kao kod prvobitnog



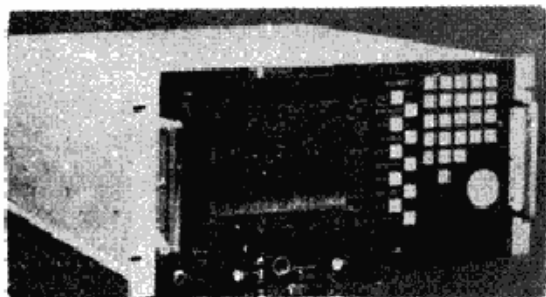
¹⁵ Prema podacima iz časopisa: WEHRTECHNIK 1991, br. 10, str. 18.

tenka. Kupola je zamenjena velikim nadgrađem sa kontejnerima za protivpožarna sredstva (volumen je 11.600 lit) i prostorom za 500 kg/praha za gašenje požara, crevima kojima upravlja hidraulika, pumpom niskog pritiska i pumpom visokog pritiska i ostalim priborom. Osim toga tenk je opremljen sredstvima za zemljane radove. Pored šest originalnih otvora za osmatranje ugrađen je TV sistem za osmatranje spoljašnjosti. U opremi protivpožarnog tenka nalazi se i IC uređaj i laserski daljinomer.

Proizvođači smatraju da je novi protivpožarni tenk SPOT 55 prvo vozilo koje omogućava prilaz najopasnijim mestima, kao što su šumski požari, požari u hemijskim pogonima, katastrofe u nuklearkama, a da se pri tom posada ne izlaže opasnosti. Posada upravlja iz unutrašnjosti vozila svim elementima koji se nalaze napolju.

VHF/UHF IZVIDAČKI/DF sistem »WJ8986« američke firme »WATKINS-JOHNSON«

Američka firma WATKINS-JOHNSON je proizvela novi izviđački i radio-goniometarski (DF) sistem WJ8986. Sistem ima tri ili četiri kanala za simul-



tanu doradu signala unutar radnog frekvencijskog opsega. Tipična brzina skaniranja je 200 MHz/s bez DF i 100

MHz/s sa DF. Paralelni A/D konvertor digitalizuje signal za 10 mikrosekundi. Standardna opcija uređaja pokriva frekvencijski opseg od 2 do 512 MHz, dok posebna opcija pokriva od 2 do 2000 MHz. Uređaj može da deluje samostalno ili da bude povezan u mrežu sa više različitih sistema.

Selektivni ometač »ROMST« jugoslovenske firme »IMTEL«¹⁷

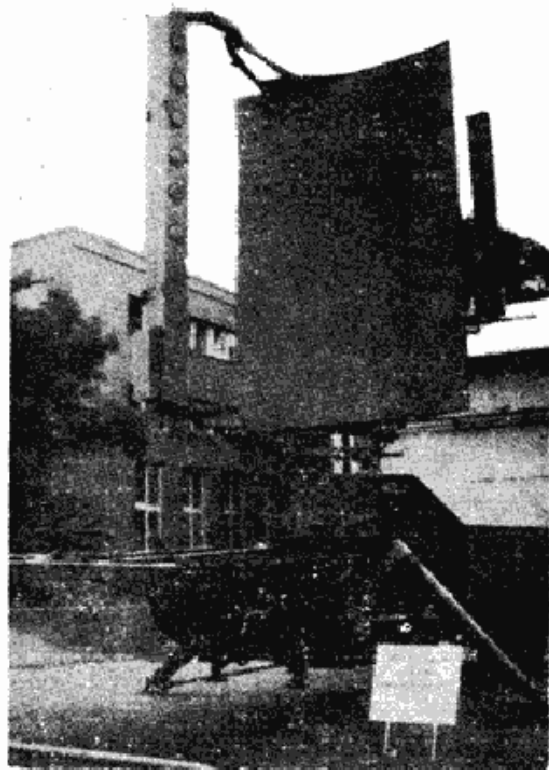
Institut za mikrotalasnu tehniku i elektroniku (IMTEL) iz Beograda razvio je ometački radio-uređaj ROMST. Uređaj ima mogućnost detektovanja i selektivnog ometanja VVF radio-uređaja sa frekvencijskim skakanjem koji rade do brzina skakanja od 500 skokova u sekundi. Uređaj ROMST ima mogućnost prikazivanja podataka o 32 radio-predajnika sa frekvencijskim skakanjem koji rade istovremeno. Podaci koji se prikazuju na displeju su azimut (do 5), tip modulacije, brzina skakanja, trajanje i tekuća frekvencija sa tačnošću od 6,25 kHz. Osim ovoga, ROMST obezbeđuje širokopojasno i selektivno uskopojasno ometanje. U prvom slučaju, ometač emituje šum u opsegu od 15 MHz i multitonski signal sa proizvoljnim brojem tonova unutar tog opsega. Pri selektivnom uskopojasnom ometanju, ROMST se sinhroniše na izabrani radio-uređaj. Na početku frekvencijskog skoka estimira se tekuća noseća učestalost, a zatim se preostali deo vremena koristi za ometanje korišćenjem posebnog predajnika. Vreme ometanja svake frekvencije može da bude i 80% od ukupnog trajanja skoka za radio-uređaje sa brzinom skakanja od 100 skokova u sekundi.

¹⁶ Prema podacima iz časopisa: DEFENCE ELECTRONICS 1991, jun, str. 89.

¹⁷ Prema podacima iz časopisa: DEFENSE ELECTRONICS & COMPUTING (SUPPLEMENT TO IDR 7/1991), str. 68.

Češkoslovački trodimenzionalni radar za iznalaženje cilja »ST-68«¹⁸

Sredinom septembra 1991. godine u vojnom delu aerodroma Prag-Kbely prikazan je novi radar ST-68 povodom Dana češkoslovačkog RV (vidi sliku). Radi se o radaru za kružno pretraživanje, koji između ostalog može da se koristi i u zajednici sa sistemom vođenih raketa SA-10b, ako se njegove baterije koriste autonomno. Radar je izgrađen na dvoosovinskoj prikolici. Nosač za napajanje može se očigledno zaokrenuti i zajedno sa radarskom antenom preklo-



piti u marševski položaj. Uređaj je dobio u NATO kodnu oznaku TIN SHIELD. Proizvodi ga sovjetska firma ALMAZ u sklopu PVO raketnog sistema SA-1b (S-300 PMU), gde nosi oznaku 36D6. Za sada još nije utvrđeno da li se radar

¹⁸ Prema podacima iz časopisa: SOLDAT UND TECHNIK 1992, br. 2, str. 148.

isporučuje češkoslovačkoj RV firmi CSFR ili ga ona proizvodi po licenci. Moguće je da je firma CSFR, koja je vodeća u ovoj oblasti, učestvovala i u razvoju novog radara.

Britanski prenosni artiljerijski radar »MSTAR« za izviđanje i akviziciju ciljeva¹⁹

Britanska firma THORN EMI ELECTRONICS razvila je za potrebe britanskog KoV-a prenosni radar za izviđanje i akviziciju ciljeva MSTAR (Manportable Surveillance and Target Acquisition Radar). Ovaj radar, koji funkcioniše na bazi poluprovodničke tehnike u J frekventnom opsegu i čija je masa 30 kg, ima malu izlaznu snagu i slabu verovatnoću ometanja od sredstava za protivelektronska dejstva neprijatelja.



Namenjen prevashodno za potrebe isturenih artiljerijskih osmatrača MS-

¹⁹ Prema podacima iz časopisa: DEFENSE & ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, br. 103, str. 96.

TAR vrši detekciju i akviziciju pokretnih ciljeva (pešak, vozilo i helikopter u niskom letu) na dometima od više kilometara, i upravlja artiljerijskom vatrom. Ovaj radar razvijen je u dve verzije: jedna verzija na tronožnom postolju, koja se može lako rastaviti u četiri dela, i druga verzija za montiranje na vozila, koja je prvobitno bila instalirana na GKN WARRIOR ali se može postaviti na svako točkaško ili gusenično vozilo. Prema opciji, može se dobiti i teleskopski jarbol za antenu. MSTAR se lako pušta u rad, ima prislušni uređaj uz čiju pomoć operator može da klasifikuje ciljeve prema tipu, i ravan elektroluminiscentni ekran koji obezbeđuje veliku i jasnu sliku.

Različiti režimi rada mogu se birati zahvaljujući tastaturi na bloku za upravljanje i vizualizaciju koji, u verziji na tronošcu, može biti udaljen preko 230 m od antene. Za potrebe izviđanja, ekran je podešen za razmer vojnih karata 1:50000 da bi se olakšala korelacija između podataka vizualizacije i detalja na karti.

Kada je cilj detektovan, operator prelazi na vizualizaciju sa visokom rezolucijom. Koristeći poboljšanu frekvenciju skaniranja, mogu se vizuelno lokalizovati lansiranja artiljerijskih ili minobacačkih projektila; potrebne korekcije izračunavaju se automatski i predaju za korekturu vatre.

Francuski terenski radar »RASIT« za pokretne ciljeve²⁰

Radar RASIT detektuje, zahvata, identifikuje i lokalizuje svaki pokretan cilj do daljine 40 km (tipični dometi:

pešak do 23 km, lako vozilo do 32 km, kamion ili helikopter do 40 km). Ovaj radar omogućuje: integralno osmatranje zone, izradu karata stalnih odraza, kao i selekciju zona uzbunjivanja, akviziciju automatsko praćenje ciljeva. RASIT je u stvari Doplerov radar sa kratkim impulsima, koherentan, realan, koji eliminiše stalne odraze korišćenjem fiksnih impulsa u sprezi sa izmenjivim Doplerovim filtrima. Njegova srednja emisivna snaga je 3 W (vršna snaga 3 kW).



Radar formiraju dva glavna kompleksa: »antena« koju čine dva bloka (glava HF/vazдушna i mehanizam rotacije), i »operator«, takođe sastavljen od dva bloka (komandni pult operatora i konvertor). Jedan komplet kablova, teleskopski jarbol od 1 m i sto za skiciranje upotpunjuju ovaj sistem, koji se može nositi i instalirati na zemlji ili montirati na vozilo. Komandni pult operatora sadrži grupu za vizualizaciju sa osciloskopom »dnevna svetlost« i podešavajućom numeričkom memorijom.

²⁰ Prema podacima iz časopisa: DEFENSE & ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, br. 103, str. 96.

Kodeks informatičara²¹

U sklopu zaštite informacionih resursa u Jugoslaviji, predlaže se donošenje kodeksa informatičara, kao podloge prepoznavanja ispravnog i željenog delovanja u informatici. Definišu se dve grupe informatičarske »elite«: 1) stručnjaci koji imaju uvid u informacije i operišu sa njima (sistem-analitičari,

projektanti informacionih sistema, rukovodioci procesa obrade informacija); 2) stručnjaci koji imaju uvid u podatke i operišu sa njima (programeri, operatori obrade, operatori unosa podataka).

U kodeksu je dat osnovni skup pravila ponašanja davalaca informacionih usluga u informaciono-komunikacionim sistemima (informatičarska profesija i programski proizvodi).

²¹ Prema podacima iz časopisa: PRAKSA 1990, 1990, br. 11, str. 12-15.

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, obuku, organizaciju i sva stručna, naučna, teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i obrazovanju pripadnika oružanih snaga.

Članak koji se dostavlja Redakciji mora biti kompletan, tj. 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. U kratkom sadržaju — sažeu, treba izneti suštinu članka, najviše u desetak radova.

Članak treba da sadrži uvod, kratak sadržaj, razradu i zaključak. Njegov obim treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa novinskim proredom). Tekst članka mora biti jezički i stalski doteran, 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 obrazaca (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. Članak se obavezno dostavlja u dva primerka.

Spisak grafičkih priloga sadrži naziv slike — crteža i nazive pozicije 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.

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

Tematski plan VTG za 1993. godinu

1. Unutrašnje balističko projektovanje oruđa
2. Uticaj početne temperature baruta na brzinu sagorevanja u oblasti visokog pritiska
3. Temperaturna naprezanja cevi oruđa i njihov uticaj na ukupna naprezanja
4. Određivanje optimalnih dimenzija višeslojnih cevi oruđa
5. Matematički model 6-DOF za REAL-TIME simulacije
6. Analiza matematičkog modela 6-DOF za REAL-TIME simulacije
7. Efikasnost kasetne artiljerijske municije pri gađanju na površinske ciljeve
8. Avionske magistrale podataka
9. Upravljačko-pokazivački podsistemi savremenih aviona
10. Realizacija avionskih softvera za rad u realnom vremenu
11. Algoritam za kontinualno izračunavanje tačke otpuštanja avio bombi
12. Karakteristike uređaja i sistema za noćno osmatranje
13. Vatreno naoružanje savremenih vazduhoplova
14. Algoritmi za praćenje manevrišućih ciljeva u vazдушnom prostoru
15. Karakteristike i perspektive razvoja vođenih vazduhoplovnih ubojnih sredstava
16. Prostorno-diverziti radarski sistemi
17. Frekvencijsko-diverziti radarski sistemi
18. Vremensko-diverziti radarski sistemi
19. Sistemi za osmatranje, goniometrisanje i ometanje veza sa frekvenциjskim skakanjem
20. Primena elektromagnetnog rasprezanja u planiranju frekvencija u profesionalnim FDM/FM radio sistemima
21. Modulacioni postupci za digitalne RR sisteme
22. Određivanje toplotne aktivnosti baruta pomoću mikrokalorimetra
23. Određivanje promašaja pri gađanju sa PVO raketnim sistemima
24. Analiza i obrada rezultata kontrolno-tehničkih gađanja
25. Numeričke simulacije u mehanici fluida sa posebnim osvrtom na rešavanje Ojlerovih jednačina
26. Privremena zaštita metalnih proizvoda
27. Odvlaživanje kao postupak zaštite od atmosferske korozije
28. Predlog postupka za ekspertizu pogonske materije u raketnim motorima
29. Sistemski prilaz izboru koncepcije i modela preventivnog održavanja prema stanju motornih vozila
30. Predviđanje pouzdanosti elemenata transmisije motornih vozila i uticaj na konstrukciju
31. Formiranje lične karte tehničke službe i korištenje podataka u realnom vremenu
32. Organizacija vršenja radnji osnovnog održavanja sa aspekta odgovornosti nadležnih učesnika

33. Ugovaranje održavanja i remonta sa DP u uslovima inflacije
34. Specifičnosti modifikacija tehničkih sredstava pogonske opreme
35. Merenje rada u održavanju TMS
36. Izbor lokacije za elemente pozadinskog obezbeđenja
37. Izbor kadra za održavanje kao višekriterijumski problem odlučivanja
38. Debakarisanje cevi artiljerijskih oruđa
39. Vađenje zaglavljenih projektila iz cevi oruđa
40. Karakteristična oštećenja na TMS u uslovima b/d
41. Mogućnosti zamene modula i sistema u procesu održavanja različitih TMS pri eksploataciji u toku b/d
42. Ugradnja dodatne opreme na tenk T-55 za izradu prolaza u minskim poljima
43. Primena integralnog IS u sistemu generalnog remonta
44. Regeneracija ozubljenih i ožljebljenih r/d
45. Tehnološko rešenje izrada specijalnog globalnog pužnog para kod uređaja za zatezanje gusenica
46. Regeneracija delova protivtrajućih sistema art. oruđa
47. Regeneracija delova motora
48. Prednosti IPSEN-ove tehnologije termičke obrade u odnosu na klasične metode
49. Informatička podrška sistemu snabdevanja vazduhoplovnotehničkih materijalnih sredstava
50. Učavršavanje sistema snabdevanja
51. Prevođenje, preimenovanje i nomenklaturna obrada i stavljanje u funkciju nomenklaturno neobrađenih r/d
52. Sistem snabdevanja rezervnim delovima
53. Izvlačenje i evakuacija TMS u b/d
54. Promene i praćenje kvalitativnih karakteristika pogonskih sredstava
55. Promene tehničkih karakteristika ubojnih sredstava
56. Organizacija rada jedinica tehničkog održavanja
57. Organizacija rada jedinica srednjeg remonta
58. Uloga i zadaci generalnog remonta u ratu
59. Organizacija tehnološkog procesa generalnog remonta složenih sredstava na primeru tenka M-84
60. Savremene tehnologije proizvodnje sredstava NVO i njihov uticaj na sistem održavanja
61. Značaj i tehnologija vertifikacije elektronskih i mašinskih sredstava
62. Regeneracija r/d u jedinicama srednjeg remonta
63. Pirotehnička bezbednost objekata u skladištima ubojnih sredstava
64. Kvalitet dizel goriva i njegov značaj za primenu u letnjim i zimskim uslovima
65. Organizacija rada u savremenim skladišnim objektima pogonskih sredstava
66. Upotreba i osnovno održavanje specifičnih uređaja složenih tehničkih sredstava

67. Upotreba i održavanje savremenih laserskih sistema
68. Specifičnost programskog paketa za prikaz podataka o TMS i njegove mogućnosti
69. Registrovanje i praćenje zadataka na personalnom računaru
70. Modeli pouzdanosti programske podrške
71. Modeli efikasnosti programske podrške
72. Analiza pogodnosti primene nekih linearnih i nelinearnih modela za rešavanje problema transporta
73. Elektromagnetna propulzija broda
74. Eksploatacija i vek upotrebe podmornice
75. Konceptija opremanja hiperbaričnog centra RM
76. Demagnetizacija brodova
77. Eksploatacija i održavanje specijalnih brodskih uređaja i sistema

REDAKCIJA