GENERALŠTAB VOJSKE JUGOSLAVIJE

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Direktor

Pukovnik
SLAVKO BRSTINA

UREĐIVAČKI ODBOR

General-major
dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)

General-potpukovnik
dr JUGOSLAV KODŽOPELJIĆ, dipl. inž.

General-major
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika Odbora)

General-major
dr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.

General-major
dr SLOBODAN BURSAĆ, dipl. inž.

General-major
MILAN UZELAC, dipl. inž.

General-major
BRANISLAV OBRADOVIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr MOMČILO MILINOVIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr MILIĆ STOJIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr RADOVAN MAKSIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILOVAN ĆIROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILAN ŠUNJEVARIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr DRAGUTIN JOVANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr SVETOMIR MINIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.

Pukovnik
MIROSLAV ĆOJBAŠIĆ, dipl. inž.
(sekretar Odbora)

Pukovnik
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
DRAGOMIR KRSTOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

* * *

Glavni i odgovorni urednik

Pukovnik
Miroslav Ćojbašić, dipl. inž.
(tel. 646-277)

Urednik

Potpukovnik
Stevan Josifović, dipl. inž.
(tel. 646-277)

Sekretar redakcije

Zora Pavličević
(tel. 642-653)

ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53. Pretplata: 645-020, žiro-račun: 40818-637-9-6319 za VIZ/VTG, poziv na broj 963/054. Godišnja pretplata 210,00 dinara. Rukopisi se ne vraćaju. Štampa: Vojna štamparija – Beograd, Generala Ždanova 40b.

YU ISSN: 0042-8469 **UDC: 623 + 355/359**

STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJE

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK

1

GODINA XLVIII • JANUAR–FEBRUAR 2000.

SADRŽAJ

Dr Branko Đedović, pukovnik, dipl. inž.	DOGRADNJA JEDINSTVENOG SISTEMA ODRŽAVANJA TEHNIČKIH MATERIJALNIH SREDSTAVA KoV .	5
Dr Dragoljub M. Brkić, dipl. inž.	PRORAČUN POUZDANOSTI MOSNE VEZE ELEMENATA TEHNIČKOG SISTEMA ANALITIČKOM METODOM I METODOM MONTE KARLO	11
Sc Dragan Kostadinović, pukovnik, dipl. inž.	NEKI ASPEKTI UTVRĐIVANJA I PRIMENE KRITERIJUMA ZA DEKLASIRANJE I PROGNOZU PREOSTALOG VEKA CEVI ARTILJERIJSKIH ORUĐA	16
Dr Branislav Todorović, dipl. inž. **Sandra Erić,** dipl. inž.	TALASNA TRANSFORMACIJA – NOVI METOD ZA ANALIZU SIGNALA	28
Mr Milić Ivošević, potpukovnik, dipl. inž.	VUČNI PRORAČUN PRI PODVODNOJ VOŽNJI	41
Dejan M. Savić, potporučnik, dipl. inž. **Boban Pavlović,** potporučnik, dipl. inž. **Dr Milan M. Šunjevarić,** pukovnik, dipl. inž.	ARHITEKTURA SOFTVERSKI DEFINISANOG RADIJA	48
Borivoje Veljanovski, dipl. inž. **Dr Miomir Kalezić,** dipl. inž. **Dr Vencislav Grabulov,** dipl. inž.		
Mr Milutin Nikačević, dipl. inž.	PRIMENA LEGURA ALUMINIJUMA U SREDSTVIMA NAORUŽANJA	55
Mr Milovan Unković, dipl. inž.	JEDNA OD METODA ETALONIRANJA MJERAČA MODULACIJE MI 2305	64
Dr Slavko Pokorni, pukovnik, dipl. inž.	RUSKI KOMANDNO-INFORMACIONI SISTEMI PVO .	71

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

Raketni sistem PVO BUK-M1-2: udar je neodbranjiv – M.K. . 84
Protivradarske rakete NATO – V.R. 86
Modernizacija borbenog vozila pešadije BMP-1 – M.K. . . . 87

Protivtenkovske granate – oružje budućnosti – M.K. 89
„Pametna" oružja u RV Velike Britanije – V.R. 91
Ultraširokopojasna tehnologija otvara nove horizonte – M.S. . 92
Raketni i patrolni čamci VIMPEL – M.K. 97

TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

Raketa zemlja-vazduh ASTER 30 – V.R. 100
Uvođenje u upotrebu rakete MICA – V.R. 101
Ispitivanja protivtenkovske rakete LAHAT – V.R. 102
Ruski oklopni topovski sistem – V.R. 102
Samohodna haubica 155 mm G6 i projektili KRASNOPOLJ – V.R. 103
Novi korejski minobacač 81 mm – V.R. 103
Sistemi PVO u Grčkoj – V.R. 104
BTR-90: vozilo za 21. vek – M.K. 105
Sporazum Egipta i Finske o artiljerijskim sistemima – V.R. . 105
Oklopno vozilo od kompozitnih materijala – V.R. 106
Rusko borbeno vozilo TOS-1 – V.R. 107
Proizvodnja novih tenkova u Kini – V.R. 107
Indija nabavlja tenkove T-90S – V.R. 108
Nišanska oprema za borbeno vozilo DARDO – V.R. 108
Hrvatski tenk DEGMAN – V.R. 109
Novo naoružanje za lovce MiG – M.K. 109
Modernizacija helikoptera u Rusiji – V.R. 111
Ispitivanja helikoptera Ka-50 u Turskoj – V.R. 111
Bespilotna letelica PREDATOR B – V.R. 112
Konverzija kineskih aviona u vazdušne tankere – V.R. ... 112
Novi minoistraživač za kanadsku armiju – M.K. 113
Usavršeni lični borbeni lokator – M.K. 113

Dr Branko Đedović,
pukovnik, dipl. inž.
Tehnička uprava GŠ VJ,
Beograd

DOGRADNJA JEDINSTVENOG SISTEMA ODRŽAVANJA TEHNIČKIH MATERIJALNIH SREDSTAVA KoV

UDC: 623.1/.6–7:65.01

Rezime:

Makrosistem održavanja tehničkih materijalnih sredstava KoV, u uslovima tehničko-tehnološke modernizacije i stalnog razvoja sredstava, postaje sve složeniji. Kompleksnost tehničkog obezbeđenja u celini i održavanja kao posebnog zadatka, u kontekstu postojećih zahteva, nametnula je potrebu za primenom dostignuća savremene teorije i prakse logističkog inženjerstva i organizacije u rešavanju zadataka tehničkog održavanja tehničkih materijalnih sredstava u miru i ratu. Kritički su analizirani fleksibilnost, efektivnost i celishodnost postojećih rešenja, što pokazuje da je moguće poboljšati postojeća i iznaći nova rešenja funkcije održavanja i optimalne upotrebe materijalnih, prostornih i kadrovskih resursa. Proverom postojećih rešenja u praksi otkrivene su nove zavisnosti pojava i svojstava, kao i tendencije njihovog daljeg toka. U radu se razmatraju razlozi i potrebe izrade jedinstvene tehnologije na kojoj bi se zasnivao koncept održavanja tehničkih materijalnih sredstava KoV.

Ključne reči: tehnička materijalna sredstva, organizacija održavanja, optimizacija održavanja.

UPGRADING OF A UNIFORM SYSTEM OF TECHNICAL MATERIAL MEANS MAINTENANCE IN THE GROUND FORCES

Summary:

Under the conditions of technological modernization and constant development of material means, the macrosystem of maintenance of technical material means in the Ground Forces becomes more and more complex. Complexity of technical support in general, and of maintenance as a particular task, have imposed the necessity to aplly achievements of modern theoretical as well as practical aspects of logistic engineering and organization in the field of technical maintenance of technical material means in the state of peace as well as war. Flexibility, effectiveness and suitability of existing solutions have been analyzed. It was shown that it is possible to improve the existing solutions and to find new ones in maintenance and optimal use of material sources, facilities and human resources. The verification of existing solution in practice has revealed new relations between phenomena and properties, as well as trends of their further development. The paper also points out the reasons for upgrading a uniform technology as a basis for the concept of maintenance of technical material means in the Ground Forces.

Key words: technical material means, organization of maintenance, maintenance optimization.

Uvod

Projektovanje podrške u održavanju širokog asortimana tehničkih materijalnih sredstava (TMS) KoV, različitih po starosti, konstrukciji, primenjenim tehnologijama i tehničkim karakteristikama, predstavlja složen zadatak tehničkog obezbe-

đenja (TOb-a). Planiranje i realizacija održavanja na osnovu orijentacionih eksploatacionih i vremenskih resursa, na određenim vidovima održavanja, u uslovima brojnih međuzavisnosti organizacione, strukturne, kadrovske, prostorne, tehnološke i materijalne prirode, postaje višedimenzionalan problem. Pojedina rešenja pokazala su nedovoljnu fleksibilnost i efikasnost u obezbeđivanju podrške u održavanju. Ovo razmatranje treba da dovede do iznalaženja novih sistemskih rešenja u uslovima tehničko-tehnološkog osavremenjavanja, u pogledu daljeg razvoja TOb-a, unapređenja njegovih elemenata i faktora, u skladu sa najnovijim saznanjima teorije i prakse, u fazama pripreme i izvođenja borbenih dejstava, u funkciji ukupnog povećanja borbene gotovosti.

Preispitivanje postojeće organizacije održavanja

Sistem održavanja sa svojim procesima, organizovan u odnosu na tehnološke postupke, obim i strukturu održavanja po nivoima, radi obezbeđenja veće autonomnosti, ekonomičnosti i efikasnosti, u uslovima brzog razvoja tehnike i tehnologije, nameće potrebu kontinualnog praćenja i dogradnje. Dalji razvoj TMS ukazuje na sve veću međuzavisnost održavanja i logističke podrške i njihovog uticaja na ostale operativne karakteristike TMS.

Neusklađenost zahteva i raspoloživih resursa za održavanje po nivoima uslovila je narušavanje osnovne strukture sistema. Podrška u održavanju, kao obaveza viših nivoa da pružaju pomoć nižim nivoima, uslovljava preraspodelu raspoloživih kapaciteta, što umanjuje efektivnost sistema (šema 1).

Šema 1

Zahtevi za održavanje ↔ Raspoloživi resursi
– nedostatak kapaciteta za održavanje na nivou generalnog remonta; – nepotpuno i nepravovremeno izvođenje radova obimnijih tehnoloških procesa; – neekonomično osnovno i tehničko održavanje; – neefikasni niži vidovi održavanja.

Neusklađenost zahteva za održavanje i raspoloživih resursa po nivoima

Sistem održavanja funkcioniše u okolini čije je dejstvo promenljivog karaktera, što izaziva poremećaje u radu sistema. Kao rezultat poremećaja javljaju se gubici koji umanjuju efekte i izvode sistem izvan granica dozvoljenih odstupanja. Izučavanje elemenata sistema održavanja, u svim njegovim dimenzijama, organizacijsko-formacijske strukture i tehnologije, njihovih karakteristika i relacija, ima za cilj projektovanje funkcionisanja u izmenjenim uslovima kao i sprečavanje stohastičkog ponašanja.

Od sistema održavanja TMS KoV, kao postavljena funkcija cilja (F_k), zahteva se ostvarenje:

– maksimalnog učinka,

– maksimalne ekonomičnosti.

Maksimalni učinak definiše se:

– maksimalnim kvalitetom izvođenja tehnoloških postupaka održavanja (P), tj. max. (F_k) = max. (P);

gde je funkcija cilja maksimalnog kvaliteta (F_{kp}) izražena u vidu optimalne tačnosti (T), tj. max. (F_{kp}) = opt (T),

– maksimalnom brzinom izvođenja tehnoloških postupaka održavanja (v), tj. max. (F_k) = max. (v);

– maksimalnim brojem izvedenih tehnoloških postupaka održavanja (Q), tj. max. (F_k) = max. (Q).

Maksimalna ekonomičnost definiše se:

– minimalnim troškovima rada (T_r), tj. max. (F_k) = min. (T_r);

– maksimalnim stepenom iskorišćenja (η), tj. max. (F_k) = max. (η).

Definisana funkcija cilja povezana je sa stepenom iskorišćenja postojećih struktura održavanja po nivoima, određenih merom funkcionalne nadležnosti i uslovljenih raspoloživim resursima i zahtevima gotovosti TMS.

Kada je u sistemu održavanja narušena utvrđena međuzavisnost elemenata, nadležnost i odgovornost, sistem nepotpuno obavlja postavljenu funkciju kriterijuma, pa je potreban kritički osvrt na postojeću politiku održavanja, radi izmene strukture i algoritama njegovog funkcionisanja.

Kritičko sagledavanje broja nivoa održavanja, strukture pojedinih nivoa, tehničko-tehnoloških zahteva sredstava i broja izvršilaca u jedinicama za održavanje, ukazuje na moguće pravce izmene i dogradnje sistema održavanja.

Osnove koncepta poboljšanog sistema održavanja

Nesistematizovano i nekritičko usvajanje različitih koncepata održavanja za različita TMS, i nemogućnost da se sistem održavanja usavrši i kvalitetno oceni bez strogog definisanja i praćenja parametara koji karakterišu tehnologiju održavanja, nameću potrebu izučavanja ovog problema i dogradnje koncepta integralne sistemske podrške u održavanju.

Osnovna postavka koja može opredeliti osnove koncepta dogradnje sistema održavanja jeste jednoznačno definisanje tehnologija održavanja za svako TMS i grupu TMS. Na taj način sistem održavanja će biti kvalitetno opisan i ocenjen na osnovu sistematizovanih tehnoloških parametara. Potrebno je izvršiti razradu tehnologija održavanja po tehnološkim programima za sva bitnija i složenija TMS.

Izrada jedinstvenih tehnologija održavanja omogućila bi projektovanje optimalnog broja nivoa održavanja i prostornih i kadrovskih kapaciteta za kvalitetno održavanje, na osnovu tehničkih, tehnoloških i ekonomskih parametara kao kriterijuma optimizacije. Poznavanjem obima tehnologije održavanja pojedinačnih vrsta i grupa TMS, sadržaja tehnoloških operacija i njihove sistematizacije na preventivne i korektivne, jasno se zaokružuje struktura radova na određenom nivou održavanja, obezbeđuje minimalno vreme sredstava „u otkazu", ostvaruje maksimalan kvalitet radova održavanja i sprečava angažovanje visokostručnih kadrova na manje složenim tehnološkim zahvatima – „prelivanje" kapaciteta viših nivoa u niže nivoe održavanja.

Primenjenim istraživanjima, metodama za rešavanje problema održavanja višeatributivnim odlučivanjem, moguće je doći do kvantitativnih pokazatelja efikasnosti održavanja sredstava i do izbora najboljeg rešenja.

Da bi se primenila bilo koja metoda za rešavanje modela višeatributivnog odlučivanja, neophodno je poznavati način: kvantifikacije kvalitativnih atributa, modifikacije atributa istog kriterijuma, normalizacije i linearizacije atributa i definisanja težinskih koeficijenata kriterijuma. Kvantifikovanjem činioca efikasnosti održavanja, preko matematičkih modela i primenom različitih postupaka i metoda za određivanje efikasnosti dejstva prema jednačini više kriterijuma, omogućava se realnije vrednovanje (ocena) efekta održavanja.

Pod problemom višekriterijumskog programiranja podrazumeva se zadatak

optimizacije dve ili više funkcija cilja (f_k) na nekom skupu mogućih rešenja. Matematički zapis problema glasi:

$$(\max)\ [f_1(x),\ldots, f_k(x)],\ (k \geq 2)$$
$$g_i(x) \leq 0,\ i = 1,\ldots, m$$

Kvalitativna svojstva održavanja biće izražena preko nivoa gotovosti, kao kriterijuma.

Na osnovu dosadašnjih saznanja o realnom sistemu održavanja moguće je koncipirati opštu metodologiju projektovanja poboljšanog sistema održavanja (šema 2).

Šema 2

Sistem održavanja ↔ Projektovanje
– mesto i uloga sistema održavanja, kao podsistema u okviru sistema tehničkog obezbeđenja; – generisanje univerzalnih primarnih zahteva za održavanje; – izbor politike održavanja; – sadržajno strukturiranje programa održavanja; – generisanje tehnoloških projektnih zahteva; – organizacioni i tehnološki projekat razvoja sistema održavanja; – generisanje varijantnih rešenja; – izbor rešenja; – provera rešenja.

Opšta metodologija projektovanja sistema održavanja

Studiozno izučen koncept poboljšanog sistema održavanja treba da definiše:

– organizacionu strukturu sistema održavanja,

– strukturu komunikacionih kanala,

– nadležnost pojedinih nivoa održavanja,

– broj i mikrolokacije organizaciono-tehnoloških celina po nivoima održavanja,

– osnovne strategije i tehnološke koncepcije realizacije postupaka održavanja,

– broj i vrstu potrebnih tehnoloških i upravljačkih elemenata.

Tehnološki programi održavanja

Tehnologija održavanja TMS predstavlja skup programa održavanja pojedinih nižih materijalnih celina, koje čine sistem TMS, usklađenih po svim nivoima održavanja.

U skladu sa aktuelnim zahtevima sistema i tehnologije održavanja nameće se potreba da se tehnološka dokumentacija oformi modularno po programima održavanja, tako da program održavanja predstavlja zaokruženu tehnološku celinu koja se izvršava na određenom nivou održavanja.

Tehnološka dokumentacija, kojom se opisuje i određuje program održavanja, treba da predstavlja samostalnu modularnu celinu. Dokumentacija treba da omogući proračun i upravljanje resursima održavanja na optimalan način, kao i kontinualnu dogradnju i usavršavanje održavanja.

Poboljšanje sistema održavanja podrazumeva maksimalnu iskorišćenost postojeće infrastrukture i resursa, uključujući i njihovu makro i mikrolokaciju. Tehnološki programi održavanja treba da daju rekapitulaciju resursa održavanja (radne snage, normativa tehnološkog vremena, opreme i alata, rezervnih delova), periodičnosti i verovatnoće izvođenja, prostornih uslova i zahteva za okolinu.

Modularno osmišljena i strukturno i sadržajno razrađena tehnološka dokumentacija, namenjena grupi konstrukcijski i tehničko-tehnološki sličnih TMS, njihovim sistemima, podsistemima, sklopovima i konstrukcijskim celinama, univerzalne namene, znatno bi umanjila obim postojeće dokumentacije, povećala

kvalitet održavanja i poboljšala logističke i ekonomske parametre sistema održavanja TMS.

Teorija i praksa svakodnevnog rada kao i najnovija iskustva iz borbenih dejstava, potvrđuju opravdanost iniciranja i studiološkog izučavanja dogradnje sistema održavanja TMS KoV, na osnovu izrade jedinstvenih tehnologija održavanja i optimizacije kadrovskih, prostornih i materijalnih resursa za održavanje, po strukturi i lokaciji.

Suštinski značaj u dogradnji sistema ima određivanje vremena u kojem treba da se obavljaju preventivni postupci, kako bi troškovi održavanja bili što manji. Za rešavanje postavljenog zadatka određivanja optimalnih perioda sprovođenja preventivnih postupaka održavanja mogu se koristiti različiti modeli održavanja, koji funkcionalno povezuju najuticajnije činioce na troškove održavanja i ostvarenu efektivnost (gotovost). Jedan od modela analitički je dat izrazom:

$$T_u(t) = \frac{K_{ko} - (K_{ko} - K_{po}) \cdot R(t)}{\int_0^t R(t)\,dt}$$

gde je:

T_u – ukupni troškovi održavanja,
K_{ko} – troškovi korektivnog održavanja,
K_{po} – troškovi preventivnog održavanja,
$R(t)$ – funkcija pouzdanosti.

Tehnološko projektovanje poboljšanog sistema održavanja moguće je realizovati algoritamskom procedurom prikazanom na šemi 3.

Prikazani algoritam i metodologija tehnološkog projektovanja omogućavaju:

– racionalizaciju svih tehnoloških zahteva,

– preferiranje dobrih varijantnih rešenja,

Šema 3

Sistem održavanja ↔ Tehnologije
– analiza zadataka koje sistem održavanja treba da izvrši; – identifikacija i kvantifikacija tehnoloških zahteva; – generisanje tehnoloških koncepcija; – prilagođavanje zahteva tehnološkoj koncepciji; – kvantifikacija zahteva u okviru tehnološke koncepcije; – dimenzionisanje tehnoloških elemenata; – formiranje varijantnih tehnoloških rešenja; – izbor tehnoloških rešenja.

Algoritam tehnološkog projektovanja

– analizu stohastičkih nestacionarnih pojava,

– preciznu razradu tehnoloških postupaka modularnih tehnologija.

Nova karakterizacija upravljanja održavanjem

Upravljanje održavanjem TMS KoV na principu komandovanja, i izjednačavanje broja nivoa održavanja u skladu sa brojem komandnih nivoa, organizacijski i formacijski implementirano je u postojeću strukturu VJ.

Uslovi okoline u kojima funkcioniše sistem održavanja unutar Vojske, uže, i potencijal nacionalne privrede, šire, nameću ekonomsku i logističku potrebu grupisanja svih resursa na manji broj makrolokacija, a time i smanjenje broja nivoa održavanja i izmenu nadležnosti izvođenja definisanih tehničko-tehnoloških operacija u odnosu na nivoe održavanja.

Potrebno je dograditi koncept održavanja TMS KoV. Prednosti navedenog pristupa problemu bile bi višestruke, što je prikazano na šemi 4.

U tom smislu, poboljšanje održavanja TMS višekriterijumskom optimizaci-

Šema 4

Gotovost TMS ↔ Koncept održavanja TMS
– efikasnije komandovanje i upravljanje održavanjem; – efikasnije održavanje TMS; – bolje iskorišćenje kadrovskih, prostornih i materijalnih resursa; – kraće vreme sredstava „u otkazu"; – brže snabdevanje rezervnim delovima i lakša materijalna podrška održavanju; – viša raspoloživost rezervnih delova za održavanje; – viša ispravnost i gotovost za upotrebu TMS.

Elementi poboljšanog sistema održavanja

jom, po logističkim i ekonomskim atributima, predstavlja temeljnu postavku njegove modernizacije i bitan faktor podrške tehničko-tehnološkom osavremenjavanju KoV.

Zaključak

Sistemskom analizom organizacije i funkcionisanja jedinstvenog sistema održavanja TMS KoV, radi iznalaženja funkcionalnijih modela, logistički i ekonomski opravdanih, koji bi uvažili nove uslove delovanja okoline unutar Vojske i privrede, i pratili zahteve njenog tehničko-tehnološkog osavremenjavanja, generalizovani su stavovi koji se mogu dati u formi sledećih zaključaka:

– sistem održavanja TMS KoV treba da zadrži sve oblike organizacijsko-formacijske strukture koji ga povezuju u jedinstvenu celinu;

– poboljšanje sistema održavanja moguće je realizovati dogradnjom jedinstvenih tehnologija održavanja za svako TMS i grupu TMS, na osnovu univerzalne tehničke remontne dokumentacije modularnog karaktera, koja bi dala osnove koncepta novog sistema održavanja;

– sa aspekta povećanja efikasnosti i smanjenja troškova održavanja višekriterijumskom optimizacijom, na osnovu razrađenih tehnologija, na osnovu logističkih i ekonomskih atributa, moguće je smanjiti broj nivoa održavanja a postojeće resurse makrolokacijski grupisati;

– saznanja fundamentalnog karaktera, postojeće teorije i prakse održavanja, kao i iskustva iz najnovijih borbenih dejstava treba inkorporirati u savremena rešenja organizacije upravljanja održavanjem i realizacije održavanja.

Literatura:

[1] Borović, S., Nikolić, I.: Višekriterijumska optimizacija, CVŠ, Beograd, 1996.

[2] Petković, R., Kokanović M., Ćirović, M.: Organizacija održavanja TMS, CVŠ KoV JNA, Zagreb, 1988.

[3] Teze za razradu tehnologije održavanja TMS KoV JNA, VVTŠ KoV JNA, 1988.

[4] Uslovi za izradu tehnološke dokumentacije usavršenog sistema održavanja TMS KoV OS, TU SSNO, 1988.

[5] Inženjersko-mašinski priručnik, poglavlje Mašinski sistemi, Beograd, 1987.

Dr Dragoljub M. Brkić,
dipl. inž.
Tehnički opitni centar KoV,
Beograd

PRORAČUN POUZDANOSTI MOSNE VEZE ELEMENATA TEHNIČKOG SISTEMA ANALITIČKOM METODOM I METODOM MONTE KARLO

UDC: 62.004.15:519.245

Rezime:

U radu su opisane dve metode proračuna pouzdanosti mosne veze elemenata tehničkog sistema: analitička metoda (tačna) i metoda Monte Karlo (približna). Dat je primer proračuna u kojem su upoređeni dobijeni rezultati primenom ove dve metode. Velika približnost dobijenih rezultata ukazuje na valjanost metode Monte Karlo, koja je posebno primenljiva u proračunima pouzdanosti složenih sistema veza elemenata.

Ključne reči: pouzdanost, proračun pouzdanosti, mosna veza elemenata sistema, metoda Monte Karlo.

CALCULATION OF RELIABILITY OF THE SYSTEM-ELEMENTS BRIDGING CONNECTION BY THE ANALYTICAL METHOD AND BY THE MONTE CARLO METHOD

Summary:

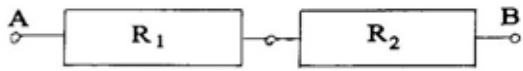
Two methods for calculating reliability of the bridging connection of system elements are described in the paper. The analytical method (accurate) and the Monte Carlo method (approximate). These two methods have been applied to a calculation example and their results have been compared. High approximacy of the obtained results points out the validity of the Monte Carlo method, which can be especially applied in reliability calculations of complex element connection systems.

Key words: reliability, reliability calculation, system-elements bridging connection, Monte Carlo method.

Uvod

Elementi tehničkog sistema međusobno su povezani, redno, paralelno, ili kombinovano, tj. redno-paralelnom i(ili) paralelno-rednom vezom. Proračun pouzdanosti kombinovane veze elemenata sistema realizuje se postupkom redukcije. Na primer, ako su dva elementa vezana redno (slika 1), gde u čvoru njihove veze nema veza sa drugim elementima, onda se ta dva elementa mogu zameniti jednim fiktivnim elementom, u smislu pouzdanosti, čija je ekvivalentna pouzdanost data sledećim izrazom:

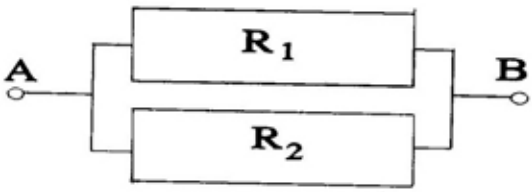
$$R_e = R_1 \cdot R_2. \qquad (1)$$



Sl. 1 – Redna veza dva elementa

Ekvivalentna pouzdanost novog fiktivnog elementa jednaka je proizvodu pouzdanosti prvog i drugog elementa. Takav postupak se nastavlja za sledeći redno vezani element, i to za svaku granu složenog sistema veze, i na taj način veza se uprošćava.

Međutim, u nekim delovima tehničkog sistema mogu se naći i elementi koji su međusobno vezani paralelno u funkcionalnom smislu. Paralelna veza dva elementa prikazana je na slici 2.



Sl. 2 – Paralelna veza dva elementa

Slično kao kod redne veze, i dva paralelno vezana elementa mogu se zameniti jednim fiktivnim elementom čija se pouzdanost određuje pomoću izraza:

$$R_e = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2). \qquad (2)$$

Kada vremena rada do (između) otkaza elemenata sistema imaju eksponencijalnu raspodelu, onda se pouzdanosti R_1 i R_2 određuju izrazom:

$$R_i = R_i(t) = e^{-\lambda_i t} = e^{-\frac{t}{m_i}};\ i = 1, 2, \qquad (3)$$

gde je:

λ_i – intenzitet otkaza,

m_i – srednje vreme rada do (između) otkaza i-tog elementa,

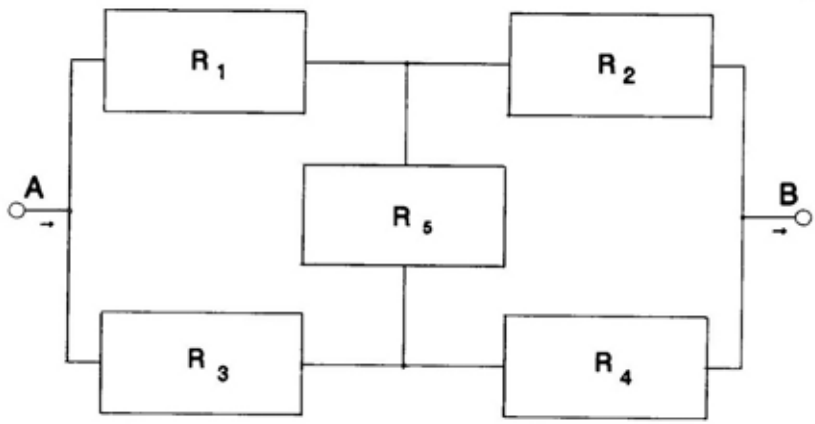
t – zadato vreme bezotkaznog rada.

U nekim tehničkim sistemima postoje i elementi koji premošćavaju neke grane sistema. U takvim slučajevima određivanje pouzdanosti celog sistema nije jednostavno. Koristeći navedene postupke redukcije, takav sistem se najčešće svodi na mosnu vezu elemenata koja je prikazana na slici 3. Blokovi koji predstavljaju elemente mosne veze označeni su sa R_1, R_2, ..., R_5, gde korišćene oznake predstavljaju pouzdanosti tih elemenata.

Proračun pouzdanosti

Analitička metoda

Za zadati interval vremena bezotkaznog rada (0, t), veza između parametara



Sl. 3 – Mosna veza elemenata sistema

$\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_5$, koji predstavljaju intenzitete otkaza tih elemenata, i $R_1, R_2, \ldots, R_5$, data je izrazom:

$$R_i(t) = e^{-\lambda_i t};\ i = 1, 2, \ldots, 5. \qquad (4)$$

U izrazu (4), umesto intenziteta otkaza λ, može se koristiti srednje vreme rada do (između) otkaza m, koje je, u slučaju eksponencijalne raspodele vremena do (između) otkaza, jednako recipročnoj vrednosti intenziteta otkaza.

Pod pouzdanošću mosne veze elemenata sistema podrazumeva se verovatnoća pojave očekivane izlazne veličine u tački B, kao odziv datoj ulaznoj veličini u tački A. Određivanje pouzdanosti mosne veze znatno je složenije od određivanja pouzdanosti prethodno navedenih vrsta veza elemenata (redne i paralelne veze elemenata). Ukupan broj različitih putanja signala između ulaza A i izlaza B je četiri: 1) R_1 i R_2, 2) R_3 i R_4, 3) R_1, R_4, R_5 i 4) R_3, R_5, R_2. Putanje preko ovih elemenata nisu međusobno nezavisne, jer se u njima pojavljuju i neki zajednički elementi. Određivanje pouzdanosti ove mosne veze izvršeno je primenom Bulove algebre. U ovom primeru, za pet različitih elemenata, koji sačinjavaju mosnu vezu, napisane su kombinacije stanja elemenata, i mosne veze kao celine prikazane u tabeli 1.

U tabeli 1 sa 0 je označeno stanje neispravnosti, a sa 1 stanje ispravnosti elementa, odnosno cele mosne veze. Kao što se može videti u ovoj tabeli, od 32 kombinacije 16 kombinacija je uspešnih, tj. njima se može preneti signal od A do B. Te kombinacije su:

1. 00011 $\quad \bar{R}_5\bar{R}_4\bar{R}_3R_2R_1 = S_1$
2. 00111 $\quad \bar{R}_5\bar{R}_4R_3R_2R_1 = S_2$
3. 01011 $\quad \bar{R}_5R_4\bar{R}_3R_2R_1 = S_3$
4. 01100 $\quad \bar{R}_5R_4R_3\bar{R}_2\bar{R}_1 = S_4$
5. 01101 $\quad \bar{R}_5R_4R_3\bar{R}_2R_1 = S_5$
6. 01110 $\quad \bar{R}_5R_4R_3R_2\bar{R}_1 = S_6$
7. 01111 $\quad \bar{R}_5R_4R_3R_2R_1 = S_7$
8. 10011 $\quad R_5\bar{R}_4\bar{R}_3R_2R_1 = S_8$
9. 10110 $\quad R_5\bar{R}_4R_3R_2\bar{R}_1 = S_9$
10. 10111 $\quad R_5\bar{R}_4R_3R_2R_1 = S_{10}$
11. 11001 $\quad R_5R_4\bar{R}_3\bar{R}_2R_1 = S_{11}$
12. 11011 $\quad R_5R_4\bar{R}_3R_2R_1 = S_{12}$
13. 11100 $\quad R_5R_4R_3\bar{R}_2\bar{R}_1 = S_{13}$
14. 11101 $\quad R_5R_4R_3\bar{R}_2R_1 = S_{14}$
15. 11110 $\quad R_5R_4R_3R_2\bar{R}_1 = S_{15}$
16. 11111 $\quad R_5R_4R_3R_2R_1 = S_{16}$

Pošto su sve prikazane kombinacije međusobno nezavisne, pouzdanost ove mosne veze elemenata jednaka je zbiru članova S_i (i = 1, 2, ..., 5), tj.

$$R = \sum_{i=1}^{16} S_i. \qquad (5)$$

Tabela 1

Kombinacije stanja elemenata i mosne veze

	Stanja elemenata R_5 R_4 R_3 R_2 R_1	Stanje mosne veze S		Stanja elemenata R_5 R_4 R_3 R_2 R_1	Stanje mosne veze S
1.	0 0 0 0 0	0	17.	1 0 0 0 0	0
2.	0 0 0 0 1	0	18.	1 0 0 0 1	0
3.	0 0 0 1 0	0	19.	1 0 0 1 0	0
4.	0 0 0 1 1	1	20.	1 0 0 1 1	1
5.	0 0 1 0 0	0	21.	1 0 1 0 0	0
6.	0 0 1 0 1	0	22.	1 0 1 0 1	0
7.	0 0 1 1 0	0	23.	1 0 1 1 0	1
8.	0 0 1 1 1	1	24.	1 0 1 1 1	1
9.	0 1 0 0 0	0	25.	1 1 0 0 0	0
10.	0 1 0 0 1	0	26.	1 1 0 0 1	1
11.	0 1 0 1 0	0	27.	1 1 0 1 0	0
12.	0 1 0 1 1	1	28.	1 1 0 1 1	1
13.	0 1 1 0 0	1	29.	1 1 1 0 0	1
14.	0 1 1 0 1	1	30.	1 1 1 0 1	1
15.	0 1 1 1 0	1	31.	1 1 1 1 0	1
16.	0 1 1 1 1	1	32.	1 1 1 1 1	1

Polazeći od jednakosti:

$$R_j + \bar{R}_j = 1, \quad (6)$$

u izrazima za S_i, činioce R_j ($j = 1, 2, \ldots, 5$) treba zameniti sa:

$$\bar{R}_j = 1 - R_j. \quad (7)$$

Posle izvršenih smena, naznačenih množenja i sabiranja, dobija se konačan izraz za pouzdanost mosne veze elemenata tehničkog sistema:

$$\begin{aligned} R = {} & R_1R_2 + R_3R_4 + R_1R_4R_5 + \\ & + R_2R_3R_5 + (R_1R_2R_3R_4 + \\ & + R_1R_2R_3R_5 + R_1R_2R_4R_5 + \\ & + R_1R_3R_4R_5 + R_2R_3R_4R_5) + \\ & + 2R_1R_2R_3R_4R_5. \end{aligned} \quad (8)$$

Oznake za pouzdanosti elemenata u izrazu (8) su skraćene. One se pri izračunavanju pouzdanosti zamenjuju sa:

$$R_j(t) = e^{-\lambda_j t} = e^{-\frac{t}{m_j}}; \; j = 1, 2, \ldots, 5, \quad (9)$$

gde je:

λ_j – intenzitet otkaza j-tog elementa,

m_j – srednje vreme rada do (između) otkaza j-tog elementa,

t – zadato vreme bezotkaznog rada.

Metoda Monte Karlo

Neka su za elemente mosne veze na slici 3 data srednja vremena rada do (između) otkaza: m_1, m_2, m_3, m_4 i m_5, umesto pouzdanosti: R_1, R_2, R_3, R_4 i R_5, respektivno. U slučaju da vremena rada do (između) otkaza elemenata imaju eksponencijalnu raspodelu, tada je funkcija nepouzdanosti i-tog elementa:

$$F_i(t) = 1 - e^{-\frac{t}{m_i}}; \; m_i > 0; \; t \geq 0; \; i = 1, 2, \ldots, 5. \quad (10)$$

Rešavanjem izraza (10) po t, dobija se:

$$t = -m_i \ln [1 - F_i(t)]. \quad (11)$$

Ako se za vrednost funkcije $F_i(t)$, u izrazu (11), uzme pseudoslučajni broj $f_{ij} \in [0, 1]$, tada se za t dobija sledeći pseudoslučajni broj:

$$t_{ij} = -m_i \ln (1 - F_{ij}); \; i = 1, 2, \ldots, 5; \; j = 1, 2, \ldots \quad (12)$$

koji ima eksponencijalnu raspodelu sa parametrom m_i.

U izrazu (12), t_{ij} je j-to po redu generisano pseudoslučajno vreme do (između) otkaza i-tog elementa posmatrane mosne veze.

Neka je t zahtevano vreme bezotkaznog rada mosne veze date na slici 3. Bezotkazno stanje mosne veze elemenata u zadatom vremenu t je ono stanje kada između tačaka A i B postoji bar jedna ispravna veza (veza elemenata od A do B koja nije otkazala). Da bi se dogodila pojava stanja bezotkaznog rada u vremenu t, moraju biti ispunjeni sledeći uslovi:

$$\begin{aligned} & (t_1 > t \wedge t_2 > t) \vee \\ & (t_1 > t \wedge t_5 > t \wedge t_4 > t) \vee \\ & (t_3 > t \wedge t_5 > t \wedge t_2 > t) \vee \\ & (t_3 > t \wedge t_4 > t), \end{aligned} \quad (13)$$

gde su $t_1, t_2, \ldots, t_5$, generisana pseudoslučajna vremena do (između) otkaza prvog, drugog, ..., petog elementa, respektivno, a t je zahtevano vreme bezotkaznog rada.

Da bi se mogla odrediti pouzdanost mosne veze elemenata, metodom Monte Karlo, potrebno je skup pseudoslučajnih brojeva $\{t_1, t_2, \ldots, t_5\}$ generisati uzastopno N puta, gde je N vrlo veliki broj ($N > 100$). Ako se jedno generisanje skupa brojeva $\{t_1, t_2, \ldots, t_5\}$ smatra jednom probom, onda je N ukupan broj proba. Neka je u toku N proba uslov dat izrazom (13) bio ispunjen M puta (M

uspešan ishod probe), tj. u M od N proba postojala je bar jedna ispravna veza između tačaka A i B (slika 3).

Pouzdanost mosne veze može se metodom Monte Karlo približno odrediti kao količnik broja uspešnih ishoda M i ukupnog broja proba N, tj.:

$$\hat{R}(t) = \frac{M}{N}. \qquad (14)$$

Primer

Poznata su srednja vremena rada do (između) otkaza elemenata mosne veze date na slici 3: $m_1 = 1000$ h, $m_2 = 1000$ h, $m_3 = 2000$ h, $m_4 = 2000$ h i $m_5 = 2500$h, koja imaju eksponencijalnu raspodelu. Potrebno je odrediti pouzdanost ove mosne veze elemenata primenom analitičke metode i metode Monte Karlo, za sledeća zahtevana vremena bezotkaznog rada: t = 100 h, 250 h, 500 h, 1000 h i 2000 h. Kod primene metode Monte Karlo, radi postizanja veće tačnosti, ukupan broj proba treba da bude N = 10 000. Dobijene rezultate treba uporedno prikazati u tabeli.

Rešenje

Pošto je izračunavanje pouzdanosti složeno u slučaju primene analitičke metode, a posebno metode Monte Karlo, to je za rešavanje datog zadatka neophodna primena računara. Za zadate podatke, koristeći prethodno navedene izraze za pouzdanost mosne veze elemenata, pomoću računarskog programa urađenog specijalno za ovu svrhu, dobijene su vrednosti za pouzdanost mosne veze elemenata (slika 3) koje su prikazane u tabeli 2.

Tabela 2

Vrednosti pouzdanosti mosne veze elemenata

t[h]	Primena analitičke metode R(t)	Primena metode Monte Karlo $\hat{R}(t)$
100	0,990426	0,9905
250	0,945292	0,9487
500	0,818600	0,8193
1000	0,527829	0,5310
2000	0,175627	0,1760

Zaključak

Kada se uporede vrednosti pouzdanosti mosne veze elemenata tehničkog sistema, određene analitičkom metodom i metodom Monte Karlo, koje su prikazane u tabeli 2, može se primetiti da su one veoma približne. To je potvrda valjanosti metode Monte Karlo, a i velikog broja proba N = 10 000. Zadovoljavajuća tačnost mogla bi se dobiti i sa manjim brojem proba (N > 100). Zbog spore statističke konvergencije, preterano povećanje broja proba (N ≫ 10 000) ne dovodi do značajnijih približavanja rezultata dobijenih primenom ove dve metode. Primenom metode Monte Karlo može se odrediti pouzdanost i složenijih sistema veze elemenata, nego što je sistem mosne veze. Bitno je istaći da se primenom prikazane metode Monte Karlo, može odrediti pouzdanost nekog sistema veza, a da se pri tome ne mora izvesti analitički izraz za tu pouzdanost. To je naročito važno kada je sistem veze složen, pa je izvođenje analitičkog izraza za njegovu pouzdanost veoma teško izvodljivo, jer, kao što se može videti u ovom radu, ono je teško izvodljivo i za jednostavnu mosnu vezu elemenata.

Literatura:

[1] P. Chapouille et R. De Pazzis: Fiabilité des Systèmes, Masson, Paris, 1968.

[2] B. L. Van Der Waerden: Mathematische Statistik, Springer-Verlag, Berlin, 1965.

[3] H. G. Schneider: Zuverlässigkeit elektronischer Bauelemente, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustie, Leipzig 1974.

Sc Dragan Kostadinović,
pukovnik, dipl. inž.
Tehnička uprava GŠ VJ,
Beograd

NEKI ASPEKTI UTVRĐIVANJA I PRIMENE KRITERIJUMA ZA DEKLASIRANJE I PROGNOZU PREOSTALOG VEKA CEVI ARTILJERIJSKIH ORUĐA

UDC: 623.423.1:620.169.1

Rezime:

U radu se ukazuje na nedostatke i nedorečenosti prisutnih kriterijuma za utvrđivanje stanja cevi, i metoda prognoze preostalog veka cevi. Na osnovu toga daje se mogući pristup pri donošenju odluka o akcijama korektivnog održavanja, posebno kod savremenih artiljerijskih oruđa kod kojih je bitna primena kriterijuma za određivanje radnog veka cevi u odnosu na zamor materijala.

Ključne reči: cev artiljerijskog oruđa, stanje cevi, deklasiranje, zamor.

SOME ASPECTS OF DETERMINING AND APPLYING CRITERIA FOR THE REJECTING AND THE FORECASTING OF CANON TUBE REMAINING SERVICE LIFE

Summary:

The paper points out disadvantages and ambiguities of existing criteria for canon tubes condition determination as well as of forcasting methods for their remaining service life. A possible approach in making decisions about corrective maintenance actions is given, particularly when concerning modern artillery weapons in which the application of criteria for determining tube service life in relation to material fatigue is of utmost importance.

Key words: canon tube, tube condition, rejecting, fatigue.

Uvod

Kroz aktivnosti razvoja i osvajanja proizvodnje artiljerijskih oruđa, primenjenim konstrukcionim rešenjima i tehnologijama proizvodnje, nastoji se obezbediti da oruđe obavlja svoju funkciju u uslovima i u toku perioda koji su utvrđeni taktičko-tehničkim zahtevima, odnosno nastoji se da se ostvari zahtevana pouzdanost, raspoloživost i vek. Takođe, kroz razvoj se obezbeđuje da, uz primenu zahtevanog (ili posebno definisanog) koncepta održavanja, oruđe izvršava svoju funkciju na zadovoljavajući način u bilo kom trenutku u predviđenim uslovima okoline, sa zahtevanom verovatnoćom, čime se obezbeđuje gotovost predviđena taktičko-tehničkim zahtevima. To znači da se kroz razvoj nastoji da se definišu aktivnosti i periodičnost preventivnog i korektivnog održavanja, i kriterijumi za ocenu stanja delova i sklopova oruđa, radi donošenja odluke o njihovoj daljoj primeni i/ili zameni, imajući u vidu zahtevanu pouzdanost i gotovost i inten-

zitet degradacije karakteristika, zbog čuvanja ili eksploatacije.

Pri preduzimanju akcija preventivnog i korektivnog održavanja nužno je utvrditi da li je oruđe „u radu" i/ili prognozirati vreme rada do graničnog stanja, pa na osnovu toga preduzeti preventivne i korektivne mere. S obzirom na to da je cev vitalni deo oruđa, problem odlučivanja često se svodi na utvrđivanje stanja cevi. Zbog toga se, još u procesu razvoja, ulažu veliki napori radi obezbeđenja potrebnih nivoa pokazatelja pouzdanosti cevi u celom životnom (balističkom) veku i stvaranja realnih uslova za efikasno upravljanje procesom eksploatacije (planiranje režima eksploatacije i borbene upotrebe), održavanja (planiranje akcija preventivnog i korektivnog održavanja, snabdevanja rezervnim delovima i dr.) i sprečavanja otkaza.

Uz sva raspoloživa naučna saznanja i tehnološka dostignuća, problemi prognoze veličine trošenja cevi i utvrđivanja graničnog stanja, još u fazi projektovanja, nisu rešeni. I pored brojnih i opsežnih istraživanja nisu definisani univerzalni, za primenu pogodni, analitički modeli. Zbog toga su prisutni različiti kriterijumi za ocenu stanja cevi i prognoziranje preostalog veka koji, u praksi, otežavaju proces odlučivanja, posebno pri donošenju odluke o deklasiranju (odbacivanju-zameni) cevi. Ova odluka je veoma delikatna, jer mora da pomiri dva oprečna zahteva: minimum troškova akcija korektivnog održavanja (cene cevi kreću se od 30% do 50% cene kompletnog oruđa) i obezbeđenje zahtevanog nivoa pouzdanosti, raspoloživosti i sigurnosti pri upotrebi.

U radu se ukazuje na nedostatke i nedorečenosti prisutnih kriterijuma za utvrđivanje stanja cevi i metoda prognoze preostalog veka cevi. Na osnovu toga dat je mogući pristup pri donošenju odluka o akcijama korektivnog održavanja.

Ključni uzroci promena tehničkog stanja cevi i njihov uticaj na eksploatacione karakteristike i pouzdanost

Oruđe je moćna toplotna mašina[1)] u kojoj se potencijalna energija barutnog punjenja transformiše u kinetičku energiju (projektila, barutnih gasova, trzajućih masa oruđa i dr.) i druge vidove energije koja se prenosi na delove oruđa i okolinu (toplotna, kinetička energija vazdušnih masa okoline i dr.). U ovom procesu ispoljavaju se različiti uticaji koji dovode do promene tehničkog stanja cevi, pre svega njene unutrašnje konfiguracije i strukture materijala, radijalno u zidu cevi.

Ranije su autori [1], uglavnom, bili saglasni u vezi s procesima koji se odvijaju u cevi pri opaljenju i koji prouzrokuju degradaciju karakteristika cevi, ali su se njihova mišljenja razilazila oko toga koji od njih su dominantni sa stanovišta uticaja na brzinu trošenja.

Prema teoriji Černova, gusta i užarena masa gasova zagreva tanak unutrašnji sloj cevi do visokih temperatura. Kada se zatvaračem cev otvori nastaje intenzivno strujanje i naglo hlađenje cevi. Zbog toga dolazi do naprsnuća ovog tankog sloja. Erozija je intenzivnija na poljima ožljebljenih cevi, jer su ona jače izložena udarima gasova.

Prema teoriji Vjeja, kod visokih temperatura dolazi do cementacije površine

[1)] Savremeni tenkovski top, pri opaljenju metka sa potkalibarnim projektilom, uzimajući u obzir samo kinetičku energiju projektila, ima snagu od oko 830 MW, što odgovara snazi srednje termoelektrane.

kanala cevi (vezivanja slobodnog ugljenika), što uz delovanje intenzivnog strujanja gasova (kaljenje) uzrokuje da, pri ponovnom opaljenju, taj sloj naprsne, a kroz pukotine oko vodećeg prstena, prostrujavaju usijani gasovi, i pukotine usmeravaju u uzdužnom pravcu. Brzina prodiranja gasova (pa i efekti koji se time ostvaruju) utoliko je veća što je manja lokalna brzina projektila, a veći pritisak barutnih gasova (na početku vodišta projektila).

Po Šarbonjeu, kretanje projektila kroz cev praćeno je odbijanjem talasa gasova od dna projektila i dna cevi (zatvarača), pri čemu je brzina talasa oko 1500 m/s. Prelaz s barutne komore na vodište predstavlja prigušnicu struja gasova, koja prouzrokuje vrtloge, pri čemu nesagorele čestice deluju kao mikrobrusevi koji skidaju materijal cevi.

Po teoriji Justrova, osnovni uzrok habanja je prodor usijanih gasova oko vodećeg prstena projektila, zbog širenja cevi pod pritiskom barutnih gasova.

Neosporno je da se, pri opaljenju, u kanalu cevi odvijaju:

– klasični procesi trenja projektila i cevi;

– erozija, prouzrokovana strujanjem barutnih gasova iza i oko projektila i kretanjem vazdušnih masa ispred projektila;

– termička naprezanja, zbog trenja i prenosa toplote sa barutnih gasova na zid cevi;

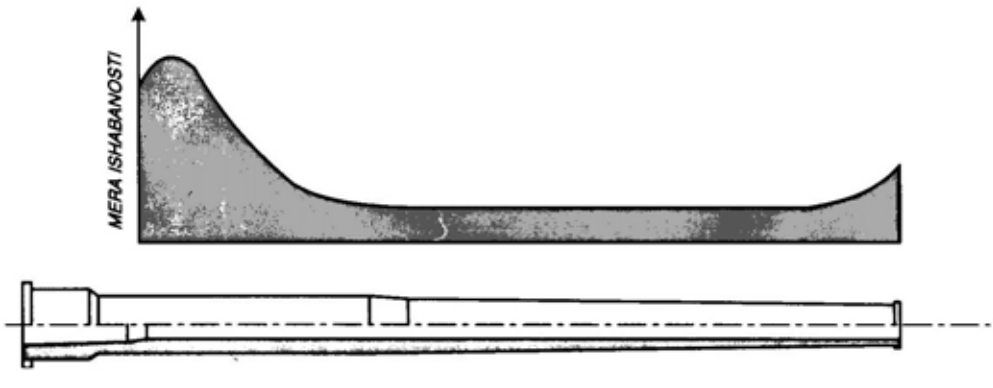
– mehanička oštećenja, zbog udara delova projektila o cev pri njegovom kretanju;

– promene strukture unutrašnjeg površinskog sloja materijala cevi, zbog hemijsko-termičkih dejstava barutnih gasova;

– ciklična naprezanja zida cevi, usled pritiska barutnih gasova.

S obzirom na to da ovi procesi nisu istog intenziteta duž kanala cevi, brzina i intenzitet trošenja su različiti u raznim presecima cevi (slika 1).

Ukupnim dejstvom ovih procesa dolazi do oštećenja i promene geometrije kanala cevi, najintenzivnije u predelu prelaznog konusa, na odstojanju tri do pet kalibara od početka vodišta projektila i oko tri do pet kalibara ispred usta cevi. Ova oštećenja prouzrokuju produženje barutne komore i proširenje vodišta projektila (intenzivnije u vertikalnoj ravni), što ima za posledicu pogoršanje uslova



Sl. 1 – Opšti prikaz intenziteta habanja unutrašnje trase cevi duž kanala

kretanja projektila kroz cev i promenu unutrašnjebalističkih uslova sagorevanja barutnog punjenja, odnosno degradaciju unutrašnjebalističkih i spoljnobalističkih karakteristika cevi. Degradacija ovih karakteristika manifestuje se kroz:

– pad početne brzine projektila i povećanje rasturanja vrednosti početnih brzina projektila;

– povećanje slike pogodaka projektila (smanjenje tačnosti i preciznosti);

– ugrožavanje i izostajanje funkcije delova projektila u cevi (odvajanje nosača kod potkalibarnih projektila) i na putanji (izostajanje armiranja upaljača, „tumbanje" projektila na putanji i dr.).

Kriterijumi za klasiranje cevi i utvrđivanje njenog preostalog veka

Rukovođeni činjenicom da postoji uzajamna veza između stanja unutrašnje trase cevi i njenih balističkih svojstava, svi konstruktori su nastojali da, na osnovu izučavanja posledica, otklone ili smanje uticaj dominantnih uzroka i definišu granično stanje cevi nakon kojeg se ona odbacuje (deklasira) i kada za cev nastupa „balistička smrt".

Za oruđa starijih generacija smatralo se da je granica balističkog života cevi dostignuta kada je:

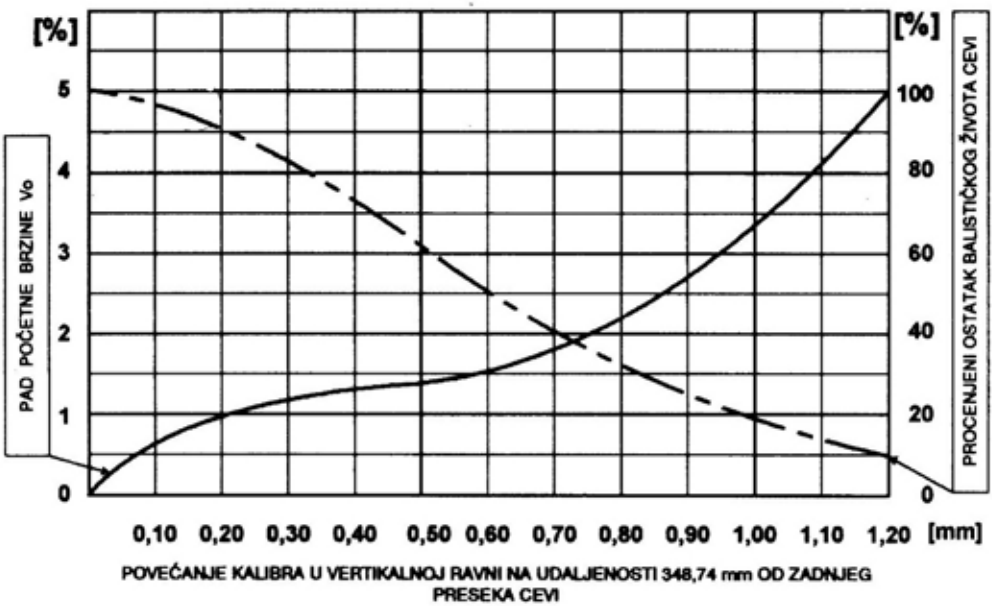
– kod protivtenkovskih i protivavionskih oruđa pad početne brzine projektila 10%;

– kod oruđa opšte vatrene podrške slika rasturanja povećana osam puta ili kada kod 30% projektila izostane funkcija na cilju zbog nearmiranja upaljača.

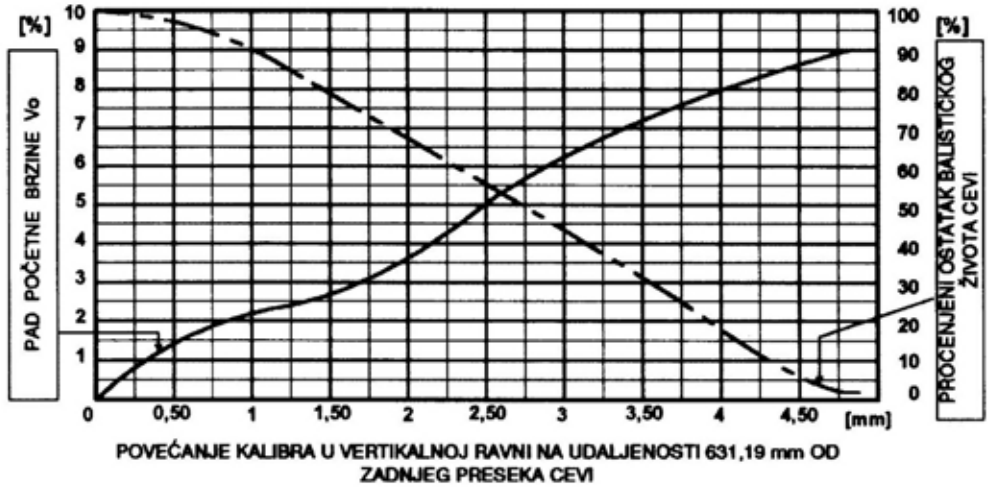
Očigledno je da ovakvi kriterijumi nisu pogodni za praktičnu primenu pri planiranju i organizovanju akcija preventivnog i korektivnog održavanja, kao i pri odlučivanju o stanju cevi, jer zahtevaju veoma skupa opitna gađanja. Opitnim gađanjima u toku razvoja i praćenjem stanja cevi tokom eksploatacije uspostavljena je veza između karakterističnih dimenzija cevi (dužine barutne komore i/ili povećanja kalibra na određenoj udaljenosti od zadnjeg preseka cevi) i pada početne brzine, kao ključnog kriterijuma za utvrđivanje graničnog stanja cevi. Takođe, na osnovu velikog broja opita za određeno oruđe definisana je iskustvena (slike 2 i 3) zavisnost između kritične dimenzije cevi i preostalog radnog veka cevi („balističkog života").

Za korisnike oruđa, iz praktičnih razloga, neophodan je pokazatelj preostalog radnog veka cevi, izražen u broju metaka. Zbog toga se radni vek cevi definiše brojem dozvoljenih opaljenja ekvivalentnih bojnih metaka,[2)] pa se procenjeni preostali radni vek može, samo za potrebe planiranja eksploatacije, izraziti i u broju metaka. Međutim, u dostupnoj izvornoj dokumentaciji uglavnom se ne mogu naći podaci o zavisnosti preostalog (ili utrošenog) života cevi od promene kritičnih dimenzija cevi. S obzirom na to da se iz iskustva zna da ova zavisnost nije linearna, često je nemoguće na osnovu dostupnih podataka o balističkom veku cevi i izmerenih kritičnih dimenzija, čak i za potrebe planiranja, proceniti ostatak radnog veka cevi i izraziti ga u broju EFC. Proizvođači, često iz marketinških razloga, daju neprecizne podatke o balističkom životu cevi (u broju EFC), a sigurnost upotrebe obezbeđuju propisi-

[2)] Zapadni izvori koriste termin „ekvivalentno puno punjenje" – EFC. S obzirom na to da intenzitet trošenja cevi zavisi, pored ostalog, i od vrste projektila, prihvatljiviji je termin „ekvivalentni bojni metak" koji, osim barutnog punjenja, definiše i vrstu projektila. Na primer, prema [2] za američki top 90 mm M1 i M2 propisani radni vek cevi je 1600 EFC, pri čemu je EFC metak sa pancirno-obeležavajućim projektilom sa balističkom kapom, APC M82.



Sl. 2 – Zavisnost pada početne brzine i procenjenog ostatka balističkog života cevi od promene kritičnih dimenzija cevi usled habanja kod protivavionskog topa 40 mm M1

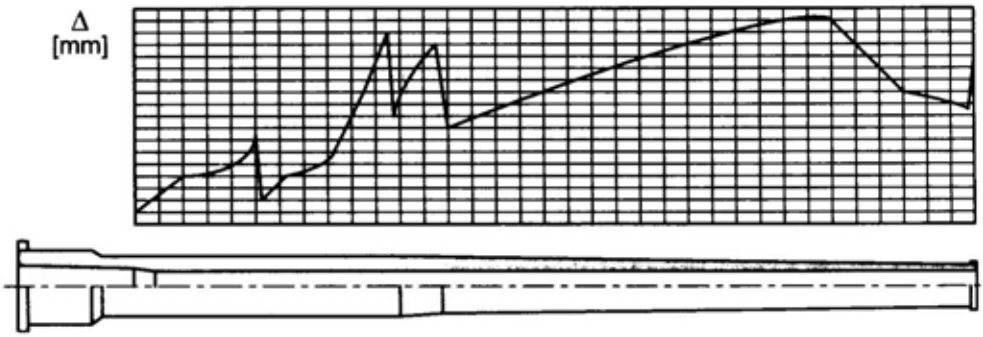


Sl. 3 – Zavisnost pada početne brzine i procenjenog ostatka balističkog života cevi od promene kritičnih dimenzija cevi usled habanja kod topa 90 mm M1, M2 i M3

vanjem dozvoljenih promena karakterističnih dimenzija cevi.

Tehnička dokumentacija, na osnovu koje se donosi odluka o deklasiranju cevi za oruđa zapadnog i istočnog porekla, utvrđuje sledeće kriterijume:

– granična mehanička oštećenja spoljne površine cevi (bez prslina), data



Sl. 4 – Načelni izgled dijagrama graničnih mehaničkih oštećenja spoljašnje površine cevi (bez prslina)

u obliku dijagrama (slika 4);

– granično proširenje kalibra na određenoj udaljenosti od zadnjeg preseka cevi;

– granično produženje barutne komore;

– postojanje i granične dimenzije prslina (dužina i dubina) u kanalu cevi;

– iskrivljenost cevi;

– granične mere oslone ploče zatvarača za uravnoteženje reaktivne sile, kod bestrzajnih oruđa.

Ispunjenje bilo kojeg od ovih graničnih uslova obavezuje donošenje odluke o odbacivanju cevi,[3] bez obzira na broj ispaljenih metaka evidentiran u pratećoj tehničkoj dokumentaciji oruđa. Izvršioci preventivnog i korektivnog održavanja, na osnovu stanja cevi koje nije granično, ne mogu dati procenu o preostalom radnom veku cevi, imajući u vidu da tehnička dokumentacija ne daje vezu između istrošenosti relevantnih mera i broja ispaljenih metaka. Za oruđa istočnog porekla se, osim izvorne tehničke dokumentacije, može koristiti i Instrukcija za kategorizaciju cevi artiljerijskog oruđa, In. MO N^0 AO 8817–78, ali samo za odluku o tome da li je određena cev pogodna za ispitivanje projektila i drugih elemenata metka na poligonu [3].

Dakle, očito je da se, na osnovu dostupnih podataka, ne može u svakom trenutku dati odgovor, čak ni u vidu procene, o preostalom radnom veku cevi, i obezbediti elementi za planiranje eksploatacije i narednih mera preventivnog i korektivnog održavanja. Takođe, kroz utvrđivanje stanja cevi ne mogu se pribaviti podaci za procenu *veka cevi,* odnosno o tome kojim koeficijentom sigurnosti je određen *radni vek cevi,* kada je proizvođač deklarisao njen vek u EFC.

Uz sve nedostatke, primena navedenih kriterijuma u praksi potvrdila je da se njima ostvaruje zahtevana pouzdanost i bezbednost u eksploataciji. Međutim, primena ovakvih kriterijuma na savremena artiljerijska oruđa treće generacije ne garantuje zahtevanu pouzdanost u preostalom radnom veku cevi.

Pred savremena oruđa postavljaju se sve oštriji zahtevi – visoki radni pritisci barutnih gasova (preko 550 MPa) radi ostvarivanja početnih brzina projektila i

[3] Ranije su se primenjivali postupci renoviranja cevi, tzv. „slobodnim" ili „ojačanim" košuljicama ili „prekalibriranjem" cevi. Sada ti postupci nisu aktuelni (osim, možda, u ratnim uslovima) zbog njihovih troškova i razvoja moćnih oruđa kod kojih su veoma značajni kriterijumi za odbacivanje, zasnovani na broju ispaljenih metaka.

preko 1700 m/s. Za izradu cevi takvih oruđa koriste se materijali visoke čvrstoće ($\sigma_{0,2} > 1100$ MPa). Primena takvih materijala praćena je učestalom pojavom rasprskavanja cevi. Istraživanja, prezentirana u [4], [5] i [6], objašnjavaju ovu pojavu pomoću mehanike loma.

Dokazano je da je radni vek cevi savremenih oruđa uslovljen karakteristikama materijala i postojanjem, nastajanjem i širenjem prslina u unutrašnjem površinskom sloju cevi. Bez obzira na primenu savremenih tehnologija za izradu polufabrikata i završnu obradu unutrašnje trase cevi (kovanje na trnu, završna obrada ljuštenjem i rolovanjem, žljebljenje elektrohemijskim postupcima nagrizanja i sl.), nakon obrade ostaju prsline u površinskom sloju kanala cevi. Takođe, pri opaljenju, zajedno sa erozijom kanala cevi pojavljuju se i prsline na početnom delu površine vodišta projektila, koje se mogu uočiti već posle nekoliko opaljenih metaka. Prsline se povećavaju u zavisnosti od broja opterećenja. Brzina povećanja dubine i dužine prsline zavisi od veličine napona u zoni vrha prsline. Prema [6] prslina može da se širi ako je faktor intenziteta napona veći od praga širenja prsline (190 $Nmm^{-3/2}$).

Eksperimentalno i teorijski dokazano je da je, pri dejstvu pritiska barutnih gasova kod savremenih artiljerijskih oruđa i, posebno, tenkovskih topova, faktor intenziteta napona znatno viši od praga širenja prsline.[4)] Sa porastom dubine prsline rastu faktor intenziteta napona i brzina širenja prsline, tako da faktor intenziteta napona K_I relativno brzo dostiže kritičnu vrednost K_{IC} pri kojoj se cev rasprskava.[5)] Dakle, opterećenja koja cev može da izdrži, sa stanovišta zamora, zavise od pritiska barutnih gasova, početnih prslina, žilavosti loma materijala cevi K_{IC} i karakteristika zakona (Parisovog) širenja prslina C i m, odnosno veličine kritične dubine prsline pri kojoj dolazi do rasprskavanja.

Očigledno je da kod savremenih oruđa, *vek trajanja cevi,* koji se iskazuje brojem ciklusa do rasprskavanja, i potrebni koeficijent sigurnosti služe kao osnov za određivanje *radnog (balističkog) veka cevi* u odnosu na zamor pri kojem je bezbedna upotreba oruđa, odnosno mala verovatnoća pojave rasprskavanja cevi. Ovo ukazuje na nužnost poznavanja uzajamne zavisnosti trošenja kanala cevi i broja ispaljenih metaka, odnosno, poznavanja kriterijuma za deklasiranje cevi po osnovu zamora materijala. Primena ovog kriterijuma još je bitnija kod tankostenih cevi, kakve su zastupljene kod bestrzajnih topova i savremenih minobacača kod kojih je, zbog konstrukcionih rešenja, intenzitet habanja cevi veoma nizak a debljina stenke cevi takva da dubina prskotine može veoma lako da dostigne kritičnu dubinu. Za navedena oruđa nužno je raspolagati urednom evidencijom o broju ispaljenih metaka, i opremom koja omogućuje merenje dubine unutrašnjih prslina sa prihvatljivom greškom (manjom od 0,1 mm).

Kod savremenih artiljerijskih sistema kriterijumi vezani za pad početne brzine, primenjivani na sisteme starije proizvodnje, preblagi su pa se, u slučaju nepoznavanja graničnih mera cevi koje je propisao proizvođač za savremeno oruđe, one ne

[4)] Za cev topa 100 mm, pri pritisku 300 N/mm^2 i početnoj dubini prsline 0,1 mm, faktor intenziteta napona, pri odnosu spoljašnjeg i unutrašnjeg prečnika cevi $d_2/d_1 = 2$, ima vrednost $K_I = 357{,}3\ Nmm^{-3/2}$, što je znatno iznad praga širenja prsline [6].

[5)] Ako bi u cevi topa 100 mm dubina prsline dostigla 10 mm, faktor intenziteta napona bio bi $K_I = 2517\ mm^{-3/2}$, što je blizu kritične vrednosti $K_{IC} = 3478\ Nmm^{-3/2}$ za materijal koji se koristi za izradu ove cevi (30NiCrMo16) [6].

mogu formirati metodom sličnosti. Prihvatljivi pad početne brzine, za savremene tenkovske topove i topove PAA, iznosi ispod 5% zbog njihove namene i mogućnosti unošenja popravki koje mogu prihvatiti implementirani računarski sistemi, a za oruđa opšte vatrene podrške ispod 7,5 %.

Neki od mogućih postupaka za određivanje broja ispaljenih metaka

Iz prethodno navedenih argumenata vidi se da je veoma važno raspolagati podacima o broju ispaljenih metaka zbog:

– planiranja eksploatacije oruđa i ujednačavanja balističkih karakteristika oruđa u osnovnoj jedinici;

– procene preostalog veka cevi i planiranja i organizacije preventivnog i korektivnog održavanja;

– stvaranja baza podataka kod upravnih i izvršnih organa tehničke službe, radi uspostavljanja aproksimativne funkcionalne zavisnosti trošenja cevi, degradacije balističkih karakteristika i broja ispaljenih metaka.

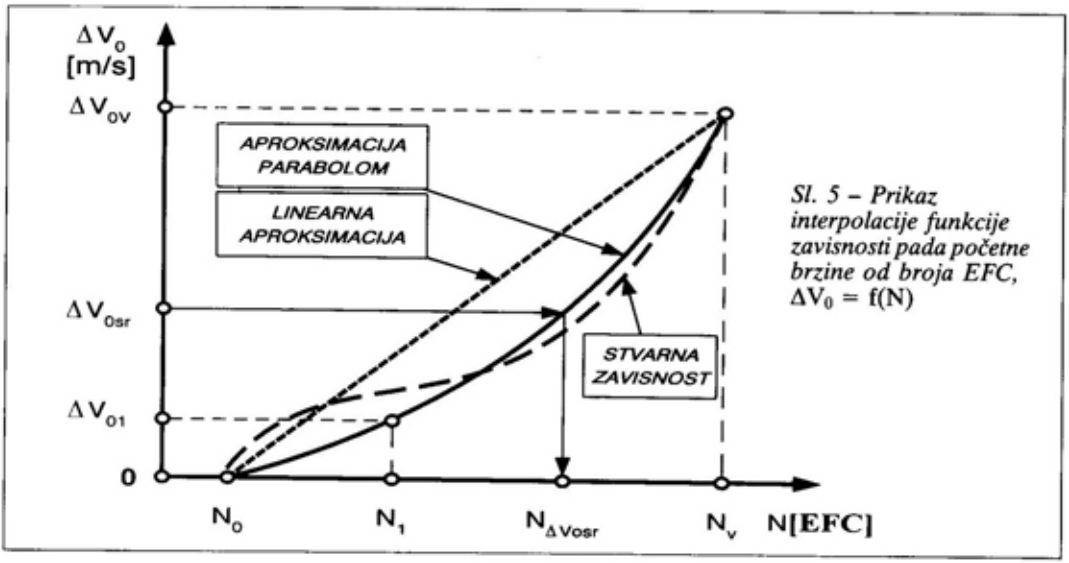
Obaveza korisnika jeste da, u tehničku knjižicu oruđa, uredno evidentira podatke o broju ispaljenih metaka, po vrstama projektila i organizaciji barutnih punjenja (konfiguraciji). U praksi se izvršioci održavanja neretko susreću sa neažurnom evidencijom ili sa oruđima koja nemaju tehničku knjižicu. Za određivanje približnog broja ispaljenih metaka za konkretno oruđe za koje se ne raspolaže evidencijom mogući su sledeći pristupi:

– *izvršiti merenja* karakterističnih dimenzija unutrašnje trase cevi (produženje barutne komore, proširenje kalibra na propisanim udaljenostima od zadnjeg preseka cevi), a zatim pronaći oruđe sa urednom evidencijom o broju ispaljenih metaka kod kojeg je stanje cevi približno utvrđenom (izmerenom) stanju cevi oruđa koje je bez evidencije o broju ispaljenih metaka. Ova metoda je dugotrajna, jer zahteva merenja i pregled cevi kod više oruđa sa urednom evidencijom o broju ispaljenih metaka, radi otkrivanja onog oruđa čije je stanje cevi najpribližnije utvrđenom stanju cevi oruđa bez evidencije. Osim toga, ova metoda daje veoma nepouzdane podatke zbog svih faktora koji utiču na brzinu habanja cevi;

– *izvršiti opitna gađanja* (ako se pregledom i merenjem cevi oruđa utvrdi da nema oštećenja koja mogu ugroziti bezbednost pri izvršenju gađanja) i merenjem početne brzine projektila i karakteristika slike pogodaka doneti zaključak o približnom broju ispaljenih metaka iz oruđa koje nema evidenciju, na jedan od sledećih načina. Uporednim gađanjem iz „etalon" oruđa i oruđa koje nema evidenciju (podrazumeva se pod istim uslovima okoline i municijom iz iste laboračne serije) sa po tri grupe metaka (pet ili deset metaka u grupi, zavisno od kalibra) uz merenje početne brzine projektila i proračun V_{sr} za svaku grupu i za sve tri grupe. Za etalon oruđe odabrati ono koje ima urednu evidenciju o broju ispaljenih metaka i koje je ispalilo između 1/3 i 2/3 broja metaka deklarisanih kao balistički život cevi. Nakon toga treba izvršiti obradu rezultata na sledeći način:

– za etalon oruđe definisati, interpolacijom kroz tri tačke, aproksimativnu zakonitost promene pada početne brzine u funkciji broja ispaljenih metaka (slika 5). Tačke kroz koje se obavlja interpolacija krivulje su:

A (N_0; 0), B (N_1; ΔV_{01}) i V (N_v; ΔV_{0v})



Sl. 5 – Prikaz interpolacije funkcije zavisnosti pada početne brzine od broja EFC, $\Delta V_0 = f(N)$

gde je:

N_0 – broj ispaljenih metaka pri fabričkim ispitivanjima (za artiljerijska oruđa i tenkovske topove može se uzeti $N_0 = 15$ a za PA topove $N_0 = 50$);

N_1 – ukupni broj ispaljenih metaka iz oruđa (uključujući i metke za opit) izražen kroz EFC;

ΔV_{01} – pad početne brzine projektila izračunat na osnovu izmerene srednje brzine pri opitu ($\Delta V_{01} = V_0 - V_{sr}$);

N_v – deklarisani balistički vek cevi izražen u EFC;

ΔV_{0V} – maksimalni dozvoljeni pad početne brzine za deklarisani balistički vek cevi ($\Delta V_{0V} = 7{,}5\% V_0$ ili $\Delta V_{0V} = 5\% V_0$).

– pad početne brzine ΔV_{0sr}, izračunat na osnovu izmerenih početnih brzina pri opitnom gađanju i deklarisane početne brzine V_0, ($\Delta V_{0sr} = V_{0sr} - V_0$) kod oruđa sa nepoznatim brojem ispaljenih metaka, treba uvrstiti u funkciju dobijenu interpolacijom za etalon oruđe (ili grafičkim putem naneti na dijagram, što je potrebno izbegavati, imajući u vidu sadašnje mogućnosti računarske opreme) i izračunati (očitati) broj ispaljenih metaka (EFC) koji odgovara padu početne brzine.

Potrebno je gađati samo iz oruđa sa nepoznatim brojem ispaljenih metaka (tri grupe gađanja), meriti početnu brzinu i izračunati srednju početnu brzinu i pad početne brzine (kao i kod prethodnog postupka). Interpolacijom definisati pravac kroz tačke A (0; N_0) i V (N_v; ΔV_{0V}) i na osnovu pada početne brzine ΔV_{0sr} izračunati broj ispaljenih metaka koji po linearnoj zavisnosti odgovara padu početne brzine.

Očito je da metodologija uporednog gađanja daje približnije podatke, s obzirom na to da pad početne brzine u funkciji broja ispaljenih metaka sigurno nema linearnu zavisnost. Međutim, imajući u vidu da obe metodologije daju samo orijentacione pokazatelje, moguća je i primena metodologije gađanja samo iz oruđa sa nepoznatim brojem ispaljenih metaka, pri čemu se dobija veći koeficijent sigurnosti kada je ostatak balističkog života cevi manji od 50%.

Ukoliko se žele dobiti pouzdaniji pokazatelji i približnije definisati funkcija $\Delta V_0 = f(N)$ neophodno je obaviti opitna gađanja iz više etalon oruđa sa različitim brojem ispaljenih metaka (na primer: 1/4 N_v: 1/2 N_v i 3/4 N_v, pri čemu je N_v deklarisani balistički život cevi izražen EFC) i time definisati koordinate za više tačaka kroz koje će se obaviti interpolacija funkcije $\Delta V_0 = f(N)$, i dobiti realnija zavisnost.

Uslov za primenu navedenih metodologija jeste poznavanje deklarisanog radnog veka cevi (izraženog u EFC) i koeficijenata za preračunavanje broja metaka kojim je oruđe gađalo na EFC. U slučaju da se ne raspolaže ovim podacima, ili se sumnja u njihovu verodostojnost, proračunom je moguće [6] odrediti radni vek i vek trajanja cevi u odnosu na zamor materijala sa prihvatljivom saglasnošću sa opitnim pokazateljima. Za proračun je nužno poznavati vrednost kritičnog koeficijenta intenzivnosti napona K_{IC} za materijal cevi. On se može eksperimentalno odrediti po metodologiji propisanoj standardom ASTM-E 399 [7].

Mogući pristup utvrđivanju stanja cevi

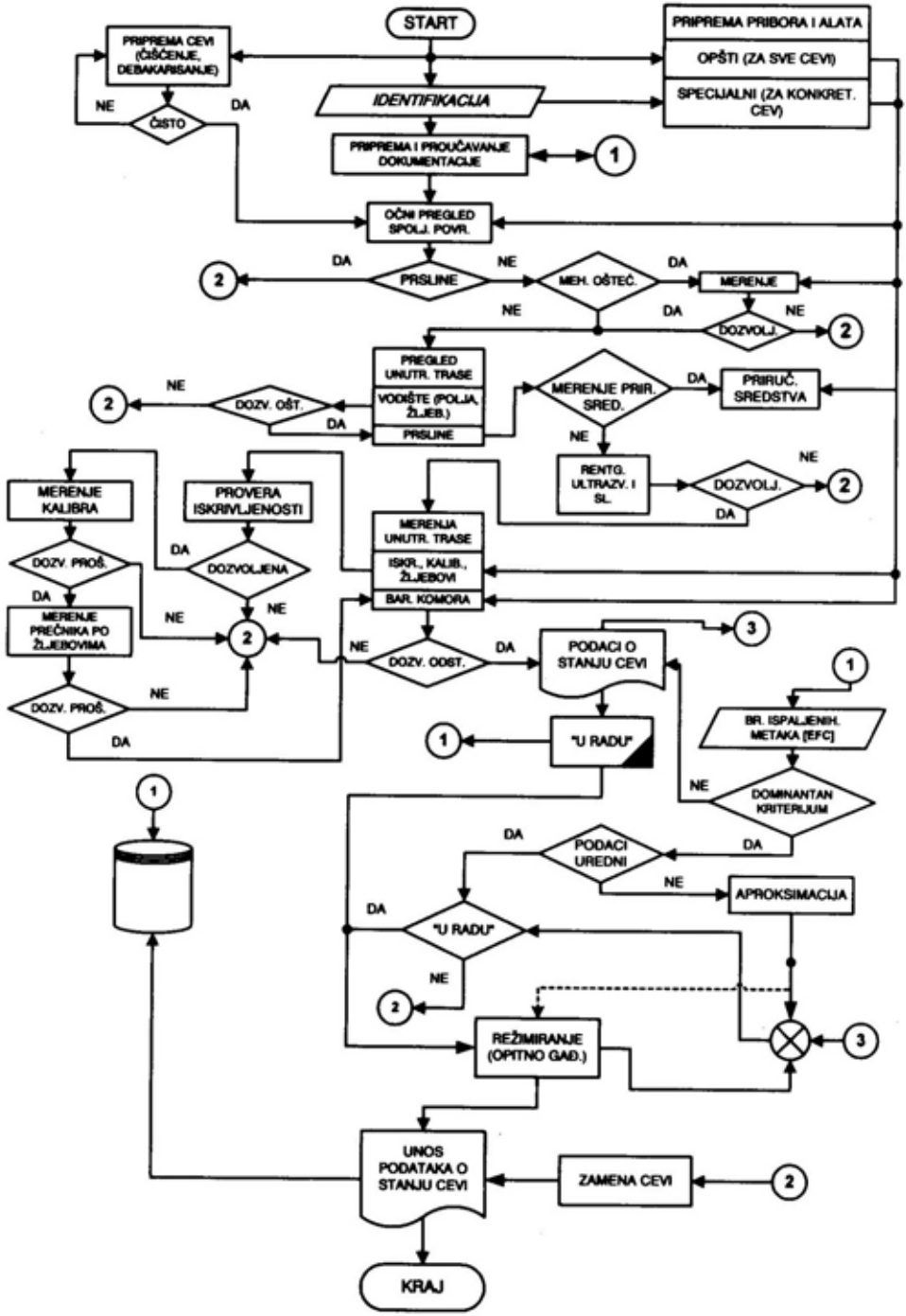
Utvrđivanje stanja cevi složen je tehnološki postupak, pa je nužno voditi računa o njegovoj racionalnosti. To, pre svega, znači da ga treba osmisliti tako da se ne realizuju operacije koje nisu nužne i ne stvaraju troškove (ako je neki od kriterijuma za odbacivanje cevi ispunjen) zbog utvrđivanja svih karakteristika cevi. Na slici 6 prikazan je blok-dijagram mogućeg tehnološkog postupka za utvrđivanje stanja cevi u okviru generalnog remonta (Rev) oruđa. Algoritam ukazuje na kritične operacije. Primena predloženog tehnološkog postupka je opravdana kada postoji baza podataka o cevima i kad nije nužno neke operacije realizovati radi dogradnje datoteke.

Ne ulazeći, ovom prilikom, u tehnologiju merenja, analizom dijagrama tehnološkog postupka može se uočiti da je za efikasan i pouzdan rad potrebna specifična oprema i specijalni alati i pribori (optičke, pneumatske ili elektromehaničke merne zvezde, optički pribor ili laserski uređaj za merenje krivine cevi, endoskopi sa mogućnošću fotografisanja ili digitalizovanja slike, uređaji za otkrivanje i merenje dubine prsline – rentgenski, ultrazvučni, feromagnetski, specijalni kontrolnici i pribori za merenje barutne komore, kontrolu specijalnih-artiljerijskih navoja i sl.).

Zaključak

Radi utvrđivanja stanja cevi artiljerijskih oruđa i prognoziranja preostalog veka upotrebe, po dinamici propisanoj konceptom održavanja nužno je raspolagati pouzdanim kriterijumima za ocenu stanja. Kriterijume iz dostupne izvorne tehničke dokumentacije, zbog nedorečenosti i nepouzdanosti, treba proveravati na osnovu baze podataka o cevima i degradaciji karakteristika tokom eksploatacije. Na taj način omogućiće se definisanje iskustvene funkcionalne zavisnosti broja ispaljenih metaka, balističkih svojstava (početna brzina, tačnost i preciznost) i degradacije karakterističnih dimenzija cevi (dužina barutne komore i kalibar).

Za savremena oruđa i oruđa iz domaće proizvodnje i vlastitog razvoja, nužno je definisati kriterijume za utvrđivanje stanja cevi u odnosu na zamor materijala.



Sl. 6 – Blok-dijagram mogućeg tehnološkog postupka za utvrđivanje stanja cevi

Osposobljenost kapaciteta za generalni remont treba prilagoditi zahtevima za utvrđivanje i merenje karakteristika neophodnih za donošenje odluke o stanju cevi i „balističkoj smrti", i smanjiti mogućnosti da se umesto koeficijenata sigurnosti primenjuju proizvoljni koeficijenti.

Literatura:

[1] Obrenović, R.: Konstrukcija artiljerijskih oruđa, I deo, Tehnički školski centar KoV JNA, Zagreb, 1975.

[2] Tehnički bilten TB-25, Naoružanje, 1224–1227, TU SSNO.

[3] Instrukcija za kategorizaciju cevi artiljerijskog oruđa za ispitivanje projektila i drugih elemenata metka na poligonima, OVR-284, UNIS-PRETIS, Sarajevo, 1981.

[4] Vasiljević, M.: Primena mehanike loma pri određivanju radnog veka cevi artiljerijskih oruđa, Naučno-tehnički pregled, XXXV, 1985., 2.

[5] Vasiljević, M.: Prikaz postupka za određivanje radnog veka autofretovane cevi debelih zidova, Naučno-tehnički pregled, XXXVI, 1986., 4.

[6] Vasiljević, M.: Predviđanje radnog veka i veka trajanja cevi oruđa i oružja u odnosu na zamor materijala cevi, Naučno-tehnički pregled, XLII, 1992., 2.

[7] Pavelić, V.: Tehnologija proizvodnje naoružanja, Centar vojnotehničkih škola KoV JNA „General armije Ivan Gošnjak", Zagreb, 1988.

Dr Branislav Todorović,
dipl. inž.
Sandra Erić,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

TALASNA TRANSFORMACIJA – NOVI METOD ZA ANALIZU SIGNALA

UDC: 621.39:537.8.029:519.688

Rezime:

U radu je prikazana nova metoda za analizu signala – talasne transformacije. Razmatrani su uslovi pri kojima je moguća primena ove transformacije, osnovne teorijske postavke, način predstavljanja rezultata analize u vremensko-frekvencijskoj ravni, brzi algoritam koji omogućava praktičnu realizaciju i kriterijumi za procenu kvaliteta. Analizirane su mogućnosti primene ove transformacije i pravci daljeg razvoja.

Ključne reči: telekomunikacije, analiza signala, metod, transformacija, talasići.

WAVELETS TRANSFORMATION – A NEW METHOD FOR SIGNAL ANALYSIS

Summary:

In this paper a new method for signal analysis – wavelets transformation is presented. We consider basic theoretical assumptions and mathematical foundations, signal representation in time-frequency domain, fast algorithms for practical implementation and a method for quantifying signal approximation achieved with wavelets. We also analyze implementation possibilities of the wavelets transformation as well as trends of future development.

Key words: telecommunications, signal analysis, method, transformation, wavelets.

Uvod

Fizički objekat ili pojava koja se posmatra i proučava može se predstaviti na više različitih načina. Koja predstava će se izabrati zavisi od konkretnog slučaja. Na primer, u svakodnevnom životu se koristi decimalni brojni sistem, dok se rad na računarima zasniva na binarnoj predstavi podataka. U mnogim oblastima, kao, na primer, u numeričkoj analizi ili obradi signala, jedan od osnovnih kriterijuma pri izboru predstave signala jeste mogućnost relativno lakog i brzog identifikovanja njegovih osnovnih osobina.

Mogući način da se ovaj kriterijum ostvari jeste dekompozicija signala x pomoću skupa jednostavnijih signala x_i, pri čemu važi $x = \sum_i x_i$. Drugim rečima, obavlja se aproksimacija realnih signala pomoću jednostavnijih talasnih oblika. Cilj je da ta aproksimacija bude što je moguće bliža posmatranom signalu, a da broj talasnih oblika koji je čine bude što je moguće manji. Za praktičnu realizaciju dekompozicije signala neophodan je brz algoritam, jer bi u suprotnom takva predstava signala imala čisto teorijski značaj.

Metoda koja se do sada najčešće koristila za analizu signala jeste Furijeova transformacija. Furijeova analiza stavlja na raspolaganje više konkretnih alata za obradu signala: od kontinualne analize pomoću Furijeovog integrala, preko analize diskretnih signala, do brzog algoritma pogodnog za praktičnu primenu na računaru – brze Furijeove transformacije. Osnovna ideja Furijeove transformacije jeste dekompozicija signala na prostoperiodične komponente (bazne funkcije su oblika e^{jwt}). Najpre će se posmatrati slučaj periodičnog signala. Takav signal predstavlja se sumom prostoperiodičnih signala čije su amplitude i faze različite, a frekvencija svakog od njih jednaka je umnošku osnovne frekvencije razlaganog signala. Dati signal je u potpunosti okarakterisan skupom brojeva koji predstavljaju te umnoške i skupom njima pripadajućih amplituda i faza. Dobija se slika posmatranog signala u domenu frekvencija, a ujedno je složeni talasni oblik rastavljen na prostije oblike. Zahvaljujući teoremi superpozicije i ovakvom predstavljanju signala ukupan odziv sistema može se dobiti određivanjem odziva na svaku od ovih prostijih komponenti zasebno. Naravno, u praktičnim slučajevima susreće se sa aperiodičnim signalima. Analiza ovakvog signala obavlja se pomoću Furijeovog integrala koji predstavlja granični slučaj razvijanja u red funkcije čija osnovna frekvencija teži nuli. Da bi posmatrani signal f(t) imao Furijeovu transformaciju mora biti zadovoljen uslov:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|dt < \infty \quad \text{ili} \quad \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t)dt < \infty \qquad (1)$$

gde je sa $|f(t)|$ označena apsolutna vrednost funkcije f(t).

Veličina F (jω) naziva se Furijeovom transformacijom funkcije f(t). To je kontinualna funkcija frekvencije i data je izrazom:

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\, e^{-j\omega t}dt \qquad (2a)$$

Izraz za inverznu Furijeovu transformaciju glasi:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega)e^{j\omega t}d\omega \qquad (2b)$$

Dakle, ukoliko se posmatra signal $e^{j\omega_0 t}$, Furijeova transformacija će dati maksimalnu vrednost na frekvenciji ω_0. Problem nastaje u slučaju da se posmatra signal koji je sastavljen od dva oscilatorna oblika koja se naizmenično pojavljuju u susednim vremenskim intervalima, tj. signal oblika:

$$f(t) = e^{j\omega_1 t}\, X_{[a,\, b]}(t) + e^{j\omega_2 t}\, X_{[b,\, c]}(t), \quad (3)$$

gde je $X_{[a,\, b]}$ talasni oblik ograničen u vremenskom intervalu [a, b], a $X_{[b,\, c]}$ talasni oblik u vremenskom intervalu [b, c].

Furijeova analiza će dati dve komponente u spektru, na frekvencijama ω_1 i ω_2, ali ne i informaciju o ponašanju signala u vremenu. Jedan od načina da se ovakav problem prevaziđe je prozorovanje, tj. korišćenje prozorovane ili kratkotrajne Furijeove transformacije (short--time Fourier transform.). Bazne funkcije, preko kojih se sada predstavlja signal, imaju oblik $w(t - \tau)e^{j\omega t}$, gde je w(t) prozorska funkcija koja omogućava lokalizaciju signala u vremenu.

Signali sa kojima se svakodnevno susreće nisu potpuno slučajni, već imaju određenu korelacionu strukturu. Na primer, kod signala slike susedni elementi

(pikseli) jako su korelisani u prostoru (vremenu, frekvenciji). Sa druge strane, međusobno udaljeni pikseli su nekorelisani. Za ovakav tip korelacije kaže se da je lokalna. To navodi na zaključak da signale sa ovakvim osobinama treba aproksimirati pomoću jednostavnijih signala koji su lokalizovani u vremenu i u domenu frekvencija. Takvi signali pružaju mogućnost aproksimacije korelacionih osobina analiziranog signala sa relativno malim brojem komponenata. Talasna transformacija (wavelet transformation), čije osnovne postavke su izložene u ovom radu, zasnovana je upravo na ovakvom konceptu.

Osnovne postavke talasne transformacije

Talasna transformacija obavlja dekompoziciju posmatranog signala preko jednostavnih talasnih oblika koji ne moraju da budu isključivo prostoperiodični signali kao u slučaju Furijeove transformacije. Dakle, umesto da se dekompozicija posmatranog signala obavlja pomoću prostoperiodičnih signala, ona se vrši pomoću signala $\varphi(t)$ i njegovih transliranih i proširenih oblika. Drugim rečima, signal $\varphi(t)$ u talasnoj transformaciji ima ulogu prostoperiodičnog signala $e^{j\omega t}$ u Furijeovoj transformaciji.

U talasnoj transformaciji koristi se familija baznih funkcija:

$$\varphi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\,\varphi\left(\frac{t-b}{a}\right),\ a>0, b\in R, \qquad (4)$$

gde je sa $\varphi(t)$ označena fiksna funkcija koja se naziva matični ili osnovni talasić (mother wavelet) a a, b su parametri transliranja i proširenja osnovnog talasića. Funkcija treba da ima osobinu dobre lokalizovanosti i u vremenu i po frekvencijama, tj. treba da budu ispunjeni uslovi:

$$|\varphi(t)| \le c\,(1+|t|)^{-1-\epsilon}, \qquad (5a)$$

$$|\hat{\varphi}(\omega)| \le c\,(1+|\omega|)^{-1-\epsilon}, \qquad (5b)$$

gde je sa c označena konstanta, a $\hat{\varphi}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(t)e^{-j\omega t}dt$ je Furijeova transformacija funkcije $\varphi(t)$.

Analiza se obavlja pod pretpostavkom da je zadovoljen uslov konačne snage, tj.

$$\|f\|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2\,dt < \infty. \qquad (6)$$

Prostor funkcija koje zadovoljavaju uslov (6) naziva se Hilbertovim prostorom, i u njemu se može definisati skalarni proizvod funkcija i, j, označen sa $< i, j >$, na sledeći način:

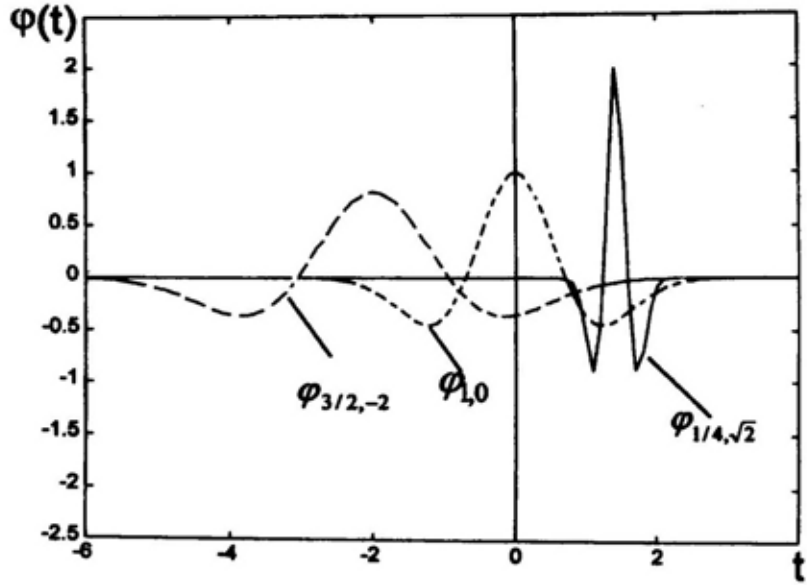
$$< i, j > = \int i(t)j^*(t)dt, \qquad (7)$$

gde $j^*(t)$ označava konjugovano kompleksnu vrednost j(t). Talasna transformacija posmatrane funkcije f(t) označava se sa $T_{a,b}f(t)$ i definiše na sledeći način:

$$T_{a,b}f(t) = <f, \varphi_{a,b}> = \frac{1}{\sqrt{a}}\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\varphi^*\left(\frac{t-b}{a}\right)dt. \qquad (8)$$

Postojanje inverzne talasne transformacije zavisi od izbora osnovnog talasića $\varphi(t)$. Ako izabrani osnovni talasić zadovoljava uslov:

$$C_\varphi = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\hat{\varphi}(\omega)|^2}{|\omega|}\,d\omega < +\infty, \qquad (9)$$



Sl. 1 – Nekoliko talasića izvedenih iz osnovnog talasića

funkcija f(t) može se rekonstruisati na sledeći način:

$$f(t) = C_{\varphi}^{-1} \int_0^{+\infty} \frac{da}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} T_{a,b} f(t) \varphi_{a,b}(t) db. \quad (10)$$

Ispunjeni uslov (9) ima za posledicu da funkcija φ(t) nema jednosmernu komponentu, tj. važi $\hat{\varphi}(0) = 0$. Osnovni talasić φ(t) treba da bude opadajuća funkcija i da u opštem slučaju ima N nula, tj., $\left(\frac{d}{d\omega}\right)^k$

$$\hat{\varphi}(0) = \int t^k \varphi(t) dt = 0, \; k = 0, 1, \ldots N.$$

Na slici 1 dat je primer nekoliko talasića dobijenih iz osnovnog talasića oblika $\varphi_{1,0}(t) = (1 - 2t^2)e^{-t^2}$, koji predstavlja drugi izvod Gausove funkcije. U ovom slučaju je N = 1, tj. $\int \varphi(t) dt = \int t\varphi(t) dt = 0$.

Vrednosti talasne transformacije zavise od regularnosti funkcije f(t). Funkcija f(t) je Holder regularna ako, i samo ako, postoji polinom P(t) čiji je stepen $n<\alpha$, $\alpha>0$, takav da važi:

$$|f(t) - P(t)| \leq C_1 |t - t_0|^{\alpha} \quad (11)$$

Ovaj uslov je zadovoljen kada je funkcija f(t) m puta diferencijabilna u okolini tačke t_0, pri čemu je $m>\alpha$. Na osnovu Tejlorove formule za razvoj funkcije u red imamo da je:

$$P(t) = \sum_{0 \leq k < \alpha} f^{(k)}(t_0) \frac{(t - t_0)^k}{k!}. \quad (12)$$

U slučaju $\alpha<1$ $P(t) = f(t_0)$.

Matematičkom analizom u [1] pokazano je da, ako osnovni talasić $\varphi_{a,b}(t)$ ima $N>\alpha - 1$ nula, dovoljno iščezava u beskonačnosti (tj. $\int \varphi(t)|t|^{\alpha} dt < +\infty$), i ako važi uslov:

$$|b - t_0| \leq Ca, \quad (13)$$

gde je:

C – konstanta,

a – parametar širenja osnovnog talasića, važi sledeća relacija:

$$|T_{a,b}\, f(t)| \leq K|a|^{\alpha + 1/2}, \qquad (14)$$

gde je K konstanta.

Dakle, ukoliko je funkcija regularna u okolini tačke t_0 i ako je ispunjen uslov (13), amplitude talasne transformacije $T_{a,b}\, f(t)$ ograničene su i opadaju veoma brzo. Ako funkcija ima neki prekid u ovoj oblasti, vrednosti $T_{a,b}\, f(t)$ opadaju znatno sporije.

U praktičnim primenama talasna transformacija se može odrediti samo za konačan skup vrednosti. Postavlja se pitanje kako odabrati funkciju f(t), a da se pri tome izdvoje sve bitne informacije koje ona nosi. Složenom matematičkom analizom ([1], [5]) može se pokazati da je najefikasnije odabrati analiziranu funkciju talasićima oblika:

$$\varphi_{j,k}(t) = a_0^{j/2}\, \varphi\,(a_0^j t - b_0 k),\ j,\ k \in Z, \qquad (15)$$

gde su $a_0 > 1$ i $b_0 > 0$ fiksni parametri.

Predstavljanje signala u vremensko-frekvencijskoj ravni

Talasnom transformacijom signal se razbija na komponente koje se nazivaju vremensko-frekvencijskim atomima, a predstavljaju se grafički u vremensko-frekvencijskoj ravni. Potpuna lokalizacija ovih atoma, u vremenu i frekvenciji, nije moguća. Naime, prema Hajzenbergovom principu neodređenosti proizvod neodređenosti vremena Δt i neodređenosti frekvencije Δf ograničen je i važi relacija:

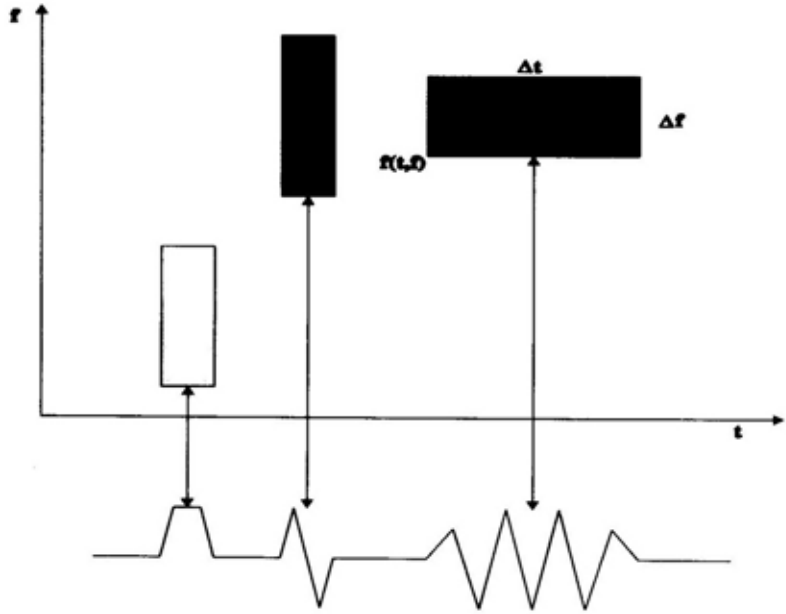
$$\Delta t \Delta f \geq \frac{1}{4\pi}. \qquad (16)$$

Vremensko-frekvencijski atomi predstavljaju se nekim dvodimenzionim oblikom, na primer pravougaonikom ili elipsom. Pozicija odabrane figure određuje položaj posmatrane komponente u vremenu i frekvenciji, dok je njena površina proporcionalna proizvodu neodređenosti vremena i frekvencije. Amplituda posmatrane komponente označava se stepenom osenčenosti figure. Najčešće se vremensko-frekvencijski atom predstavlja pravougaonikom, i nazivamo je informacionom ćelijom. Širina i visina te ćelije predstavlja neodređenost vremena, tj. neodređenost frekvencije. Koordinate ćelije, odnosno položaj posmatrane komponente u vremenu i frekvenciji obično se naznače u donjem levom uglu atoma. Na slici 2 dat je primer tri talasna oblika i njihova predstava u vremensko-frekvencijskoj ravni.

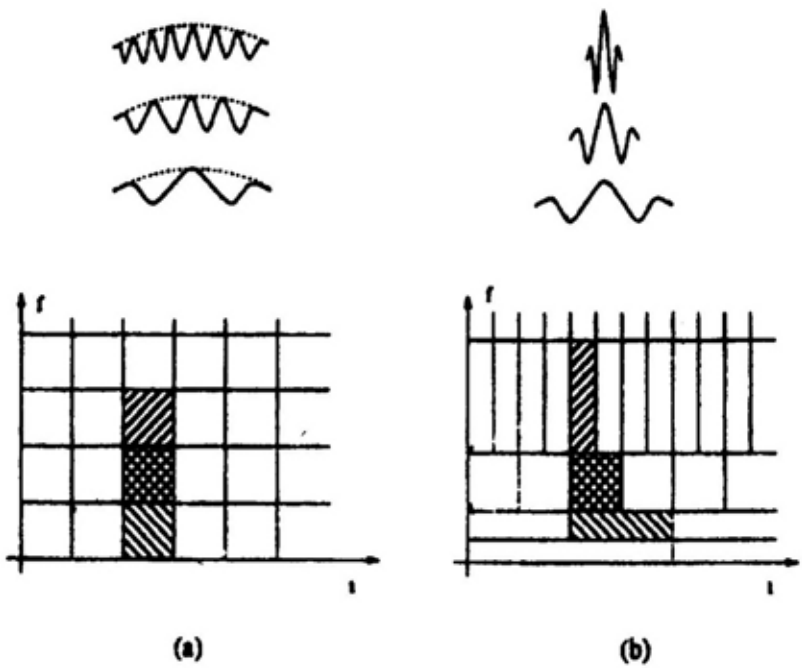
Prva dva signala sa leve strane imaju malu vremensku i veliku neodređenost frekvencije, te su predstavljeni pravougaonicima kao na slici 2. Treći signal ima manju frekvencijsku neodređenost i veću vremensku, pa je on predstavljen pravougaonikom manje visine. Ovaj signal ima mnogo veću energiju nego prethodna dva, što je naznačeno intenzivnijim zatamnjivanjem njegove ćelije.

Na slici 3 prikazani su primeri baznih funkcija i odgovarajuće predstavljanje u vremensko-frekvencijskoj ravni u slučaju kratkotrajne Furijeove transformacije i talasne transformacije. Talasna transformacija daje mnogo bolju sliku signala, tj. pruža informaciju o ponašanju signala, kako u vremenskom domenu, tako i u domenu frekvencija.

Za talasnu transformaciju koriste se ortogonalne baze. Pod ortogonalnom bazom podrazumeva se skup sekvenci $\{\varphi_i\,|n|\,\}_{i \in Z}$ takvih da za $i \neq j$ važi:



Sl. 2 – Informacione ćelije u vremensko-frekvencijskoj ravni

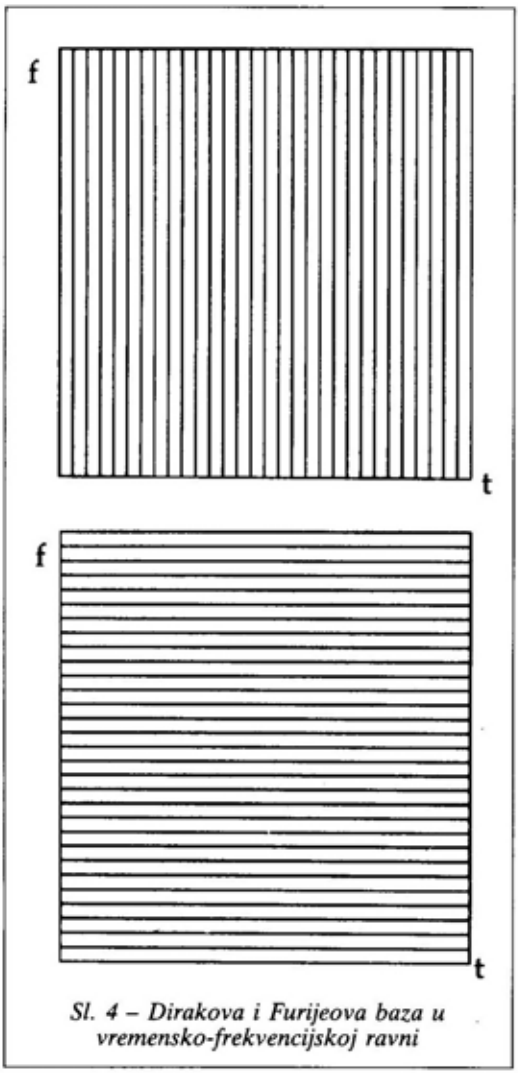


Sl. 3 – Bazne funkcije i vremensko-frekvencijska rezolucija:
a) kratkotrajna Furijeova transformacija, b) talasna transformacija

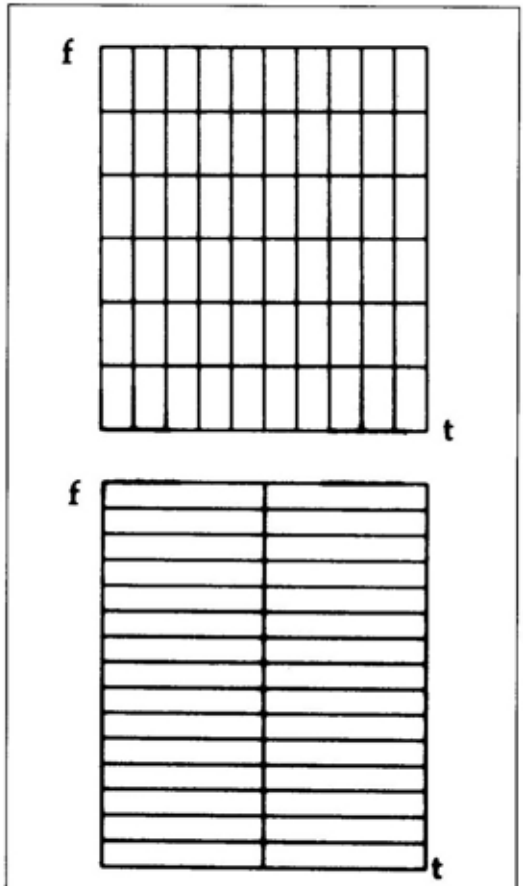
$$\int \varphi (nt - i)\, \varphi (nt - j) = 0 \qquad (17)$$

U tom slučaju informacione ćelije se neće preklapati.

Na slikama 4 i 5 prikazani su primeri pojedinih baza predstavljenih u vremensko-frekvencijskoj ravni. Standardna Dirakova baza sadrži Dirakove impulse čiji je položaj u vremenu određen intervalom odabiranja. Ova baza ima optimalnu vremensku lokalizaciju, ali ne daje nikakvu informaciju o položaju posmatranog signala u frekvenciji. Sa druge strane je Furijeova baza kod koje je situacija obratna: ima dobru karakterizaciju signala u frekvencijskom domenu, ali nema nikakvu informaciju o ponašanju signala u vremenu.



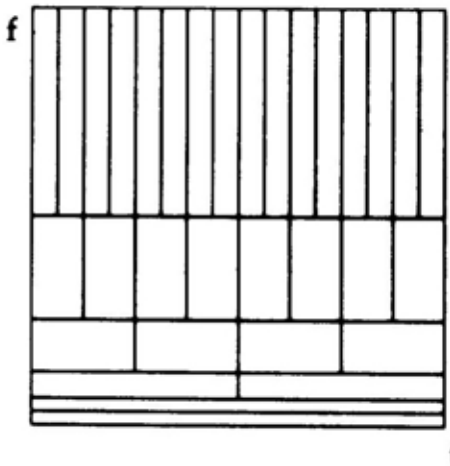
Sl. 4 – Dirakova i Furijeova baza u vremensko-frekvencijskoj ravni



Sl. 5 – Prozorovana Furijeova baza u vremensko-frekvencijskoj ravni

Prozorovana ili kratkotrajna Furijeova transformacija predstavljena je informacionim ćelijama čija je širina proporcionalna širini prozora (slika 5). U slučaju talasne transformacije isti je slučaj kao na slici 6.

Relativno lako predstavljanje signala pomoću vremensko-frekvencijskih komponenti može se postići rekurzivnim algo-



Sl. 6 – Primer baze talasne transformacije u vremensko-frekvencijskoj ravni

ritmom deljenja koji je detaljno opisan u radu [3]. Suština je da se ulazni signal deli na dva dela, čime se zapravo vremensko-frekvencijska ravan deli na dve polovine. Da bi se to realizovalo potreban je operator koji daje ortogonalne ili nezavisne delove koji se ne preklapaju. Ovom operacijom treba ujedno izvršiti i decimaciju signala, tako da je zbir broja odbiraka signala u tim delovima jednak ukupnom broju odbiraka signala. Jedan od načina da se to ostvari je prozorovanje signala i određivanje Furijeove transformacije unutar svakog prozora. Drugi način da se ostvari dekompozicija je filtriranje konjugovanim parom filtara h i h*, tj. g i g*. Niskofrekvencijske komponente izdvajaju se NF filterom h, a visokofrekvencijske komponente pomoću filtera g. Nakon filtriranja signala obavlja se njegova decimacija.

Inverzna talasna transformacija

Inverzna talasna transformacija postoji ako je ispunjen uslov definisan relacijom (9), tj. ako izabrani osnovni talasić nema jednosmernu komponentu.

Da bi se došlo do izraza za inverznu transformaciju uvodi se pojam okvira. Sekvenca $(e_n)_{n\in Z}$ u Hilbertovom prostoru H naziva se okvirom ako, i samo ako, za svaki signal x važi relacija:

$$A\|x\|^2 \le \sum_{n\in Z} |<x, e_n>|^2 \le B\,\|x\|^2 \qquad (18)$$

gde su A, B granice okvira i koje ne zavise od izbora signala x.

Složenom matematičkom analizom prikazanom u [1] može se doći do izraza za granice okvira. Ako važe pretpostavke:

$$0 < c_1 \sum_{n\in Z} |\hat{\varphi}(a_0^n\omega)|^2 \le c_2 < +\infty \qquad (19a)$$

$$\beta(\upsilon) = \sup_{\omega\in R} \sum_{n\in Z} |\hat{\varphi}(a_0^n\omega)\hat{\varphi}(a_0^n\omega+\upsilon)| \le$$

$$\le C\,(1 + |\upsilon|)^{-1-\varepsilon}, \qquad (19b)$$

gde su c_1, c_2, C konstante, za neko $\varepsilon > 0$, granice okvira date su izrazima:

$$A = \frac{2\pi}{b_0}\left\{c_1 - \sum_{k\in Z/\{0\}} \left[\beta\left(\frac{2\pi}{b_0}k\right)\beta\left(\frac{2\pi}{b_t}k\right)\right]^{1/2}\right\} \qquad (20a)$$

$$B = \frac{2\pi}{b_0}\left\{c_1 + \sum_{k\in Z/\{0\}} \left[\beta\left(\frac{2\pi}{b_0}k\right)\beta\left(\frac{2\pi}{b_t}k\right)\right]^{1/2}\right\} \qquad (20b)$$

Granica A mora biti pozitivna veličina. Ovo uvek važi u slučaju da je $b_0 < b_t$, gde je b_t granična vrednost.

Signalu x dodeljuje se operator F koji preslikava svako $x \in H$ u sekvencu $(<x, e_n>)_{n\in Z}$ i operator F_d koji sekvencu

$(x_n)_{n\in Z}$ preslikava u $x = \sum_{n\in Z} x_n e_n$. U radu [1] pokazano je da se pomoću ova dva operatora može uvesti nova sekvenca $\hat{e}_n$:

$$\hat{e}_n = (F_d F)^{-1} e_n, \qquad (21)$$

koja takođe, predstavlja okvir. Ovaj okvir naziva se dualnim okvirom, a njegove granice su $A^{-1} \geq B^{-1} > 0$.

Na osnovu matematičke analize u [1] svaki signal $x \in H$ može se napisati u obliku:

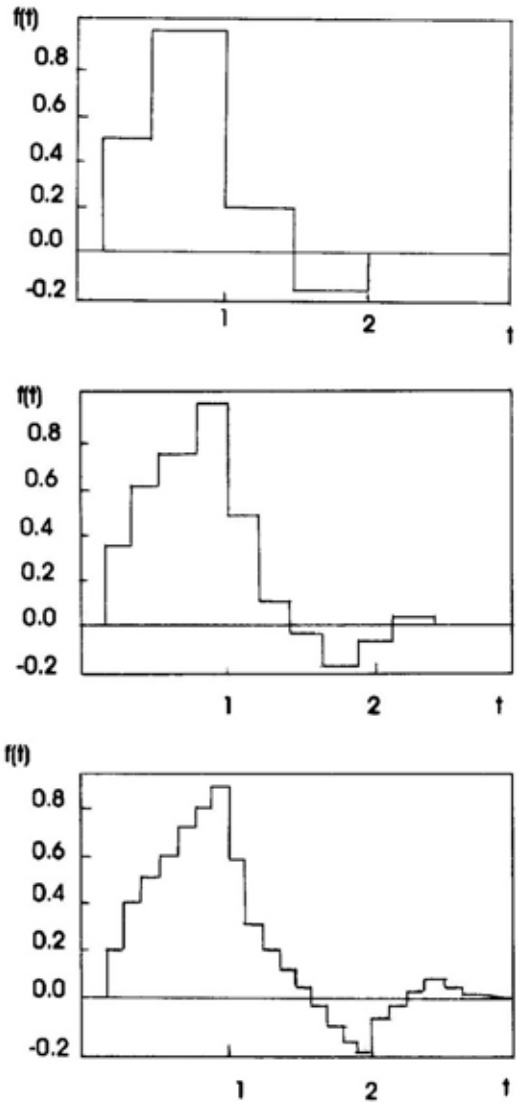
$$x = \sum_{n\in Z} <x, e_n> \hat{e}_n = \sum_{n\in Z} < x, \hat{e}_n > e_n \qquad (22)$$

Dakle, za inverznu talasnu transformaciju neophodno je poznavati dualni okvir $(\hat{e}_n)_{n\in Z}$, tj. inverzni operator operatora $F_d F$. Postupak određivanja operatora $F_d F$ prikazan je u radu [1].

Dualni okvir $\hat{\varphi}_{n,m} = (Fd\ F)^{-1} \varphi_{n,m}$ u opštem slučaju ne nastaje transliranjem i širenjem osnovnog talasića. Jedino u slučaju A = B dualni okvir je jednak osnovnom talasiću: $\hat{\varphi}_{n,m} = A^{-1}\varphi_{n,m}$. Normalizacijom $\varphi_{n,m}$ može se podesiti tako da je A = B = 1, i u tom slučaju važi:

$$f(t) = \sum_{n,m\in Z} < f, \varphi_{n,m} > \varphi_{n,m}(t) \qquad (23)$$

Ovakav okvir naziva se uskim okvirom.



Sl. 7 – Primer postepenog aproksimiranja funkcije

Brza talasna transformacija

Da bi neka transformacija bila od koristi potreban je brzi algoritam koji se može implementirati na računaru, linearne ili linearno-logaritamske složenosti. Takav algoritam naziva se brzom talasnom transformacijom.

Jedan od načina da se ovaj zahtev realizuje je multirezoluciona analiza. Naime, ideja je da se funkcija aproksimira različitim rezolucionim nivoima. Analogna situacija nastaje u slučaju predstavljanja slike sa sve većim brojem piksela. Koeficijenti talasića određuju se kao dodatni detalji kojima se poboljšava aproksimacija, tj. prelazi od grublje ka finijoj

aproksimaciji, kao što je prikazano na slici 7.

Posmatra se slučaj talasića oblika (15), pri čemu je $a_0 = 2$ i $b_0 = 1$:

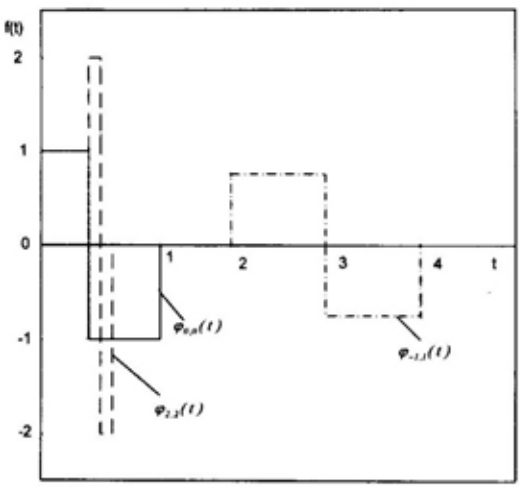
$$\varphi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \quad \varphi(2^j t - k) \; j, k \in Z \qquad (24)$$

Jedan od najstarijih primera ortogonalne baze je Harov sistem, kod kojeg je osnovni talasić, deo po deo, konstantna funkcija oblika:

$$\varphi(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0,1/2] \\ -1, & t \in (1/2, 1] \\ 0, & t \in (-\infty, 0) \cup (1, +\infty) \end{cases} \qquad (25)$$

Na slici 8 dat je prikaz nekoliko talasića posmatrane baze.

Najpre će se pokazati da ovakav sistem čini ortogonalnu bazu. Za fiksnu vrednost j lako se uočava da su funkcije $\varphi_{j,k}$ i $\varphi_{j,k'}$, različite od nule u intervalima koji se ne preklapaju, te je jasno da je njihov proizvod jednak nuli, tj. da su one ortogonalne. Ako se razmatra slučaj $j' > j$, talasić $\varphi_{j,k}$ ima konstantnu vrednost različitu od nule u istom opsegu kao i $\varphi_{j',k}$, ali je njihov proizvod ponovo jednak nuli. Dakle, talasići $\varphi_{j,k}$ i $\varphi_{j',k}$ su ortogonalne funkcije. Ostaje još da se pokaže da one čine bazu, odnosno da se bilo koja funkcija f (t) može predstaviti kao kombinacija talasića $\varphi_{j,k}$ oblika:



Sl. 8 – Primer nekoliko Harovih baznih funkcija

$$f(t) = \sum_{j,k \in Z} < f, \varphi_{j,k} > \varphi_{j,k}(t) \qquad (26)$$

Uvodi se nova veličina $A_j f$ određena koeficijentima $a_{j,k}$ koji predstavljaju konstantnu aproksimaciju funkcije na intervalu $I_{j,k}$, gde je $I_{j,k} = [2^{-j}k, 2^{-j}(k+1)]$, $k \in Z$.

Znači da je:

$$a_{j,k} = A_j f / I_{j,k} = 2^j \int_{I_{j,k}} f(t)\, dt \qquad (27)$$

Ako se posmatraju intervali $I_{j+1,2k} = [2^{-j}k, \; 2^{-j}(k + 1/2)]$ i $I_{j+1, 2k+1} = [2^{-j}(k + 1/2), 2^{-j}(k + 1)]$ uočava se da su to podintervali intervala $I_{j,k}$ duplo manje dužine. Očigledno je $a_{j,k}$ srednja vrednost srednjih vrednosti funkcije na datim podintervalima, tj.:

$$a_{j,k} = \frac{a_{j+1,2k} + a_{j+1,2k+1}}{2} \qquad (28)$$

Pošto je usvojen odgovarajući oblik osnovnog talasića, razlika dva susedna koeficijenta $A_{j+1}f$ i $A_j f$ može se izraziti preko $\varphi_{j,k}$. Dakle, važi izraz:

$$A_{j+1}f - A_j f = \sum_k d_{j,k} \varphi_{j,k} \qquad (29)$$

Na osnovu definicije veličine $A_j f$ uočava se da je

$$d_{j,k} = < f, \varphi_{j,k} > \qquad (30)$$

Ukoliko se usvoji neka fiksna vrednost j_1, može se dobiti vrednost koeficijenta $A_{j_1}f$ pomoću grublje aproksimacije $a_{j_0}f$, $j_0 < j_1$ i dodatnog člana koji predstavlja kombinaciju talasića:

$$A_{j_1}f = A_{j_0}f + \sum_{j=j_0}^{j_1-1} \sum_{k\in Z} < f, \varphi_{j,k} > \varphi_{j,k} \quad (31)$$

Ako se u ovom izrazu pusti da npr. $j_1 \to +\infty$ i $j_0 \to -\infty$ dobija se izraz (26).

Cilj svake aproksimacije jeste da što bolje reprodukuje posmatranu funkciju, pa sa tog aspekta odgovara što veća vrednost j_1, odnosno što manja vrednost j_0. Međutim, u praksi se, uglavnom, sreće sa odbircima nekog signala ili sa čisto diskretnim podacima, tako da j_1 i j_0 najčešće imaju konačnu vrednost.

Posmatrani Harov sistem nije pogodan za veliki broj konkretnih aplikacija. Ovako usvojeni talasići nisu kontinualne funkcije i njima se ne može postići dovoljno dobra aproksimacija glatkih funkcija. Zbog toga se često, umesto razvoja funkcije preko talasića, pribegava aproksimiranju izvoda te funkcije izvodima koeficijenata A_jf. Jedan od osnovnih problema teorije baza talasića jeste konstruisanje sistema koji ima sličnu multirezolucionu strukturu kao Harova baza, ali da pri tome osnovni talasić bude regularna funkcija kako bi se postigla bolja aproksimacija razmatranih signala. Jedan od najčešće korišćenih postupaka za određivanje osnovnog talasića dat je u literaturi [1].

Kriterijum za procenu kvaliteta aproksimacije

Osnovni cilj jeste da se funkcija f(t) aproksimira funkcijom $f_M(t)$, koja je linearna kombinacija M odabranih talasića. Pitanje je kojih M talasića iz beskonačnog skupa mogućih treba odabrati. U idealnom slučaju kriterijum za izbor je da razlika originalne funkcije i njene aproksimacije bude što je moguće manja, ali on nije pogodan za praktičnu realizaciju. U konkretnim situacijama kriterijum se pojednostavljuje time što se biraju koeficijenti sa najvećim apsolutnim vrednostima. Pretpostavka je da je aproksimacija:

$$f_M = \sum_{\lambda\in\Lambda_M} c_\lambda \varphi_\lambda, \quad (32)$$

gde je sa Λ_M označen skup talasića odabranih za analizu signala. Skup Λ_M u ovom slučaju sadrži indekse M najvećih talasić-koeficijenata. Kako ovaj skup indeksa zavisi od posmatrane funkcije, aproksimacija nije linearna ($(f + g)_M \neq (f_M + g_M)$).

Ako $M \to \infty$ aproksimacija konvergira ka f(t). Da bi se odredio kvalitet aproksimacije, tj. koliko ona verno reprodukuje originalni signal, posmatraće se brzina konvergencije. Ona se procenjuje na osnovu parametra α koji je definisan implicitno preko funkcije konvergencije O:

$$|f - f_M| = O(M^{-\alpha}). \quad (33)$$

Što je parametar α veći, to je konvergencija brža, odnosno aproksimacija bolja pri istoj vrednosti M. Ako je funkcija f(t) diferencijabilna α puta, parametar α se može relativno lako odrediti. Signali sa kojima se u praksi susreće najčešće nisu takvi, pa je određivanje α u opštem slučaju složen postupak. Aproksimacija neke funkcije, bazirana na Furijeovoj transformaciji, takođe se može procenjivati pomoću koeficijenta α, koji u tom slučaju ima vrednost $\alpha = 1$. Ukoliko se aproksimacija obavlja pomoću talasića, vrednost koeficijenta α je uvek $\alpha \geq 2$.

Vrste talasića i njihova primena

Koncept talasića datira još sa početka veka. Zbog složenog matematičkog aparata koji ova transformacija podrazumeva, tek sredinom osamdesetih godina počinje se sa detaljnijim razmatranjem mogućnosti njene primene. Jedna od oblasti u kojoj su talasići našli svoju primenu jeste kompresija signala i kodovanje u podopsegu, uglavnom za audio-signale i signal govora. Kodovanje pomoću talasića naročito je zanimljivo, jer pruža mogućnost dekodovanja samo dela signala kako bi se dobila njegova aproksimacija. Priroda audio signala i signala govora su različite, ali je u oba slučaja prijemnik isti – ljudsko uvo. Šematski prikazano ljudsko uvo u osnovi predstavlja banku filtera sa određenim nelinearnim efektima. Upravo zbog toga kodovanje ovakvih signala pomoću talasića je najbolje rešenje.

Ovakvi algoritmi za kodovanje koriste se i za signal slike. Nekada su ti algoritmi bili konstruisani tako da je eksploatisana jedino osobina talasića da signal razloži na statistički nezavisne opsege, tj. primenjivana su samo svojstva talasića vezana za frekvencijsku lokalizaciju signala. Novije varijante algoritama kodovanja koriste mogućnosti i prostorne i frekvencijske lokalizacije. Talasići se koriste i za kodovanje slike i video signala koji se prenose preko telefonskih linija, zemaljskih kanala za difuziju, ili preko mreža poput ATM-a i INTERNET-a.

U prethodnim odeljcima navedene su osnovne karakteristike talasne transformacije i osobine koje treba da zadovoljavaju funkcije pomoću kojih se vrši dekompozicija posmatranog signala. Postoji više grupa funkcija za koje važe dati uslovi, a za sada se najčešće koristi pet kategorija funkcija.

1. Funkcije nastale transliranjem i širenjem jedne funkcije

Ovo su klasični talasići koji se za sada najviše koriste u praksi, jer se prirodno uklapaju u koncept multirezolucione analize.

2. Paketi talasića

Ova grupa funkcija predstavlja proširenje klasičnih talasića. Osnovna osobina je mogućnost primene baza sa boljom frekvencijskom lokalizacijom, ali je sa druge strane sama transformacija nešto složenija.

3. Lokalne trigonometrijske baze

Osnovna ideja jeste da se za bazne funkcije uzmu prostoperiodične funkcije definisane na nekom konačnom intervalu, pri čemu se koristi poseban metod za povezivanje baznih funkcija na krajnjim tačkama intervala definisanosti.

4. Multitalasići

U ovom slučaju ne barata se samo sa jednom funkcijom i njenim proširenim i transliranim oblicima, već nekim konačnim brojem funkcija, pri čemu je taj broj veći od jedan. Na taj način može se dobiti veliki broj različitih kombinacija sa vrlo dobrim osobinama koje nije moguće postići klasičnim talasićima.

5. Druga generacija talasića

Ovde se potpuno napušta ideja transliranja i širenja nekoliko jednostavnijih

talasnih oblika, talasići su potpuno različiti signali. Ovako konstruisane baze prevazilaze većinu problema koji se susreću u ostalim slučajevima, ali je postupak generisanja takvih baza, kao i analiza signala pomoću njih vrlo komplikovana.

Zaključak

Talasna transformacija u velikom broju slučajeva daje bolje rezultate od Furijeove transformacije koja se do sada najčešće primenjivala. Ovakva transformacija daje podatke o ponašanju signala u vremenskom domenu i u domenu frekvencija, a aproksimacija pomoću talasić--koeficijenata mnogo brže konvergira ka posmatranom signalu. Talasići uvode u oblast obrade nestacionarnih, neuniformnih signala, odnosno oblast koja je mnogo šira od oblasti vremenski invarijantne obrade gde glavno oruđe predstavlja upravo Furijeova transformacija. Talasići su, za sada, našli svoju glavnu primenu u oblasti kodovanja u podopsegu, dok je njihova primena u oblasti komunikacija još uvek prilično zanemarena. Trenutno se razmatra mogućnost primene talasića za transmultipleksere, tj. za prenos više različitih signala po jednom kanalu.

Literatura:

[1] Cohen, A. and Kovačević J.: Wavelets: The Mathematical Background, Proc. of the IEEE, Vol. 84, No. 4, April 1996, pp. 514–522.

[2] Sweldens, W.: Wavelets: What Next?, Proc. of the IEEE, Vol. 84, No. 4, April 1996, pp. 680–685.

[3] Hess N. – Nielsen and Wickerhauser, M. V.: Wavelets and Time-Frequency Analysis, Proc. of the IEEE, Vol. 84, No. 4, April 1996, pp. 523–540.

[4] Ramchandran, K., Vetterli, M. and Herley, C.: Wavelets, Subband Coding and Best Bases, Proc. of the IEEE, Vol. 84, No. 4, April 1996, pp. 541–558.

[5] Daubechies, I.: Ten Lectures on Wavelets, Philadelphia: SIAM, 1992.

[6] Mallat, S.: Multifrequency Channel Decompositions of Images and Wavelet Models, IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 37, December 1989, pp. 2091–2110.

Mr Milić Ivošević,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

VUČNI PRORAČUN TENKA PRI PODVODNOJ VOŽNJI

UDC: 623.438.324 : 531.553

Rezime:

U radu je prikazana teorijska analiza kretanja tenka po dnu vodene prepreke, kao i dejstvo sila koje se suprotstavljaju tom kretanju, formiranje jednačina kretanja tenka, proračun vučne sile i dijagram vučne sile za jedan savremeni tenk.

Ključne reči: tenk, gusenica, koncepcija, podvodna vožnja.

TRACTIVE CALCULATION OF MAIN BATTLE TANK DURING ITS MOTION UNDER WATER

Summary:

The theoretical analysis of tank motion under water during its overcoming of water obstacle, the action of resistance forces during that motion, the determination of the tractive effort and the tractive effort diagram of one modern battle tank are presented in the paper.

Key words: tank, track, layout, under water motion.

Uvod:

Uporedo sa razvojem borbenih vozila razvijali su se i sistemi koji omogućavaju savlađivanje vodenih prepreka. Prva borbena vozila mogla su da savlađuju samo manje vodene prepreke, i to gazom čija veličina nije mogla da ugrozi bezbednost vozila i posade.

Osposobljavanje tenkova za podvodnu vožnju imalo je za cilj da se ostvari visoki tempo izvođenja borbenih dejstava u savremenim uslovima, što podrazumeva brzo forsiranje reka i drugih vodenih prepreka, bez posebnih i velikih priprema.

Omogućavanjem srednjim tenkovima da podvodnom vožnjom savlađuju vodene prepreke oni su se po nekim tehničkim karakteristikama približili lakim tenkovima, koji savlađuju vodene prepreke plovljenjem.

U operativnoj upotrebi laki tenkovi mogu plovljenjem da savlađuju vodenu prepreku i obezbeđuju obalu do trenutka dok srednji tenkovi, čija je vatrena moć mnogo veća i operativna upotreba raznovrsnija, ne savladaju vodenu prepreku podvodnom vožnjom. Zauzimanjem suprotne obale vodene prepreke, i učvršćivanjem fronta na tom delu, omogućuje se nesmetano postavljanje pontonskih mostova i izvođenje borbenih dejstava.

Današnji sistemi za podvodnu vožnju tenkova omogućavaju savlađivanje vodenih prepreka dubine do pet metara i dužine hiljadu metara.

Da bi tenk mogao savlađivati vodenu prepreku, njegova konstrukciona rešenja moraju da obezbede hermetizaciju oklopnog tela, rad motora i ostalih uređaja kao i mogućnost borbene upotrebe nakon savlađivanja vodene prepreke, bez posebnih dodatnih radnji na samom tenku.

Za proračun vučne sile potrebno je analizirati dejstvo sila koje deluju na tenk pod vodom, i formirati jednačine kretanja za uslove podvodne vožnje. Dobijeni obrazac za određivanje vučne sile pri kretanju tenka pod vodom služi za formiranje dijagrama vuče.

Analiza sila koje deluju na tenk pri kretanju pod vodom

U uslovima kada se tenk kreće po dnu vodene prepreke (slika 1) na njega deluju sile: R_w – sila otpora vode, D' – sila potiska vode, R_f – sila otpora kotrljanja, Z_f – sila normalne reakcije podloge.

Sila otpora vode, prema [1] i [2] može se napisati u obliku:

$$R_w = \frac{c' \cdot \rho_V \cdot \vartheta_m^2}{2} \cdot A \qquad (1)$$

gde je:

c' – bezdimenzioni koeficijent otpora, određen eksperimentalnim putem, zavisi od Frudovog i Rejnoldsovog broja, oblika površina i nekih drugih faktora;

ρ_V – gustina vode;

ϑ_m – brzina kretanja tenka u odnosu na kretanje vode;

A – površina projekcije tenka na ravan normalnu na pravac kretanja.

Iz jednačine (1) sledi da otpor vode u odnosu na kretanje tenka raste proporcionalno kvadratu brzine kretanja tenka u odnosu na brzinu kretanja vode.

Sila potiska vode (D'), po Arhimedovom zakonu, iznosi:

$$D' = \gamma_V \cdot V_t = \rho_V \cdot g \cdot V_t \qquad (2)$$

gde je:

γ_V – specifična težina vode,

V_t – potopljena zapremina tenka koja uključuje hodni deo i sve delove naoružanja.

Sila potiska vode D' deluje vertikalno sa napadnom tačkom u centru težišta tenkom istisnute zapremine vode. Tačka dejstva te sile naziva se centar istisnute vode ili centar pritiska.

Zbog dejstva sile potiska smanjuje se dejstvo sile težine tenka za njenu vrednost, pa izraz za normalnu reakciju podloge, pri kretanju tenka po horizontalnom putu, glasi:

$$Z_f = m_T \cdot g - D' = G - D' \qquad (3)$$

gde je:

Z_f – sila normalne reakcije podloge,

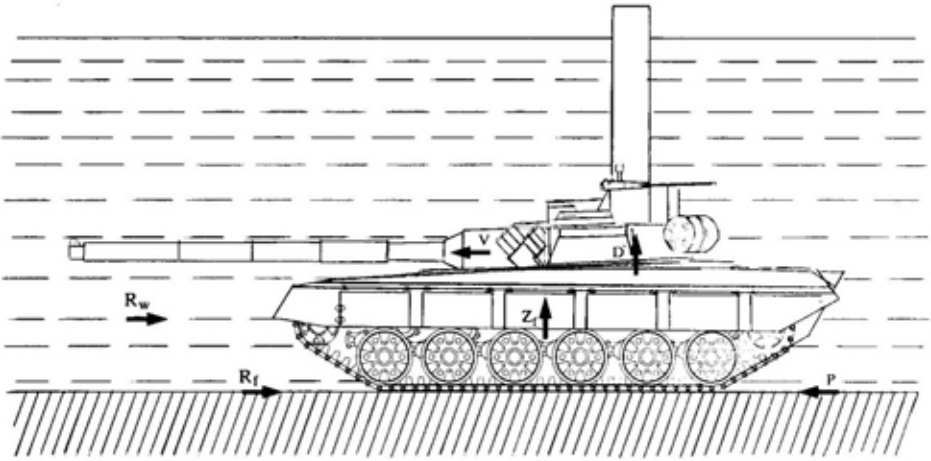
m_T – masa tenka,

$G = m_T g$ – težina tenka.

U slučaju da je ravan kretanja tenka nagnuta pod nekim uglom (α) u odnosu na horizontalnu ravan (pri ulasku i izlasku pri savlađivanju vodenih prepreka), sila normalne reakcije podloge određuje se prema izrazu:

$$Z_f = (m_T \cdot g - D')\cos\alpha = (G - D')\cos\alpha \qquad (4)$$

Za srednje tenkove, pri potpunom potapanju u vodu, ispitivanjem je utvrđeno da se sila normalne reakcije podloge kreće u granicama:



Sl. 1 – Sile koje deluju na tenk pri kretanju po dnu vodene prepreke

$Z_f = (0{,}55 - 0{,}6)\ G$

Ako se spoljašnje sile, koje deluju na tenk pri podvodnoj vožnji na horizontalnoj podlozi, projektuju na pravac kretanja (slika 1) dobija se sledeći izraz:

$$F = R_f + R_w \qquad (5)$$

gde je F vučna sila potrebna za kretanje.

Sila otpora kotrljanju R_f, u opštem slučaju, kao i pri kretanju na suvom, proporcionalna je sili normalne reakcije podloge i koeficijentu otpora kotrljanja.

$$R_f = fZ_f = f\,(m_T g - D')\cos\alpha = f(G - D')\cos\alpha = gf(m_T - \rho_V V_t)\cos\alpha \qquad (6)$$

Na osnovu ispitivanja određene su vrednosti koeficijenta otpora kotrljanja f pri kretanju tenka po dnu vodenih prepreka [2]:

- za tvrdu podlogu 0,12
- za rastresitu podlogu 0,18
- za blatnjavu podlogu 0,25

Koeficijent f dobijen je eksperimentalno metodom tegljenja – vuče tenka po dnu vodene prepreke.

Ako se uporedi sila otpora kotrljanju R_f pri kretanju na suvom sa silom otpora kotrljanju pri podvodnoj vožnji, može se konstatovati da se ona usled dejstva potiska smanjuje, a raste zbog povećanja otpora podloge, prethodnog zatezanja gusenicnih lanaca i otpora vode premotavanju gusenica, što znači da se povećava.

Na osnovu izraza (5) i prethodne analize može se zaključiti da je sila vuče F potrebna za kretanje tenka pod vodom veća od sile koja je potrebna za kretanje na suvom.

Pri kretanju po dnu vodene prepreke maksimalna vučna sila ograničena je silom prijanjanja (F_φ), koja se određuje prema izrazu:

$$F_\varphi = Z_f \varphi$$

gde je φ koeficijent prijanjanja.

Do smanjenja maksimalne vučne sile dolazi zbog smanjenja uticaja težine tenka usled dejstva sile potiska vode

i zbog smanjenja koeficijenta prijanjanja [4].

Koeficijent prijanjanja dobija se eksperimentalnim putem i, zavisno od vrste terena, ima sledeće vrednosti [2]:

- za tvrdo dno 0,7
- za rastresito dno 0,5
- za blatnjavo dno 0,3–0,4

Može se zaključiti da za ravnomerno kretanje tenka po dnu vodene prepreke mora biti ostvaren uslov $F_\varphi > F_M > F$. Ovde je F_M sila vuče koja se može obezbediti motorom.

U praksi su česti slučajevi da je maksimalna sila prijanjanja (F_φ) manja od potrebne vučne sile za savlađivanje otpora podvodnog kretanja, što izaziva proklizavanje i onemogućava kretanje.

Pri većim dubinama vode sile talasanja vode su relativno male, pa se ne uzimaju u razmatranje.

Jednačina kretanja tenka pri savlađivanju vodene prepreke podvodnom vožnjom može se napisati u obliku [6]:

$$m_T \cdot \frac{d\vartheta}{dt} = F - R_f - R_w - (m_T \cdot g - D')\sin\alpha \quad (7)$$

gde je ϑ brzina tenka.

Relativna brzina tenka (ϑ_m) u odnosu na brzinu vode kroz koju se kreće, jednaka je razlici brzine kretanja tenka ϑ i brzine kretanja vode ϑ_V:

$$\vartheta_m = \vartheta - \vartheta_V$$

Ako je ϑ_V = const. onda se može napisati sledeći izraz:

$$\frac{d\vartheta_m}{dt} = \frac{d\vartheta}{dt} \quad (8)$$

Kada se izrazi (1 – 5) i (6) uvrste u izraz (7), i kada se pretpostavi da je $\alpha = 0$, dobija se diferencijalna jednačina kretanja tenka po ravnoj podlozi u sledećem obliku:

$$m_T \cdot \frac{d\vartheta_m}{dt} = F - g \cdot f \cdot (m_T - \rho_V \cdot V_t) - \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho_V \cdot A \cdot \vartheta_m^2 \quad (9)$$

Ako je u toku podvodne vožnje vučna sila F konstantna, jednačina (9) može se rešiti.

Nakon uvođenja izraza za

$$C_1 = \frac{1}{m_T} \cdot [F - g \cdot f \cdot (m_T - \rho_V \cdot V_t)] \quad \text{i}$$

$$C_2 = \frac{c \cdot \rho_V \cdot A}{2m_T}$$

dobija se rešenje integrala u opštem obliku:

$$I = \frac{1}{2\nu} \ln \frac{1 + \frac{\vartheta_S}{\vartheta_m}}{1 - \frac{\vartheta_S}{\vartheta_m}} \quad (10)$$

Rešenje određenog integrala, u granicama $\vartheta_0 - \vartheta_m$, je:

$$I = \frac{1}{\nu} \operatorname{arth}\left(\frac{\vartheta_S}{\vartheta_m}\right) - \frac{1}{\nu} I_0 \quad (11)$$

gde je:

ϑ_0 – relativna brzina tenka u početnom trenutku $t_0 = 0$,

ϑ_S – konačna relativna brzina.

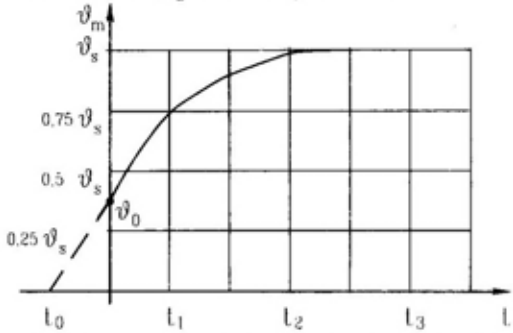
Rešenje diferencijalne jednačine (9) može se napisati u obliku:

$$\vartheta_m(t) = \vartheta_S \operatorname{cth}(\nu t + I_0) \quad (12)$$

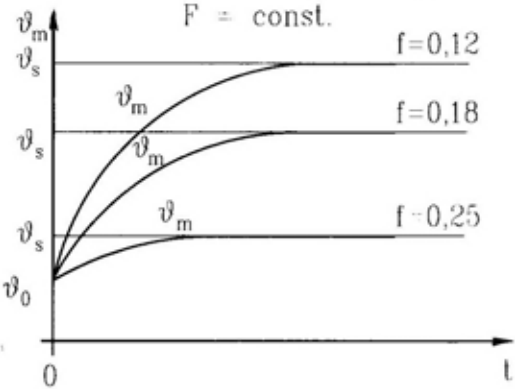
Zavisnost ϑ_m od t prikazana je na slici 2.

U trenutku $t_1 = (1 - I_0)$ relativna brzina ϑ_m dostiže 76% vrednosti konačne brzine ϑ_S, dok je posle vremena $t_2 = (2 - I_0)$ praktično dostignuta konačna brzina ($\vartheta_m > 0{,}96\ \vartheta_S$).

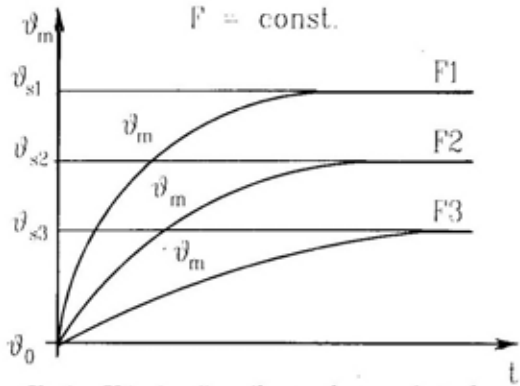
Uticaj koeficijenta f iz jednačine (9) na ubrzavanje tenka, za konstantnu vučnu silu F, prikazan je na slici 3.



Sl. 2 – Promena relativne brzine kretanja tenka



Sl. 3 – Uticaj koeficijenta otpora kotrljanja na ubrzanje tenka



Sl. 4 – Uticaj vučne sile na ubrzavanje tenka

Iz dijagrama se može videti da koeficijent f utiče na vreme dostizanja konačne brzine ϑ_S i na vrednost konačne brzine ϑ_S pri istoj vučnoj sili F.

Na slici 4 grafički je prikazan uticaj vučne sile F na ubrzavanje tenka, pri konstantnoj vrednosti koeficijenta f. Krive $\vartheta_m(t)$ odnose se na tri različite vrednosti sile F koje se nalaze u sledećem odnosu:

$$F1 : F2 : F3 = 1{,}5 : 1{,}25 : 1$$

Proračun vučne sile pri kretanju tenka pod vodom

Iz diferencijalne jednačine kretanja (7) može se izraziti vučna sila F u zavisnosti od relativne brzine tenka ϑ_m, za opšti slučaj kretanja:

$$F = m_T \cdot \frac{d\vartheta_m}{dt} + \frac{1}{2} \cdot c' \cdot \rho_V \cdot A \cdot \vartheta_m^2 + g \cdot f \cdot$$

$$\cdot (m_T - \rho_V \cdot V_t) + g \cdot (m_T - \rho_V \cdot V_t) \cdot \sin\alpha \quad (13)$$

Pri savlađivanju vodenih prepreka teži se da brzina tenka bude konstantna. Međutim, u ovom poglavlju biće razmatrani i slučajevi ubrzavanja i usporavanja tenka pri podvodnoj vožnji. Radi toga se pretpostavlja željeni dijagram promene brzine tenka pod vodom, koji će obuhvatiti sve tri varijante (slika 5). Tenk se kreće konstantnom brzinom ϑ_0 (oblast I). Posle izvesnog vremenskog intervala Δt tenk se ubrzava do brzine ϑ_S (oblast II), kreće se konstantnom brzinom ϑ_S (oblast III), usporava do brzine ϑ_0 za vreme Δt (oblast IV) i kreće se ravnomerno brzinom ϑ_0 (oblast V).

Prema izrazu (13) za oblast I važi sledeća jednačina:

$$F = \frac{1}{2} \cdot c' \cdot \rho_V \cdot A \cdot \vartheta_0^2 + g \cdot f \cdot \cdot (m_T - \rho_V \cdot V_t) \quad (14)$$

Slično je i za oblast III:

$$F = \frac{1}{2} \cdot c' \cdot \rho_V \cdot A \cdot \vartheta_S^2 + g \cdot f \cdot \cdot (m_T - \rho_V \cdot V_t) \quad (15)$$

U oblasti II javlja se ubrzanje za koje se pretpostavlja da je ravnomerno:

$$a = \frac{\vartheta_S - \vartheta_0}{t}$$

$$\vartheta = \vartheta_0 + \frac{\vartheta_S - \vartheta_0}{\Delta t} \cdot (t - t_0) \quad (16)$$

Izraz za silu F dobija sledeći oblik:

$$F = m_T \cdot \frac{\vartheta_S - \vartheta_0}{t} + \frac{1}{2} c' \cdot \rho_V \cdot A \left[V_0 + + \frac{\vartheta_S + \vartheta_0}{\Delta t}(t - t_0) \right]^2 + g \cdot f(m_T - \rho_V V_t) \quad (17)$$

U oblasti IV dolazi do usporenja, što se predstavlja ubrzanjem sa negativnim predznakom:

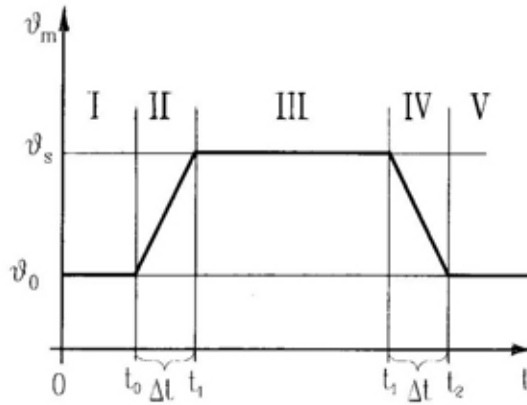
$$a = -\frac{\vartheta_S - \vartheta_0}{t}$$

$$\vartheta = \vartheta_S - \frac{\vartheta_S - \vartheta_0}{\Delta t} \cdot (t - t_2) \quad (18)$$

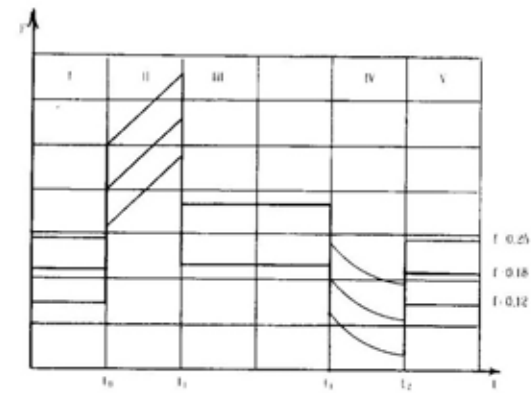
Sada izraz za silu F dobija sledeći oblik:

$$F = -m_T \cdot \frac{\vartheta_S - \vartheta_0}{\Delta t} + \frac{1}{2} c' \cdot \rho_V \cdot A \left[\vartheta_S - - \frac{\vartheta_S - \vartheta_0}{\Delta t}(t - t_2) \right]^2 + g \cdot f(m_T - \rho_V V_t) \quad (19)$$

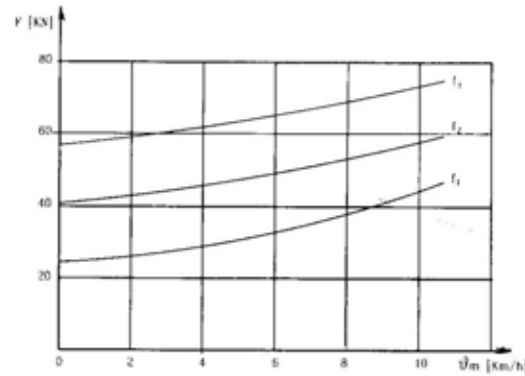
Na osnovu ovih izraza sačinjen je dijagram promene vučne sile prikazan na slici 6.



Sl. 5 – Pretpostavljeni dijagram promene brzine



Sl. 6 – Dijagram promene vučne sile



Sl. 7 – Zavisnost vučne sile od relativne brzine tenka

Dijagram vuče savremenog srednjeg tenka pri podvodnoj vožnji

U slučajevima kretanja po ravnom putu izraz za vučnu silu (13) dobija oblik:

$$F = \frac{1}{2} c' \cdot \rho_V \cdot A \, \vartheta_m^2 + g \cdot f \cdot \cdot (m_T - \rho_V \cdot V_t) \qquad (20)$$

Zavisnost vučne sile F od relativne brzine kretanja savremenog srednjeg tenka pod vodom grafički je prikazan na slici 7 za sledeće parametre:

$c' = 0{,}7$	$g = 9{,}81\ m/s^2$	$f_1 = 0{,}12$
$\rho_V = 1000\ kg/m^3$	$m_T = 44{,}000\ kg$	$f_2 = 0{,}18$
$A = 6\ m^2$	$V_t = 17\ m^3$	$f_3 = 0{,}25$

Zaključak

Pri kretanju tenka po dnu vodene prepreke dolazi do znatnog smanjenja sile normalne reakcije podloge, što izaziva smanjenje pritiska gusenica na tlo i može dovesti do proklizavanja. Pri podvodnoj vožnji, i pored prividnog smanjenja težine tenka, otpori kotrljanja se uvećavaju. Pri brzinama većim od 6 do 8 km/h dolazi do znatnog uvećanja sila koje deluju na tenk, pa te brzine treba izbegavati. Analizom vučne sile za jedan savremeni srednji tenk, u uslovima blatnjavog terena i relativne brzine kretanja veće od 10 km/h, vučna sila prelazi vrednost od 75 kN.

Literatura:

[1] Janković, D., Todorović, J.: Teorija kretanja motornih vozila

[2] Antonov, S.A.: Guseničnі kretači, Ministarstvo odbrane SSSR, Moskva, 1959.

[3] Bonivičja, E., Grudjev, N., Ivanov, I., Prokopfev, A.A.: Teorija tankov br. 3.

[4] Dmitijev, A.A., Leontiev, M.E.: O diferencialnih uravnonijah.

[5] Sergejev, L.V.: Koeficijent trenija otkritih i metjaličeskih šarnirov guseničnih cepej.

[6] Ivošević, M.: Savlađivanje vodenih prepreka borbenim vozilima podvodnim kretanjem – magistarski rad. Mašinski fakultet Beograd 1997.

Dejan M. Savić,
potporučnik, dipl. inž.
VP 4514/2 Podgorica
Boban Pavlović,
potporučnik, dipl. inž.
VP 8297 Pirot
Dr Milan M. Šunjevarić,
pukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

ARHITEKTURA SOFTVERSKI DEFINISANOG RADIJA

UDC: 621.396.6:681.3.06

Rezime:

Radio-komunikacije nastale su pre više od 100 godina. U proteklom vremenu radio-uređaji su se zasnivali isključivo na hardverskim rešenjima. Današnja tehnologija dostigla je nivo na kojem je moguće napraviti takav radio-uređaj čije karakteristike, kao što su tip modulacije, propusni opseg, primenjeni zaštitni kodovi, ne zavise od hardvera već od softvera. Ovako zamišljen radio-uređaj naziva se softverski definisan radio. Karakteristike koje poseduje su takve da će, uz današnji razvoj tehnologije on postati radio budućnosti. U radu se razmatra arhitektura softverski definisanog radija i njegov značaj za razvoj radio-komunikacija u budućnosti.

Ključne reči: softverski definisan radio, arhitektura softverski definisanog radija, radio-komunikacije.

SOFTWARE-BASED RADIO ARCHITECTURE

Summary:

Radio-communications date from more than a century. Radio-devices of the past were solely based on hardware solutions. However, modern technology has reached the level where it is possible to design such a radio-device with characteristics (modulation type, frequency band, applied protective codes) depending not on hardware but on software. A radio-device designed in such a manner is named 'a software-based radio'. Its characteristics will make it a radio of future times. This paper deals with the software – based radio architecture and with its importance for the future development of radio-communications.

Key words: software-based radio, architecture of software-based radio, radio-communication.

Uvod

Prvi uređaj koji se danas može svrstati pod softverski definisan radio (Software Defined Radio – SDR) realizovan je krajem sedamdesetih godina [1]. Istraživač Walter Tuttlebee iz Roke Manor Research korporacije, Romsey, iz Velike Britanije, tada je povezao A/D konvertor sa mikroprocesorom MS 8085 i primio radio-poruku u opsegu vrlo niskih frekvencija (Very Low Frequency). S obzirom na to da su tada digitalni sklopovi, a posebno A/D konvertori, bili vrlo skromnih mogućnosti, razvoj novog koncepta radija je stagnirao.

U narednom periodu mikroprocesori, A/D i D/A konvertori, baterije i antene postajali su manji i efikasniji. Kao revolucionarna beleži se pojava prvih mikroprocesora specijalizovanih za digitalnu obradu signala, takozvanih DSP

(Digital Signal Processor) procesora. Sa ovim tehnološkim napretkom pružaju se znatno šire mogućnosti za razvoj novih sistema, protokola i novih modulacionih tehnika koje nisu mogle biti ranije razvijane.

Ministarstvo odbrane SAD je 1992. godine preko svoje agencije U.S. Defense Advanced Research Project Agency pokrenulo nova istraživanja na ovom polju. Ovaj projekat vodio je Joseph Mitola III iz korporacije MITRE. Godine 1995. istraživanja se pretvaraju u projekat nazvan SPEAKeasy I [2], koji je doneo nekoliko uređaja i pokrenuo projekat SPEAKeasy II. To je bio katalizator za stvaranje Modular Multifunction Information Transfer Systems – MMITS Foruma [3] u martu 1996. godine. MMITS Forum je industrijsko udruženje koje razvija i promoviše korišćenje otvorene, modularne arhitekture SDR-a. On okuplja preko trideset pet članica među kojima su: Alcatel (Francuska), Ericsson (Švedska), Keio University (Japan), Motorola, Orange Personal Communication (Velika Britanija), Nokia (Finska), Rhode & Schwarz, Siemens (Nemačka), Samsung Electronics (Južna Koreja). Forum je stvoren radi definisanja arhitekture softverski definisanog radija koja je zasnovana na internom hardverskom i softverskom interfejsu i funkcijskim specifikacijama. Principijelno, ovde se radi o uvođenju novog standarda. Tehnička rešenja se permanentno usavršavaju, a ispravke se objavljuju u publikaciji „Arhitecture and Elements of Software Defined Radio Systems" koja izlazi šestomesečno. Forum, takođe, obavlja procenu potencijalne potražnje sa softverski definisanim radijom u komercijalnim, vladinim i vojnim tržišnim segmentima.

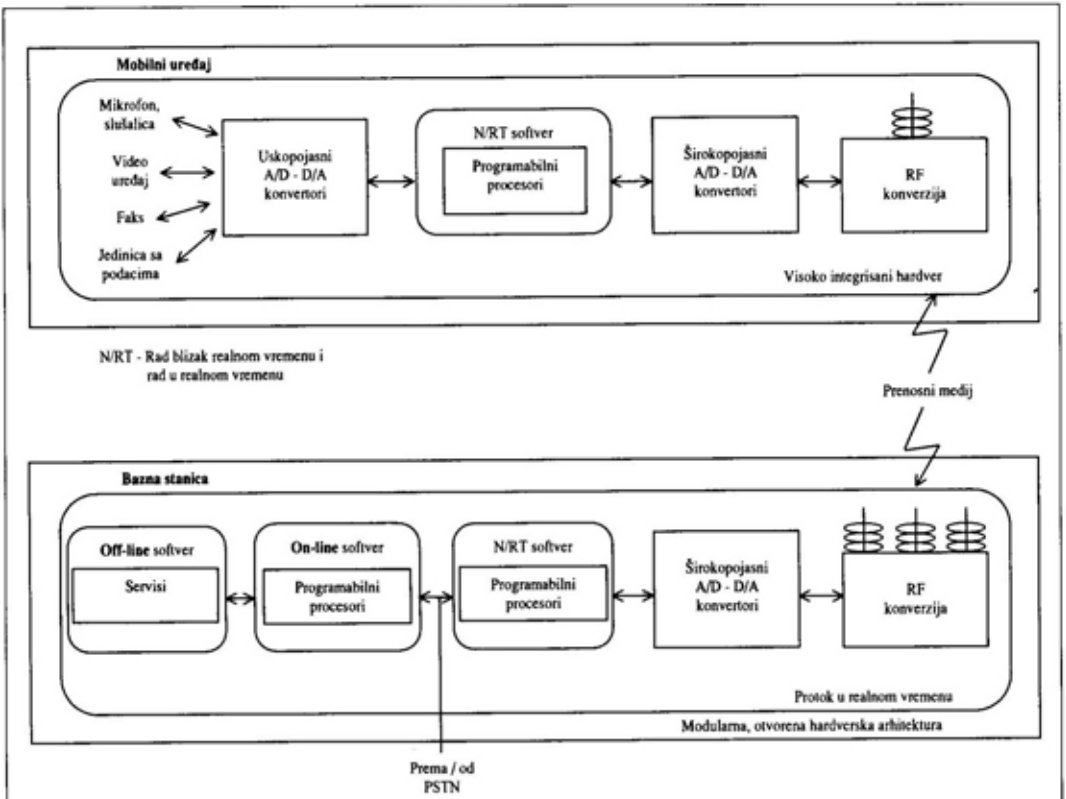
Krajem 1998. godine Forum MMITS je prerastao u SDR (Software Defined Radio) Forum [4], što govori o pomeranju fokusa istraživanja sa vojnog na istraživanje i razvoj komercijalno orijentisanog softverski definisanog radija [5]. Forum je organizacija koja je ustanovila i definisala arhitekturu softverski definisanog radija, a uključuje interni hardver i softverski interfejs, tako da svaki proizvođač može zasebno da izgradi module. Forum je predložio prvu kanoničku strukturu softverski definisanog radija i postavio smernice za njegov dalji razvoj [3, 5].

Koncept softverski definisanog radija

Najkraća definicija SDR jeste da je to radio koji menja svoje osobine u zavisnosti od softvera koji je učitan u njega. To znači da su sve karakteristike jednog radio-sistema: RF (radio-frekvencija) obrada, modulacija, demodulacija, MF (međufrekvencija) obrada, izbor radnog i propusnog opsega, kanalsko i informaciono kodovanje i dekodovanje, podešavanje snage, upravljanje antenskim snopom i, drugo, kao i „alati" za promenu upravljačkog softvera, apsolutno programabilni i zavise samo od softvera učitanog u SDR radio [6].

U principu, to se fizički može ostvariti sistemom čija je struktura prikazana na slici 1. Fizička struktura radio-sistema, prikazanog na slici 1, sastavljena je od bazne stanice i mobilnog uređaja.

Uskopojasni A/D konvertor u mobilnom uređaju pretvara informaciju u digitalni oblik ako je ona analogna i prosleđuje je u programabilni procesor (DSP) gde se obavlja obrada signala od nivoa informacije do MF nivoa (kodovanje, modulisanje, transliranje u MF opseg). Posle toga se, pomoću širokopojasnog D/A konvertora, signal pretvara u ana-



Sl. 1 – Fizička struktura SDR radio-sistema sastavljenog od bazne stanice i mobilnog uređaja

logni i vrši njegovo transliranje u RF opseg, a dalje se prenosi kroz slobodan prostor. U obrnutom pravcu, kada mobilni uređaj radi kao prijemnik, signal sa prijemne antene se, posle širokopojasne A/D konverzije i translacije u osnovni opseg, vodi u programabilni procesor gde se obavlja obrada signala do nivoa informacije u digitalnom obliku. Posle pretvaranja u analogni oblik, pomoću uskopojasnog D/A konvertora (ako je informacija analogna), signal se vodi na prijemnik informacije (npr. slušalicu).

U baznoj stanici signal se prima u RF opsegu, pomoću širokopojasnog A/D konvertora se translira u osnovni opseg i kao takav se u programabilnom procesoru obrađuje do nivoa informacije (filtriranje, demodulisanje, dekodovanje i ostalo). Iz programabilnog procesora signal se u obliku informacije šalje korisniku ili preko javne telefonske službe (Public Switched Telephone Network – PSTN), ili se dalje obrađuje u komutacionom centru mobilne telefonije. Kada bazna stanica radi kao predajnik ona obavlja obrnut proces, kao i mobilni uređaj.

Ovakva struktura, pri promenama koje će se desiti u daljem razvoju radio-sistema (nove modulacione tehnike, novi kodovi za detektovanje i korigovanje grešaka i novi kodovi – ključevi za šifrovanje i drugo) ne zavisi toliko od hardvera koliko od softvera koji se lako i relativno jeftino menja. Osim toga, ovakva struktura omogućava povezivanje radio-si-

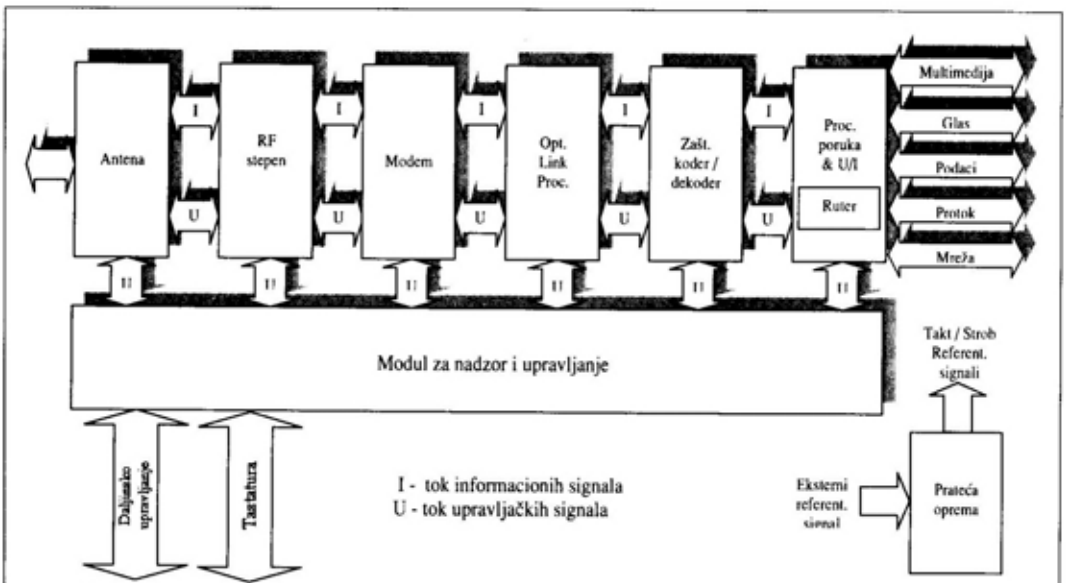
stema sa različitim standardima. Na primer, time se omogućava globalni rouming.

Radio-sistem zasnovan na SDR-u vrlo je otvoren sistem, kako prema novim naučno-tehničkim dostignućima, tako i prema svim postojećih tehničkim rešenjima. On ima sposobnost prevazilaženja problema globalnog rouminga i povezivanja već postojećih sistema, koji rade sa različitim modulacionim tehnikama i u različitim frekvencijskim opsezima, u operativnu strukturu bez velikih finansijskih izdataka. To ukazuje da je SDR radio za XXI vek po svim svojim karakteristikama, a za njega se s pravom kaže da je kamen temeljac sistema mobilnih telekomunikacija (sistemi treće generacije) 3G [5]. Poslednjih godina mnogo se radi i ulaže u razvoj SDR-a u celom svetu, o čemu svedoči veliki broj objavljenih radova koji se bave ovom problematikom.

Arhitektura softverski definisanog radija

U literaturi se pojavilo više različitih ideja o arhitekturi softverski definisanog radija. O tome se pisalo i raspravljalo od samog početka. Najrasprostranjenija i najprihvatljivija arhitektura je ona koju je definisao MMITS-SDR Forum [3, 6] (prikazana na slici 2).

Ova arhitektura može se prihvatiti kao principijelno rešenje, jer tako zahteva i sam MMITS-SDR Forum. Problem hardverskog rešenja ostavljen je samim proizvođačima, s tim da moraju da poštuju modularni princip i ustanovljene principe veza među modulima. Arhitektura softverski definisanog radija, koju je predložio MMITS-SDR Forum, generalizuje primarne funkcije jednog radio-sistema u skup funkcionalnih modula povezanih informacionim i upravljačkim signalima.



Sl. 2 – Kanonička struktura softverski definisanog radija koju je definisao MMITS-SDR Forum

Iz strukture SDR-a prvo se vidi da je on predviđen za prenos ne samo govornih poruka već i drugih oblika informacija. To znači da je ceo koncept softverski definisanog radija zasnovan na principima digitalnih telekomunikacija. Kanonička arhitektura sastavljena je od šest funkcionalno povezanih plug-and-play modula, koji su međusobno povezani tačno definisanim linijama toka informacionih i upravljačkih signala. Takođe, svaki od modula je direktno povezan sa upravljačkim modulom koji upravlja i nadgleda svaki modul ponaosob.

Prvi modul je antena, a sadrži primopredajnu antenu, ili antenski sistem, upravljačke sklopove za upravljanje antenom – antenskim sistemom, kao i opremu za njihovo nadgledanje. Tu se, takođe, nalazi softver koji podešava koeficijente adaptivnih antenskih sistema, odnosno njihov dijagram usmerenosti, dobitak, potiskivanje bočnih lobova i ostale karakteristike.

Drugi modul jeste RF stepen. U njemu se nalazi hardver i softver koji obavlja, u unapred definisanom frekvencijskom opsegu, RF selekciju i obradu signala primljenih sa antene, odnosno, obradu signala koji preko predajne antene odlazi u slobodan prostor. Tu se obavlja i međufrekvencijska obrada prijemnih signala, a nalazi se i skup potpuno programabilnih selektivnih pojačavača malih (ulaznih) i velikih (izlaznih) signala, softverskih mešača, up-down konvertora, zaštitnih kola i kola za upravljanje i nadgledanje hardverskih elemenata. Pri realizaciji softverski definisanog radija, prethodna dva modula ograničavaju ceo sistem na neki frekvencijski opseg. Takođe, oni definišu moguću snagu na izlazu i osetljivost na ulazu sistema, i određuju karakteristike jednog softverski definisanog radija.

Treći modul je modem. U njemu se realizuju funkcije modulacije predajnih signala i demodulacije prijemnih signala i može se potpuno softverski realizovati [7].

Četvrti modul je optimalni link procesor.

Peti modul je zaštitni koder-dekoder i služi za zaštitno kodovanje signala pre modulisanja i dekodovanje signala nakon demodulacije. Ima funkcije kako kanalskog kodovanja tako i kriptozaštite. Može se potpuno softverski realizovati.

Šesti modul je procesor poruka i ulazno-izlaznih informacija. Pojavljuje se u baznim stanicama i komutacionim čvorištima, odnosno tamo gde ima više izvora i korisnika poruka. Ovaj procesor vodi računa o komutaciji signala koji sadrže poruke, pa se zove procesor poruka. Može se shvatiti i kao jedno komutaciono polje. Takođe, u ovom modulu može se implementirati i ruter koji utiskuje podatke o daljoj putanji poruke kroz neku spoljnu mrežu (na primer World Wide Web), koja može biti priključena na softverski definisan radio. Ovaj modul se, takođe, može potpuno softverski realizovati uz dodatke hardvera vezanog za komutaciju.

Sedmi modul je modul za nadzor i upravljanje. On upravlja ostalim modulima i nadgleda ih. Predviđeno je da može i sam biti upravljan iz spoljnog okruženja, što pruža dve značajne mogućnosti. Prva mogućnost je daljinsko unošenje softvera i njegovo pokretanje, što znači da se spolja može uneti i pokrenuti program koji daje potpuno nove osobine i funkcije uređaju. Uređaj će postati funkcionalno potpuno drugačiji sa drugom namenom, bez promene hardvera.

MMITS Forum je predvideo i definisao koncept unošenja novog softvera preko radio-veze sa pridruženim, aplikacionim programskim interfejsom (Application Programming Interfaces – API), kojim se uspostavlja protokol za unošenje novih algoritama i procedura za svakog korisnika zasebno i procesa za posredovanje između uslužnih nivoa. Druga mogućnost je hijerarhijsko strukturiranje većih sistema koji bi bili sastavljeni od pojedinačnih softverski definisanih radija. Moguće je praktično stvarati neograničeno velike komunikacione mreže zasnovane na softverski definisanom radiju. Ovaj modul, takođe, ima implementiran korisnički interfejs kojim korisnik može da pristupa softverski definisanom radiju, na primer preko tastature.

Vrlo bitna karakteristika jeste da svaki od ovih modula može biti izostavljen, odnosno ne mora postojati za svaku aplikaciju.

Pored ovih modula postoji još i prateća oprema vezana za rad hardvera i njegovo funkcionisanje, kao što je sistem za napajanje, generatori takta, generatori referentnih signala i ostala oprema.

Značaj softverski definisanog radija

Mogućnosti koje pruža softverski definisan radio vrlo su velike. One nisu u potpunosti istražene i teško je reći u kom pravcu će se razvijati. Sigurno je da će softverski radio zameniti mobilne telefone druge generacije i da je već sada našao mesto u vojnim sistemima razvijenih zemalja.

Ovo je vreme novih tehnoloških i naučnih dostignuća, koja diktiraju promene standarda radi ostvarivanja boljih performansi. Nova dostignuća snižavaju cenu i tako potiskuju postojeće proizvode. Često se nove tehnologije ne mogu odmah primenjivati zbog ogromnog kapitala uloženog u prethodnu tehnologiju. Radi stvaranja pogodnosti za široko korišćenje novih tehnologija, uvođenje novih mogućnosti u postojeće sisteme mora da sačeka dok se ne pojave prihvatljivi standardi i za korisnike i za postojeću infrastrukturu. To znači da se prvo usklađuju politički, nacionalni i komercijalni interesi, pa tek onda tehnologija počinje da se koristi ili izlazi na tržište [6]. Navedena pojava naziva se „tehnološki rascep", a uslovljena je intenzivnim tehnološkim napretkom poslednjih godina. Na to se nadovezalo i vrlo brzo tehnološko zastarevanje tehničkih sredstava, koja su u širokoj primeni, zbog uvođenja novih tehnologija, izazivajući velike ekonomske i socijalne probleme globalnih razmera. Prevazilaženje „tehnološkog rascepa" zahteva postojanje sredstava koja će biti sposobna da na najbezbolniji način prevaziđu ove probleme. Tu leži odgovor na pitanje koji je značaj softverski definisanog radija. On je sredstvo kojim se prevazilaze ekonomske i socijalne komplikacije koje nastaju zbog uvođenja novih tehnologija, tehnika i doktrina u oblasti radiokomunikacija. Softverski definisan radio obezbeđuje najekonomičniji prelaz sa tehničkih sredstava stare generacije na tehnička sredstva nove generacije. Obezbeđuje ga obostrano, i sa stanovišta proizvođača i sa stanovišta potrošača, izbegavajući, ili bar minimizirajući, ekonomske posledice koje mogu da nastanu pri tom prelazu.

Na primer, poznato je da je način prenošenja televizijske slike u principu zastareo kod PAL sistema. Međutim, zbog rasprostranjenosti takvih prijemnika neizvodljivo je primeniti nove, savremenije tehnike prenosa već se mora ostati

na starim standardima. Ukoliko bi se, ipak, dogodilo da se uvede novi sistem nastali bi veliki problemi na tržištu i kod kupaca koji bi morali da menjaju svoje TV prijemnike, i kod proizvođača koji bi morali da ukidaju čitave proizvodne programe. To bi se moglo izbeći u radio-komunikacijama uvođenjem softverski definisanog radija koji bi bio sposoban da prelazak sa starog na novi sistem prenosa obavi na najbezbolniji mogući način, običnom promenom softverskog programa. Ta promena mogla bi se desiti, a da je potrošač i ne bude svestan.

Poznato je da su komunikacije od vitalne važnosti za izvođenje borbenih dejstava, i savremeni rat se ne može zamisliti bez dobro organizovane komunikacione mreže. Druga bitna karakteristika jeste postojanje vojne komunikacione opreme različitih standarda, kvaliteta i tehnologija. Takođe, karakteristično je da je to, uglavnom, retko korišćena oprema kojoj nije istekao eksploatacioni vek već je, uglavnom, tehnološki zastarela. SDR ovde nalazi idealan prostor za iskazivanje svojih prednosti. On može da prevaziđe sve ove probleme, od sposobnosti premošćavanja tehnološkog jaza između novih i starih tehnologija, do toga da gotovo ne može zastareti, jer mu karakteristike ne zavise primarno od hardvera već od softvera. Sledeća prednost SDR-a jeste velika otpornost, kako na ometanje, tako i na radio-lociranje i prisluškivanje. U slučaju ometanja veze SDR vrlo lako menja modulacionu tehniku i opseg koji koristi. Samo jednom prostom komandom cela jedinica taktičkog nivoa može da promeni frekvencijski plan, da koristi potpuno drugu vrstu modulacione tehnike, druge kanale, druge pseudoslučajne sekvence, druge zaštitne kodove i ostalo.

Umesto zaključka

Navedena razmatranja pokazuju da ima smisla istraživati i pratiti trendove razvoja softverski definisanog radija. Time će se spremno dočekati vreme uvođenja ovih sistema u operativnu upotrebu.

Literatura:

[1] Simić, I., Zejak, A.: Softverski radio, Vojnotehnički glasnik 5/98, str. 574–582.

[2] Lackey, R. J., Umpal, D. W.: Speakeasy: The Military Software Radio, IEEE Comm. Mag., May 1995., pp. 56–61.

[3] Modular Multifunction Information Transfer System Forum, Prospectus http://www.mmitsforum.org

[4] Software Defined Radio Forum, HomePage: http://www.sdrforum.org

[5] Mitola, J.: Technical Challenges in the Globalization of Software Radio, IEEE Comm. Mag., February 1999., pp 84–89.

[6] Margulies, A., Mitola, J.: Software Defined Radios: A Technical Challenge And A Migration Strategy, Proceedings of IEEE ISSSTA '98., Sun Sity, South Africa, 1998., pp 551–556.

[7] Šunjevarić, M., Savić, D.: Jedna realizacija GMSK modulatora, XLIII konferencija ETRAN-a, Zlatibor, septembar 1999.

Borivoje Veljanovski,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd
Dr Miomir Kalezić,
dipl. inž.
Jugoimport – SDPR,
Novi Beograd
Dr Vencislav Grabulov,
dipl. inž.
Mr Milutin Nikačević,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

PRIMENA LEGURA ALUMINIJUMA U SREDSTVIMA NAORUŽANJA*

UDC: 669.715:629.7:623.438:623.4:
623.44:624.21/.8:629.12(047)=861

Rezime:

Zahvaljujući svojoj specifičnoj čvrstoći, plastičnosti, žilavosti loma i korozionoj otpornosti, legure aluminijuma se masovno primenjuju u proizvodnji sredstava naoružanja i vojne opreme. Nove tehnologije i intenzivni radovi u toj oblasti omogućili su zamenu čeličnih delova u razvoju i proizvodnji savremenih borbenih vozila, raketa i municije, borbenih vazduhoplova, ratnih brodova, inžinjerijskih mostova i sl. Dat je prikaz tipova i karakteristika osnovnih aluminijumskih legura (serija 2xxx, 5xxx, 6xxx i 7xxx), vrste poluproizvoda (ploče, limovi, profili, otkovci, odlivci), tehnologije njihovog oblikovanja i tendencije razvoja u oblasti legura aluminijuma visoke čvrstoće.

Ključne reči: legure aluminijuma, sredstva naoružanja, tendencije razvoja, primena, borbena vozila, vazduhoplovi, municija, rakete, brodovi, mostovi.

APPLICATION OF ALUMINIUM ALLOYS FOR MILITARY PURPOSES

Summary:

Owing to their strength-to-weight ratio, plasticity, fracture toughness and corrosion resistance, aluminium alloys are widely applied in military industry. New technologies and intensive activity in this field enabled replacement of steel parts by aluminium alloys in development and production of modern fighting vehicles, missiles and ammunition, fighter aircrafts, chips of war, floating bridges, etc. The characteristics of basic aluminium alloys (types 2xxx, 5xxx, 6xxx and 7xxx) and types of semimanufactures products (plates, sheets, profiles, forgings, castings) are presented as well as technologies of their forming and trends in development of high-strength aluminium alloys.

Key words: aluminium alloys, arms, trends in development, application, fighting vehicles, aircrafts, ammunition, missiles, ships, bridges.

Uvod

Savremena sredstva naoružanja i vojne opreme imaju izvanredne taktičko-tehničke i borbeno-eksploatacione karakteristike u svim uslovima upotrebe: visoku pokretljivost i nosivost, zahtevanu efikasnost dejstva, potrebnu sigurnost i pouzdanost, malu masu i dug vek trajanja. Navedene karakteristike mogu se ostvariti jedino ako se za njihovu izradu koriste materijali visoke čvrstoće i plastičnosti, velike otpornosti prema lomu u statičkim i dinamičkim uslovima, koro-

* Članak je preuzet iz časopisa NTP 3/99.

zione postojanosti i otpornosti prema korozionom zamoru, naponskoj koroziji i interkristalnoj koroziji. Pored toga, materijali treba da imaju što je moguće manju masu i da su tehnološki pogodni za oblikovanje. Razume se da navedeni skup međusobno protivrečnih karakteristika nije moguće pronaći u jednom materijalu, pa se moraju koristiti metali i legure i odgovarajuće tehnologije kojima se obezbeđuje optimalni spoj svojstava za različite namene. Legure aluminijuma imaju povoljan odnos čvrstoće i specifične mase, dobra antikoroziona svojstva, osobine im se poboljšavaju u uslovima eksploatacije na niskim temperaturama i imaju visoku plastičnost ili čvrstoću, uz velike mogućnosti podešavanja međusobnog odnosa ove dve karakteristike legiranjem, hladnom deformacijom i termičkom obradom.

Praktično sve komercijalne Al-legure primenjuju se u sredstvima naoružanja. Oštri zahtevi i visoke performanse pojedinih sistema naoružanja zahtevali su razvoj novih legura specifičnih karakteristika. Takve legure su dobijene, pre svega, iz sistema Al-Zn-Mg, Al-Zn-Cu, Al-Li-Mg, Al-Cu-Mg-Ni-Mn-Si-Fe i Al-Mg-Mn. Zavisno od osnovne namene, mogu se koristiti legure visoke čvrstoće serije 7xxx zatezne čvrstoće $\approx$ 750 MPa (za delove klasičnih i raketnih projektila) ili legure visoke čvrstoće i dobre zavarljivosti serije 5xxx i 7xxx (za oklopna tela borbenih vozila) ili legure srednje čvrstoće i dobre plastičnosti serije 2xxx (za otkovke potpornih točkova, elemente hodnog dela i delove motora borbenih vozila) ili legure visoke plastičnosti serije 1xxx, 5xxx i 6xxx (za delove opreme i bojne glave raketnih i artiljerijskih projektila). Za izradu sredstava naoružanja aluminijumske legure se koriste u obliku tankih i debelih limova (platiranih i neplatiranih), presovanih i vučenih profila i šipki, otkovaka i odlivaka [1–3].

Istraživanje i razvoj novih sistema naoružanja i vojne opreme uslovljeni su mogućnostima istraživanja i razvoja novih materijala i tehnologija, a posebno u oblasti lakih legura specifičnih karakteristika. Za njihovo dobijanje se, pored klasičnih postupaka, sve češće primenjuju metalurgija praha, tehnologija kompozita i još neke tehnologije.

U tabeli 1 prikazani su osnovni podaci za aluminijumske legure koje se najčešće koriste za izradu delova naoružanja i vojne opreme u armijama Francuske, SAD i Velike Britanije [4, 5].

Legure aluminijuma prikazane u tabeli 1 koriste se u proizvodnji vazduhoplova, oklopnih borbenih sredstava, oruđa i oružja, municije i raketa, mostova, inžinjerijske opreme i brodova.

Legure aluminijuma u vazduhoplovstvu

Savremeni borbeni vazduhoplovi izloženi su visokim opterećenjima tokom leta, posebno u pojedinim režimima i manevrima. Opterećenje je promenljivo, sa učestanostima koje zavise od tipa letelice i njenih karakteristika. Stoga je u projektovanju vazduhoplova neophodno voditi računa o zamornom veku delova pri niskocikličnom i pri visokocikličnom opterećenju.

Pored toga, posebnu pažnju treba posvetiti problemima aerodinamičkog zagrevanja pri supersoničnim brzinama. Za izradu borbenih vazduhoplova koriste se legure aluminijuma serije 2xxx (2017, 2024, 2014) u obliku limova i profila. Ove legure imaju relativno visoku čvrstoću i dobru plastičnost, imaju i dobru otpor-

Tabela 1

Osnovni podaci o najčešće korišćenim legurama aluminijuma

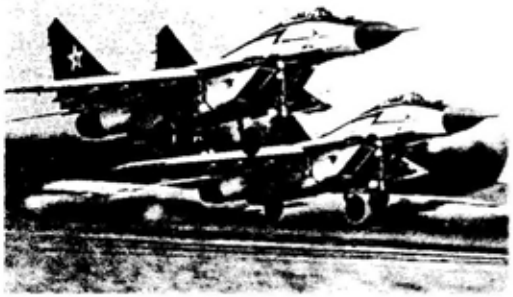
Sistem	Oznaka	Hemijski sastav						Prosečne mehaničke osobine		
	AA	Zn	Cu	Mg	Mn	Si	Cr	R_m, (MPa)	R_{p02}, (MPa)	A_5, (%)
Al	1050							120	80	11
Al-Cu-Mg	2014		4,5	0,6	0,8	0,8	0,1	420	280	18
	2017		4,0	0,6	0,7			420	280	18
	2024		4,4	1,5	0,6			460	320	18
	2030		4,0	0,8	1,0	Pb = 1,0		420	280	12
Al-Mg	5052			2,5			0,25	200	100	20
	5083			4,5	0,8			300	140	18
	5086			4,0	0,5		0,15	270	120	22
	5754			3,0	0,3			220	100	23
	5056			5,0	0,2		0,15	280	120	15
	AlMg6Mn (GOST)			6,5	0,7			320	160	16
Al-Mg-Si	6060			0,5		0,5		220	170	14
	6061		0,3	1,0		0,6	0,2	300	270	13
	6081		0,3	0,8	0,3	0,9		320	280	14
	6082			0,8	0,8	1,1		320	280	12,5
Al-Zn-Mg	7005	4,5		1,4	0,5		0,15	380	320	12
	7039	4,0		3,0	0,3		0,3	450	370	12
	7007	6,5		2,0	0,4		0,2	510	460	12
Al-Zn-Mg-Cu	7075	5,6	1,6	2,5			0,25	540	480	10
	7079	4,3	0,6	3,3	0,2		0,2	530	460	14
	7178	6,8	2,0	2,7			0,25	600	530	9
	7001	7,4	2,1	3,0				630	570	9
	7049	7,7	1,6	2,3			0,22	640	570	10
	7050	6,2	2,3	2,3	0,1			530	460	11
Al-Li-Mg	8090		1,2	0,75	Li = 2,5			420	310	9
	8091		2,9	0,8	Li = 2,5			600	550	10
Al-Si-Mg	356			0,3		7,0		280	200	6
	332		1,0	1,0	Ni = 2,5	12,0		260	220	3
	360			0,5		9,5		290	240	6

nost na zamor, stvaranje i prostiranje zamorne prsline [6].

Da bi se poboljšala krutost i čvrstoća strukture aviona, razvijaju se legure sistema Al-Li, koje imaju manju specifičnu masu i višu granicu razvlačenja od legura tipa duraluminijuma. Limovi od Al-Li legura mogu se spajati zavarivanjem, što bitno olakšava proizvodnju i povećava strukturalnu otpornost delova [7, 8].

Tako su na ruskom avionu MiG-33 prednji deo trupa i kabina pilota izrađeni od Al-Li limova spojenih zavarivanjem.

Poluproizvode, koji se koriste za izradu delova u vazduhoplovstvu, mogu da izrađuju samo ovlašćeni i atestirani proizvođači, sa potpunom kontrolom kvaliteta tokom svih faza tehnološkog procesa. Poluproizvodi moraju imati propisan hemijski sastav, metalurške i mehaničke osobine, a posebno se proveravaju stanje površine i eventualno prisustvo grešaka koje mogu da utiču na funkciju i bezbednost delova vazduhoplova.



Sl. 1 – Prednji deo trupa novog ruskog borbenog aviona MiG-33 izrađen je od zavarenih Al-Li limova

Oklopna borbena sredstva

Poslednjih decenija u razvoju i modernizaciji oklopnih borbenih sredstava intenzivno se primenjuju legure aluminijuma. Naime, zbog zahteva za pokretljivošću, plivanjem, vazdušnim prenošenjem i nosivošću, potrebno je koristiti lake materijale visoke čvrstoće pogodne za oblikovanje i zavarivanje. Za izradu kupola, oklopnih tela, potpornih i oslonih točkova, delova motora i dopunske balističke zaštite, koriste se legure serije 5xxx (5086, 5083) i 7xxx (7004, 7039) u obliku tankih i debelih limova, profila, otkovaka i odlivaka od Al-Si-Mg legura [1,9–11].

Pitanje ukupne mase jedan je od ključnih problema u projektovanju borbenih vozila. Napredak u tehnologiji protivoklopnih sredstava, i njihovih performansi probojnosti, doveo je do zahteva za debljim oklopom i prouzrokovao povećanje mase oklopnog tela i kupole. Razvoj u domenu materijala i njihovih zaštitnih svojstava doveo je do smanjivanja ove mase, ali se trka između oklopa i protivoklopnih sredstava i dalje nastavlja. Većina svetskih proizvođača ne navodi dovoljno pouzdane podatke o performansama upotrebljenih materijala i zaštitnim svojstvima realizovanih rešenja. Uglavnom se navodi da je oklop složen, poboljšan, laminiran ili specijalan. Oklop, inače, čini oko 45% ukupne mase tenka, od čega je 75% udeo kupole. Nekada se za izradu oklopa koristio isključivo čelik, a danas se primenjuju čelik, legure aluminijuma, keramika i kompoziti [12].

Jedna od metoda za ocenu relativne efikasnosti oklopne zaštite zasniva se na upoređivanju površinske mase (masa/jedinična površina) čeličnog valjanog oklopa zadatog nivoa zaštite, od dejstva izabranog projektila sa površinskom masom određenog tipa oklopa istog nivoa zaštite. Taj odnos naziva se masena efektivnost (ME).

Aluminijumski oklop koristi se prvenstveno za zaštitu borbenih vozila od streljačke municije i parčadi artiljerijskih projektila (pre šezdesetih godina za to je korišćen valjani homogeni čelik sa 320 HB do 380 HB). Na američkom borbenom vozilu pešadije M113 primenjena je Al-Mg-Mn legura 5083 tvrdoće 75 HB [9] (koja daje slabiju zaštitu od projektila velike udarne brzine, a bolju zaštitu od parčadi). Familija Al-Zn-Mg legura serije 7xxx obrađuje se termički (na tvrdoću do 150 HB). Ove legure su osetljive na

Tabela 2

Masena efikasnost lakih oklopa pri upravnom dejstvu pancirnog projektila 7,62 mm

Tip oklopa	Specifična masa (kg/m^3)	Površinska gustina (kg/m^2)	Masena efektivnost
Čelik			
380 HB	7830	114	1.00
Čelik visoke tvrdoće (550 HB)	7850	98	1.16
Dvostruka tvrdoća 600–440 HB	7850	64	1.78
Aluminijum			
Al-legura 5083	2660	128	0.89
Al-legura 7039	2780	106	1.08
Al-legura 2519	2807	100	1.14
Laminati od staklenih vlakana			
E-staklo	2080	115	0.74
S-staklo	2045	93	1.23
Oklop obložen keramikom			
Al_2O_3 (AD 90)	3560		
Al_2O_3 + Al-legura 5083	3125	50	2.28
Al_2O_3 + Al-legura 7020	3200	42	2.75
Al_2O_3 + laminat E-staklo	2556	46	2.48
Al_2O_3 + laminat Kevlara	2000	38	3.00
Bor-karbid	2450		
Bor-karbid + Al-legura 6061	2564	35	3.26
Titanijum-diborid	4450		

naponsku koroziju. ME im je do 1,4 što omogućava znatnu uštedu u masi u odnosu na čelični oklop. Familija oznake 2xxx nije osetljiva na naponsku koroziju, ali je nepogodna za proces zavarivanja. Ugradnjom čeličnog oklopa sa spoljne strane ploča od Al-legura, povećava se nivo zaštite.

Kod lakog oklopa obloženog keramikom spoljašnji tvrdi sloj (keramika) razbija projektil, a unutrašnji sloj apsorbuje kinetičku energiju. Tvrdoća keramike je do 3000 HV (čelika do 750 HV), dok masena efektivnost iznosi 2 do 3.

Masena efikasnost čeličnih oklopa visoke čvrstoće je manja pri zaštiti od dejstva municije kalibra 14,5 mm nego od kalibra 7,62 mm. Za ploče od Al-legure odnos tih veličina je obrnut.

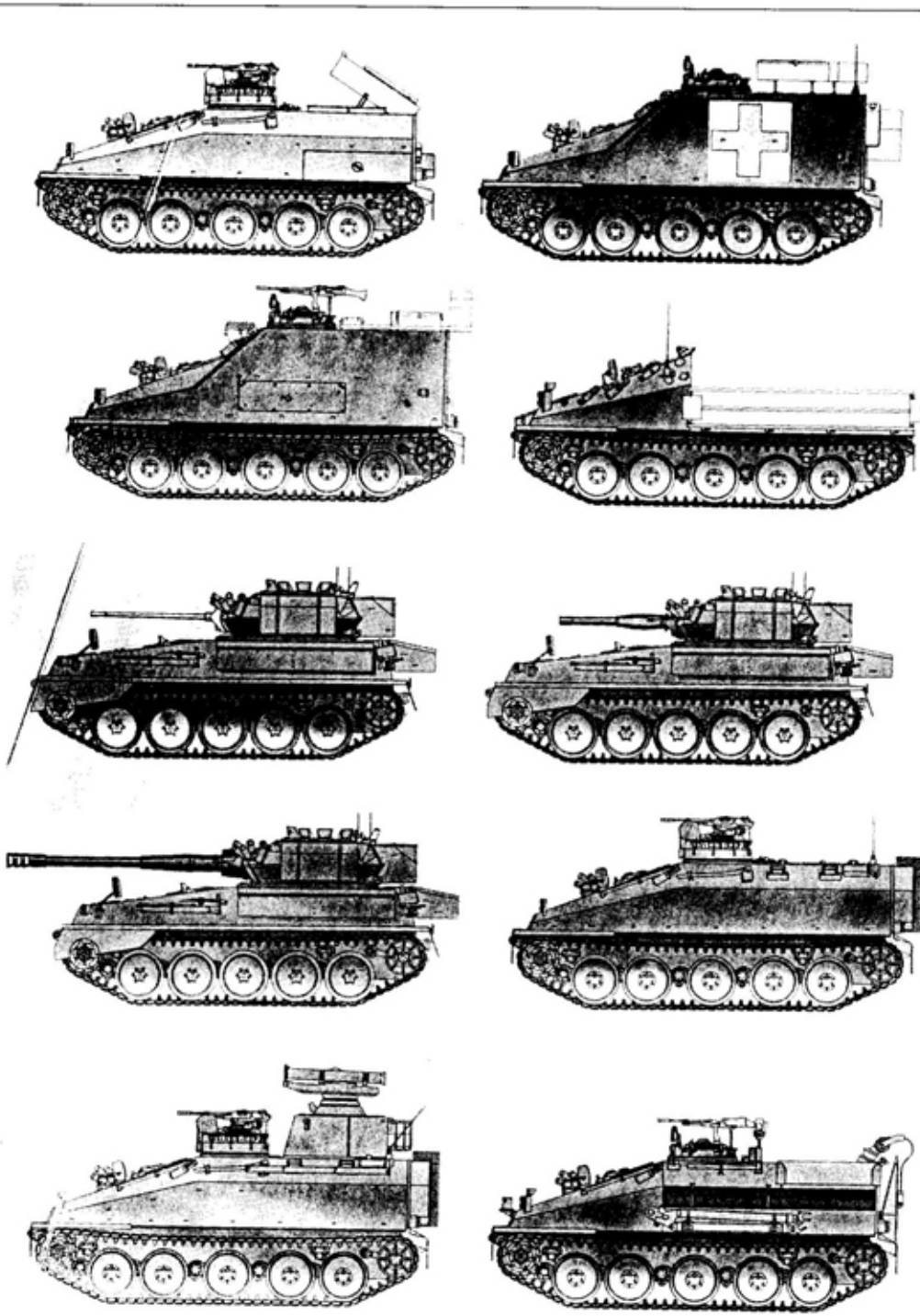
Masena efikasnost keramikom obloženih oklopa slična je za oba kalibra. Materijal iza keramike treba da bude tanak i deformabilan, sa zazorom do osnovnog oklopa. ME za Al-legure raste pri smanjenju nagiba oklopa, a za keramike se smanjuje. Stoga pri vrlo malim uglovima nagiba ploče od Al-legure daju bolju zaštitu nego keramike.

Osim za američko vozilo M113, čija su kupola i oklopno telo izrađeni od legura aluminijuma, i za familiju engleskih vozila Scorpion masovno se koriste aluminijumske legure [6]. U ovoj familiji su laki lovac tenkova sa topom kalibra 90 mm, izviđačko vozilo naoružano topom 30 mm, raketni lovac tenkova sa protivoklopnim raketama Swingfire, laki raketni sistem za protivvazdušnu odbranu, komandno vozilo, ambulantno vozilo, vozilo za izvlačenje i transportno vozilo (sl. 2).

Aluminijumske legure primenjene su i na belgijskim, švajcarskim i francuskim borbenim vozilima pešadije.

Aluminijumske legure tipa silumina masovno se koriste za izradu delova motora za borbena vozila (karter, blok, glava, poklopac, korito, pumpe). Klipovi motora velike snage rade se od otkovaka aluminijumske legure 7075 [10].

U razvoju novih oklopnih borbenih sredstava i dalje se široko primenjuju legure aluminijuma. Osim poluproizvoda dobijenih klasičnim tehnologijama oblikovanja, intenzivno se radi na osvajanju kompozitnih materijala sa aluminijumskom osnovom, višeslojnih spojeva aluminijuma i čelika i materijala dobijenih metalurgijom praha za limove poboljšane balističke zaštite.

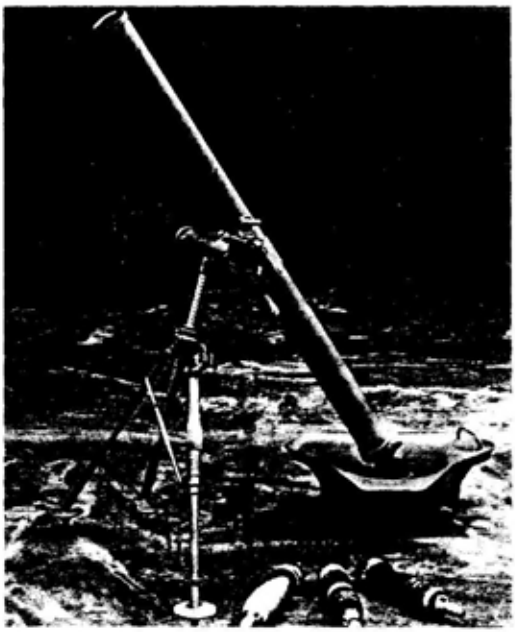


Sl. 2 – Britanska familija oklopnih vozila različite namene na unificiranoj šasiji vozila SCORPION

Oružja i oruđa

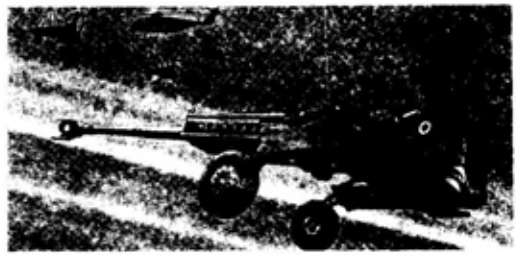
Jedan od osnovnih zahteva u razvoju sredstava pešadijskog naoružanja je da se obezbedi visoka pouzdanost i mala masa sistema. Zbog toga se za izradu delova pištolja, automata, pušaka, puškomitraljeza, mitraljeza i bacača granata primenjuju otkovci, profili i limovi. Tipični primeri su usadnik pištolja, okviri za municiju, nastavci na cevi, prigušivači, nožice, itd.

U poslednje vreme se za izradu podloga minobacača kalibra 60 mm i 81/82 mm koriste otkovci od aluminijumske legure visoke otpornosti i čvrstoće. Time se, uz potrebne karakteristike na vatrenom položaju, obezbeđuje mala masa sistema i omogućava povećavanje borbenog kompleta municije koji prenosi posluga minobacača [13], (sl. 3).



Sl. 3 – Podloge savremenih minobacača kalibra 60 mm i 81/82 mm izrađene su od Al-legura visoke otpornosti

U razvoju američke vučene haubice kalibra 155 mm M198, jedan od najvažnijih zahteva bio je da se obezbedi mogućnost prenošenja helikopterima nosivosti



Sl. 4 – Donji deo lafeta i krakova lafeta engleske haubice 155 mm LTH izrađeni su od Al-legure

do 70 000 N. Zbog toga je oruđe, namenjeno za opremanje američkih mornaričkih i kopnenih snaga za brze intervencije, izrađeno sa velikim brojem delova od aluminijuma i njegovih legura. To je prvo artiljerijsko oruđe vatrene podrške sa aluminijumskim donjim lafetom (zavarenim od dva odlivka), oslonom pločom za gađanje (zavareni limovi) i krakovima lafeta (savijeni i zavareni kutijasti nosači). Na taj način je obezbeđeno da masa oruđa bude oko 7000 kg i ispunjen zahtev naručioca u pogledu aerotransportabilnosti.

Na sličnom principu, uz zahtev da se što je moguće više smanji ukupna masa oruđa, projektovana je nova engleska vučena haubica 155 mm LTH. Korišćenjem aluminijumskih legura visoke čvrstoće za izradu donjeg lafeta, krakova lafeta i još nekih delova, izrađeno je oruđe nove koncepcije (kombinacija haubice i minobacača) čija je masa na vatrenom položaju manja od 4000 kg [14], (sl. 4).

Primenom aluminijumskih legura u proizvodnji artiljerijskih oruđa vatrene podrške, obezbeđuje se ispunjavanje jed-

nog od osnovnih taktičko-tehničkih zahteva u razvoju novih sistema tog tipa. Naime, potrebno je da se obezbede visoka taktička i strategijska pokretljivost i, u najvećoj mogućoj meri, olakšaju sve operacije sa oruđem na vatrenom položaju i u njegovoj pripremi za otvaranje vatre.

Municija i rakete

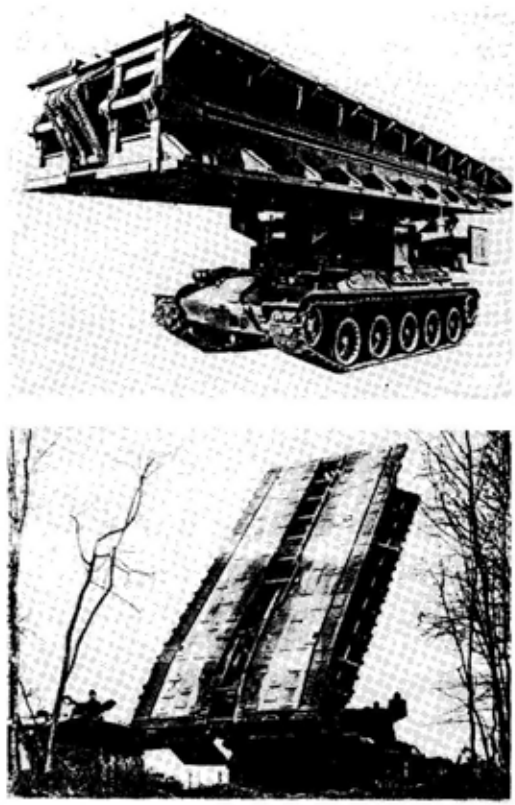
Zbog potencijalne opasnosti po poslugu i posadu, municija i rakete moraju biti potpuno sigurni i bezbedni pri rukovanju, manipulaciji i lansiranju iz oruđa. Ukoliko se radi o prenosnim sistemima, na primer o ručnim protivoklopnim raketnim lanserima, onda se od njih zahteva i mala masa, pa to nalaže korišćenje aluminijumskih legura visokih mehaničkih karakteristika. Većina zemalja u svetu razvila je takve legure specifičnih svojstava čiji sastav i karakteristike nisu u potpunosti poznati. Radi se o materijalima visoke čvrstoće i zadovoljavajuće otpornosti prema lomu i plastičnosti. To su, najčešće, legure Al-Zn-Mg-Cu-Cr-Mn-Zr (francuska A-Z8GU spec, američka 7049A, ruske V-93 i V-96). Koriste se za izradu komora, pregradnih zidova i mlaznica raketnih motora, tela i krilaca stabilizatora, kapa i kontejnera i otpadajućih segmenata na potkalibarnim projektilima. Poluproizvodi su presovane šipke koje se kovanjem dalje prerađuju u željene oblike. Gotovi delovi se štite anodnom oksidacijom, čime se poboljšavaju antieroziona i antiabraziona svojstva [15].

Kao i u izradi delova za vazduhoplove, i u ovom slučaju se zahteva posebna kontrola kvaliteta, uz potpuno odsustvo prslina i krupnijih sekundarnih faza. Moraju biti poznati zamorni vek i koroziona postojanost pri dugotrajnom skladištenju, kao i otpornost na naponsku koroziju.

Mostovi i inžinjerijska oprema

Laki prenosni mostovi, bilo da se radi o varijanti pontona ili da su ugrađeni na vozila odgovarajuće nosivosti, neophodni su deo opreme inžinjerijskih jedinica svih armija. Pored osnovnog zahteva za malom masom i visokom otpornošću pri velikim opterećenjima, limovi i profili od aluminijumskih legura koji se koriste za izradu mostova moraju da imaju dobru zavarljivost. Zbog male mase delovi mostova su pogodni za manipulaciju i transport (sl. 5).

Za izradu inžinjerijskih mostova najčešće se koriste legure iz sistema 5xxx i 7xxx [1, 15].



Sl. 5 – Francusko vozilo guseničar AMX-30 sa mostom dvodelne konstrukcije

Brodogradnja

Mali ratni brodovi i minolovci se, zbog specifične namene, izrađuju uz najveće moguće korišćenje aluminijuma i njegovih legura. Osnovni razlozi su, pored nemagnetičnosti (samim tim i neosetljivosti na dejstvo vodenih i podvodnih mina sa magnetnim upaljačem), izrazito dobra antikoroziona svojstva, pre svega, legura iz sistema 5xxx i 6xxx. Kada se zahtevaju veće čvrstoće, koriste se legure sistema 2xxx i 7xxx, koje moraju biti platirane [1, 5, 15].

Veći ratni brodovi i topovnjače izrađeni su od čelika i aluminijumskih legura, koje se koriste za formiranje nadgrađa i palube. Za oba tipa ratnih plovila, delovi se izrađuju od poluproizvoda u obliku limova i profila, a za neke komponente koriste se odlivci i oblikovani limovi.

Zaključak

Legure aluminijuma specifičnih mehaničkih karakteristika nezamenljive su u projektovanju i proizvodnji savremenih sredstava naoružanja i vojne opreme. Zahvaljujući velikim mogućnostima metalurške i dalje prerade deformacijom, uključujući i termičku obradu, mogu se optimizovati svojstva legure potrebna za pojedine aplikacije u datim uslovima upotrebe. Veliki broj zemalja u svetu je osposobljen za razvoj i proizvodnju aluminijumskih legura visokih mehaničkih karakteristika. Istraživanje i razvoj u oblasti tih legura nerazdvojni su deo procesa razvoja budućih sistema naoružanja i vojne opreme, od kojih će se zahtevati sve bolje i bolje performanse. Radi toga neophodno je intenzivirati započeta istraživanja u oblasti kompozitnih materijala sa aluminijumskom osnovom, višeslojnih spojeva aluminijuma i čelika i materijala dobijenih metalurgijom praha za limove poboljšane balističke zaštite.

Imajući u vidu moguća ograničenja vojnih budžeta u svetu, nivo troškova uloženih u osvajanje novih materijala i tehnologija i potencijalno smanjenje tržišta za kupovinu sredstava naoružanja i vojne opreme, realno je očekivati masovni transfer vojnih tehnologija u civilni sektor, posebno u domenu primene legura aluminijuma visoke čvrstoće. Neki od domena koji su posebno interesantni su železnički transport, automobilska industrija, brodogradnja i civilni vazduhoplovi.

Literatura:

[1] ASM handbook – Properties and Selection, vol. 2, 5 TH Ed. – 1998.

[2] Zhou, J., Duszczyk, J. Effect of extrusion conditions on mechanical properties of Al-20Si-3Cu-1Mg alloy. Journal of Materials Science, 1991, vol. 26, no. 14, p. 3739–3747.

[3] Aluminium, vol. II, Design and Application, Ed. By K. R. Van Horn, ASM, Metals park, Ohio, 1967.

[4] Veljanovski, B. V. Razvoj aluminijumskih legura visoke čvrstoće. intd. dok. deo 1–4, VTI, 1986.

[5] ASM handbook – Materials Characterization, 5 Th Ed. – 1988.

[6] Alcan – Division of British Alcan Aluminium limited, Data sheet, 1983.

[7] Prasad, N. E., Kamat, S. V., Malakondiah, G., Kutumbarao, V. V. Fracture Toughness of Quaternary Al-Li-Cu-Mg Alloy under Mode I, II i III loading conditions. Metallurgical and materials transactions, 1994, vol. 25A, no 11, p. 2439–2452.

[8] Wu, X. J., Wallace, W., Raizenne, M. D., Koul, A. K. The Orientation Dependace of Fatigue-Crack Qrowth in 8090 Al-Li Plate. Metallurgical an Materials Transactions, 1994, vol. 25A, no. 3, p. 575–588.

[9] Park, D. S., Kong, B. O., Nam, S. W. Effect of Mn-Dispersoid of the Low-cycle fatigue Life of Al-Zn-Mg Alloys, Metallurgical and Materials Transactions, 1997, vol. 28A, no. 7, p. 1547–1553.

[10] Kaczrowski, M. On the possibility of the Local heat tretment of age hardenable Al Si9 (Mg) Cas. Alloy. Aluminium, 1996, vol. 72, no. 5, p. 356–360.

[11] Creusot-loire industrie: Division mechanique speciallisee, prospekti.

[12] Stephans, J. R. Compositet Boots 21 ST – Centruy Aircraft Engines. advanced materials and processes, 4/90.

[13] Vektor – Vektor mortar system. Informacija proizvođača.

[14] Vsel-arments, the 155 mm ultralightweight field howitzer, tehnička informacija.

[15] Aluminium Alloys in Defence Equipment – Cegedur pechniey. tehnička informacija.

Mr Milovan Unković,
dipl. inž.
Tehnički opitni centar KoV,
Radovići, Tivat

JEDNA OD METODA ETALONIRANJA MJERAČA MODULACIJE MI 2305

UDC: 621.376.2/.3:53.089.6

Rezime:

U ovom radu opisan je originalan način etaloniranja mjerača modulacije MI 2305. Slijedljivost AM etaloniranja postignuta je korišćenjem tri sekundarna etalona. Slijedljivost FM etaloniranja osigurana je primjenom metode nula Besselovih funkcija.

Ključne riječi: mjerač modulacije, amplitudna modulacija, frekvencijska modulacija, slijedljivost.

METHOD OF CALIBRATING MODULATION METER MI 2305

Summary:

In this article an original way of calibrating the MI 2305 modulation meter is cescribed. AM traceability is achieved using tree secondary etalons. FM traceability calibrating is achieved by using the Bessel zero method.

Key words: modulation meter, amplitude modulation, frequency modulation, traceability.

Uvod

Dva najpoznatija komercijalna mjerača modulacije su HP 8901A i MI 2305. Oba su već više od petnaest godina u proizvodnim programima proizvođača. Mjerač modulacije HP 8901A posjeduje ugrađene kalibratore AM i FM koji olakšavaju baždarenje ovog mjernog sredstva uz zadovoljavajuću nesigurnost. Oba kalibratora daju signal noseće frekvencije $f_n = 10$ MHz i modulišuće frekvencije $f_m = 10$ kHz. Izlaz iz AM kalibratora je amplitudski modulisan signal sa dubinom modulacije $m = 33{,}3\% \pm 0{,}1\%$, dok je izlaz iz FM kalibratora frekvencijski modulisan signal vršne devijacije 33 kHz.

Mjerač modulacije MI 2305 ne posjeduje unutrašnje kalibratore. Ako laboratorija u kojoj se MI 2305 baždari posjeduje HP 8901A, onda se kalibratori ovog mjerača koriste za baždarenje MI 2305. Proizvođač MI 2305, engleska firma Markoni, posjeduje kalibrator modulacije koji generiše 108 različitih dubina modulacije i 307 devijacija frekvencije. Nažalost, radi se o standardu firme koji nije dostupan u slobodnoj prodaji.

U ovom radu prikazane su metode baždarenja mjerača modulacije MI 2305 u slučaju kada nije dostupan mjerač modulacije HP 8901A sa svojim internim kalibratorima modulacije. Metode koje su opisane koriste se u metrološkoj la-

boratoriji TOC-KoV u Tivtu. Navedene metode provjere tačnosti mjerenja amplitudne i frekvencijske modulacije mjeračem MI 2305 omogućavaju prihvatljivu nesigurnost mjerenja, tako da se uspješno ostvaruje jedan od osnovnih metroloških principa, princip slijedljivosti.

Definicije i oznake

Neka je dat nemodulisani VF noseći signal (pretpostavlja se da je $\Phi_0 = 0$):

$$u_0(t) = U_0 \cos\omega_0(t) \quad (1)$$

i modulišući signal:

$$u_m(t) = U_m \cos\omega_m(t) \quad (2)$$

Tada je AM signal dat izrazom:

$$u_{AM} = U_0 \cos\pi f_0 t + \frac{U_0 m}{2} \cos 2\pi (f_0 + f_m)t + \frac{U_0 m}{2} \cos 2\pi (f_0 - f_m)\, t \quad (3)$$

gdje je:

$u_{AM}(t)$ – trenutna vrijednost amplitudno modulisanog signala,

U_0 – amplituda nemodulisanog VF nosećeg signala,

U_m – amplituda modulišućeg signala,

$m = U_m/U_0$ – faktor AM (izražen u procentima se zove dubina modulacije),

ω_m – kružna frekvencija modulišućeg signala ($\omega_m = 2\pi f_m$)

ω_0 – kružna frekvencija nosećeg signala,

t – vrijeme.

Frekvencijski spektar AM signala sadrži tri komponente: noseći signal amplitude U_0 na frekvenciji f_0, viši bočni opseg U_{VBO} na frekvenciji $(f_0 + f_m)$ i niži bočni opseg U_{NBO} na frekvenciji $(f_0 - f_m)$.

FM signal dat je izrazom:

$$u_{FM} = U_0 J_0(m_f) \cos\omega_0 t + U_0 \sum_{n=1}^{\infty} J_n(m_f) \left\{ \cos\left[(\omega_0 - n\omega_m t)\, t + \frac{n\pi}{2} \right] + \cos\left[(\omega_0 + n\omega_n)t + \frac{n\pi}{2} \right] \right\} \quad (4)$$

gdje je:

In – Besselova funkcija,

m_f – faktor modulacije.

Za dati faktor modulacije m_f i svaku izabranu vrijednost n, Besselova funkcija je konstantna. Izraz (4) ima diskretan neograničen spektar. On se sastoji od nosioca, čija je amplituda $U_0 J_0(m_f)$ na frekvenciji ω_0, i beskonačnog niza komponenata na frekvencijama $\omega_0 - \omega_n$ i $\omega_0 + \omega_n$, čije su amplitude $U_0 J_n(m_f)$, $(n = 1, 2, 3, \ldots)$. Frekvencijski razmak između dvije susjedne komponente spektra je ω_m.

Tri važne osobine Besselovih funkcija su [1]:

$$J_{-n}(m_f) = (-1)^n J_n(m_f) \quad (5)$$

$$J_{n-1}(m_f) - J_{n+1}(m_f) = \frac{2n}{m_f} J_n(m_f) \quad (6)$$

$$\frac{dJ_n(m_f)}{dm_f} = -\frac{n}{m_f} J_n(m_f) + J_{n-1}(m_f) \quad (7)$$

Vrijednosti faktora modulacije (m_f odgovara argumentu Besselove funkcije) za koje amplituda nosećeg signala dobija vrijednost nule, date su u tabeli 1.

Devijacija frekvencije Δf se računa kao:

$$\Delta f = m_f \cdot f_m \quad (8)$$

Tabela 1

Vrijednosti faktora modulacije m_f

Red nule nosećeg signala	m_f
1	2,40
2	5,52
3	8,65
4	11,79
5	14,93
6	18,07
n (n > 6)	18,07 + π · (n – 6)

Provjera tačnosti mjerenja faktora AM

Postupak utvrđivanja tačnosti mjerenja faktora AM odvija se u nekoliko koraka.

Početni korak je određivanje grešaka mjerenja analizatora spektra kao ključnog mjernog sredstva koje se koristi pri provjeri tačnosti mjerenja faktora AM. Prvo se određuje tačnost mjerenja analizatora spektra HP 5868B na 30 MHz prema blok-šemi na slici 1, jer na toj frekvenciji radi sekundarni etalon – promjenljivi oslabljivač EATON 3232.

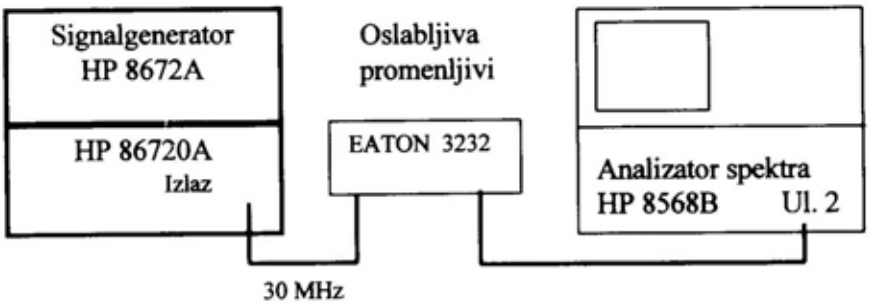
Zbog povećanog razlaganja analizator spektra radi u linearnom režimu (razlaganje ± 0,01 dB). Ispituje se tačnost mjerenja dubine modulacije 80% na nosećoj frekvenciji 12 MHz. Dubini modulacije 80% odgovara razlika od 7,94 dB između signala na osnovnoj frekvenciji i signala bočnog opsega.

Na promjenjivom oslabljivaču EATON prvo se postavi 0, a zatim 7,94 dB. Koristeći delta-funkciju analizatora spektra pronalazi se korekcioni koeficijent:

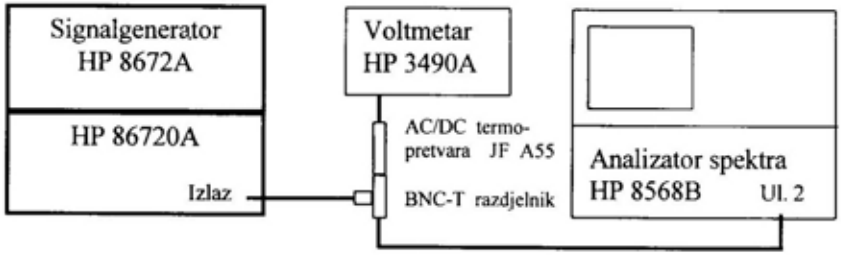
$$k = 7{,}94 - k_a \text{ (dB)} \qquad (9)$$

gdje je k_a razlika prikaza na analizatoru spektra kada je na EATON-u postavljena 0 dB i 7,94 dB.

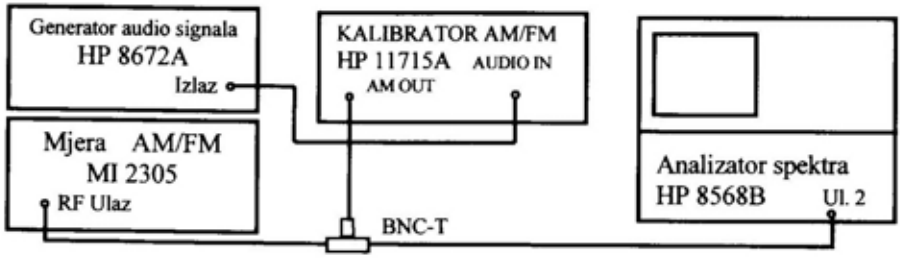
U sljedećem koraku utvrđuje se greška linearnosti amplitudno-frekvencijske karakteristike analizatora spektra prema blok-šemi na slici 2. Očita se DC napon sa AC/DC termopretvarača na 30 MHz. Zatim se ovaj napon održava konstantnim (pažljivim mjenjanjem izlazne snage signal-generatora) na f_n = 12 MHz i svim frekvencijama 12 MHz ± f_m na kojima se provjerava faktor AM. U svakoj tački (f_n i tačkama $f_n \pm f_m$) mjere se i bilježe odstupanja na HP 8568A u odnosu na nivo zabilježen na 30 MHz. Ove razlike su korekcioni faktori k_1. Na taj način vrši se korekcija greške linearnosti amplitudno-frekvencijske karakteristike analiza-



Sl. 1 – Određivanje greške mjerenja analizatora spektra na 30 MHz



Sl. 2 – Blok-šema povezivanja mjernih sredstava za provjeru amplitudno-frekvencijske karakteristike analizatora spektra



Sl. 3 – Blok-šema povezivanja mjernih sredstava za mjerenje dubine AM

tora spektra. Tačno pokazivanje analizatora spektra, kada se koriguje greška na 30 MHz i greška linearnosti, iznosi:

$$t = 7{,}94 \pm (k + k_1) \qquad (10)$$

Provjera tačnosti mjerenja dubine AM obavlja se prema blok-šemi na sl. 3.

Dubina modulacije mjeri se na analizatoru spektra (pri čemu se vrše korekcije) i na mjeraču modulacije MI 2035, a rezultati se upoređuju. Tako se utvrđuje greška mjerenja dubine AM mjeračem MI 2035.

Nesigurnost mjerne metode uključuje sljedeće greške korišćenih etalona:

– razlaganje analizatora spektra HP 8568B koje u linearnom režimu rada iznosi ± 0,01 dB ili ± 0,12%;

– greška amplitudno-frekvencijske karakteristike AC/DC termopretvarača JF 55 koja iznosi ± 0,25%;

– greška amplitudno-frekvencijske karakteristike AM/FM kalibratora HP 11715A koja za 50 Hz < f_m < 50 kHz iznosi ± 0,1%, a za 20 Hz < f_m < 100 kHz iznosi ± 0,25%;

– nesigurnost mjerenja oslabljivača EATON 3232 koja iznosi ± 0,01 dB ili ± 0,12%

Ukupna srednja kvadratna greška računa se kao:

$$\sigma = \pm \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2} \qquad (11)$$

i $\sigma = \pm 0{,}221\%$ za 50 Hz<f_m<50 kHz, odnosno $\sigma = \pm 0{,}318\%$ za 20 Hz<f_m <100 kHz. Ovoj grešci trebalo bi dodati grešku ponovljivosti mjerenja MI 2305 koja iznosi ± 0,02% za srednju vrijednost od pet mjerenja.

S obzirom na to da je najmanja deklarisana greška mjerenja AM mjera-

čem modulacije MI 2305 jednaka ± 1% ± 1 cifra za f_m = 1 kHz [2] (za ostale vrijednosti f_m, greška mjerenja je veća), mjerna metoda etaloniranja zadovoljava osnovne metrološke principe.

Slijedljivost prema vojnim primarnim etalonima i prema nacionalnim etalonima obezbjeđena je korišćenjem tri sekundarna etalona: AM/FM kalibratora, AC/DC termopretvarača i preciznog promjenjivog oslabljivača. Navedenom metodom provjerava se tačnost mjerenja AM, kada je m = 80%. Međutim, može se izabrati bilo koja dubina modulacije veća od 10% (ova granica je određena linearnim režimom rada analizatora spektra).

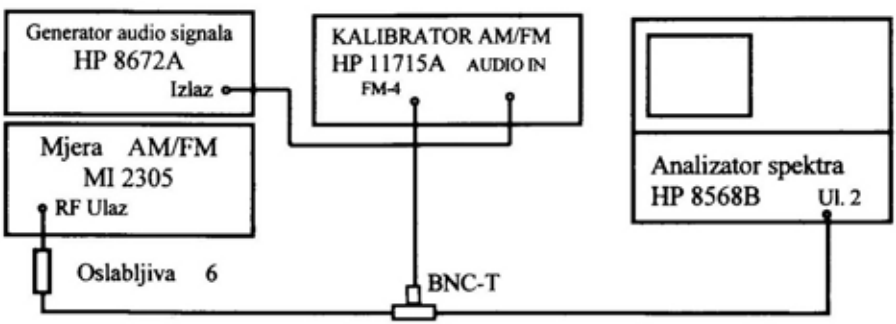
Provjera tačnosti mjerenja devijacije frekvencije

Mjerenje devijacije FM provjerava se metodom nula Besselovih funkcija, koristeći jednakost (8) i vrijednosti za m_f iz tabele 1. Blok-šema povezivanju mjernih uređaja za provjeru mjerenja devijacije FM prikazana je na slici 4.

Postupak mjerenja je sljedeći: na generatoru funkcija HP 3325A, koji se koristi kao generator audio signala, podesi se željena f_m. Ovaj signal se dovodi na AUDIO ulaz AM/FM kalibratora HP 11715A. Na izlazu FM-4 ovog kalibratora podesi se f_n = 100 MHz. Modulisani signal se vodi na testirajući mjerač AM/FM MI 2305 i analizator spektra HP 8568A. Ukoliko se na HP 3325A zada dovoljno mala amplituda izlaznog napona, a zatim se taj napon povećava, uočiće se smanjivanje nivoa nosećeg signala na analizatoru spektra. U jednom momentu noseći signal će se potpuno izgubiti i to je prva nula nosećeg signala kojoj odgovara m_f = 2,40. Korisno je (mada se u proračunima ne traži) zabilježiti amplitudu signala sa HP 3325A za koji se javlja nula nosećeg signala. Povećavajući nivo signala HP 3325A, ponovo će se javiti noseći signal. Daljim povećavanjem navedene amplitude noseći signal će se ponovo izgubiti (druga nula).

Analiza nesigurnosti mjerenja devijacije frekvencije metodom nula Besselovih funkcija mora biti vrlo koncizno izvedena, jer princip slijedljivosti nije izveden korišćenjem etalona propisne tačnosti koji su baždareni u metrološkim laboratorijama višeg stepena, već proizilazi iz prirode same metode.

Dvije su vrste grešaka koje se javljaju pri etaloniranju MI 2305 kao mjerača FM: greške koje nastaju zbog prirode



Sl. 4 – Blok-šema povezivanja mjernih uređaja za provjeru devijacije FM

primjenjene metode i greške koje potiču od samog uređaja koji se testira.

S obzirom na to da se devijacija računa po formuli (8), vrlo je važno da modulišuća frekvencija f_m signala koji proizvodi audio generator bude što tačnija. Ako je relativna greška ove frekvencije manja od $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ (što HP 3325A zadovoljava), tada se greška može zanemariti. Faktori koji utiču na veličinu faktora modulacije m_f su: dubina (u dB) na kojoj se gubi nosilac, FM izobličenja koja u mjerni sistem unose audio generator i AM/FM kalibrator i parazitna amplitudna modulacija.

Pažljivim mijenjanjem napona audio signala (korišćeni audio generator HP 3325A ima programabilnu mogućnost zadavanja napona u koracima 0,01 mV vršne vrijednosti) može se postići da nosilac nestane između 60 dB i 70 dB dubine u odnosu na maksimalni nivo. Koristeći formule (5), (6) i (7), a takođe i:

$$\frac{\Delta m}{m_f} = \frac{\Delta J}{\rho m_f} \qquad (12)$$

gdje je ΔJ relativna dubina (izražena u procentima) na kojoj se gubi nosilac, a ρ je gradijent od $J(m_f)$ u tački $J(m_f) = 0$, može se proračunati greška $\Delta m_f/m_f$ u zavisnosti od dubine nestanka nosioca. Ukoliko je poznata dubina A(dB) na kojoj se gubi nosilac, $\Delta J(\%)$ se računa iz obrasca $A = 20 \log 1/\Delta J$.

Proračunata relativna greška $\Delta m_f/m_f(\%)$ za razne vrijednosti dubine nestanka nosioca i za nule Besselovih funkcija prvog reda prikazana je u tabeli 2.

Ako se razmatraju nule drugog, trećeg, itd. reda, greške određivanja m_f se smanjuju. Tako, na primjer, ako se nestanak nosioca za nulu drugog reda javi na –60 dB, $\Delta m_f/m_f = 0{,}053\%$, a ako se posmatra nula trećeg reda $\Delta m_f/m_f = -0{,}043\%$. U obavljenim mjerenjima uvijek su posmatrane nule prvog reda, jer je za nule višeg reda potreban viši napon audio signala, a audio ulaz AM/FM kalibratora HP11715A ne dozvoljava signal čija je maksimalna vrijednost veća od 5V.

Tabela 2

Relativna greška faktora modulacije u odnosu na dubinu nestanka nosioca

Dubina nestanka nosioca (dB)	Greška $\Delta m_f/m_f$ (%)
50	–2,5635
55	–0,1426
60	–0,0801
65	–0,0450
70	–0,0253
75	–0,0143

U mjerenjima su za vrijednosti f_m od 1 kHz, 50 kHz i 250 kHz postignute dubine nestajanja nosioca od 75,3 dB, 63,5 dB i 61,5 dB, što odgovara relativnim greškama određivanja faktora modulacije od –0,0138%; –0,0535% i –0,0641%, respektivno.

Greške u proračunu frekvencijske devijacije nastaju zbog harmonijskog izobličenja u modulacionom signalu koji uslovljava promjenu vrijednosti faktora modulacije u tačkama u kojima nosilac postiže nulu. Slične greške javljaju se kada postoji parazitna AM.

Propisano FM izobličenje AM/FM kalibratora HP 11715A je ± 0,25%, dok je dozvoljeno FM izobličenje signala HP 3325A ± 0,06%, što je ukupno ± 0,085%. Koristeći tablice iz literature [3] pomjeraj nule Besselove funkcije u procentima iznosi $0{,}15 \cdot 0{,}085 = \pm 0{,}0128\%$.

Neželjena (parazitska) AM za izlaz iz AM/FM kalibratora manja je od

0,08%. Koristeći tablice iz literature [4] dobija se da je pomjeraj prve nule Besselove funkcije uslovljen neželjenom AM: $0,33 \cdot 0,08 = 0,0264\%$.

Ukupna nesigurnost mjerenja primjenom metode nula Besselovih funkcija iznosi:

$$\sigma_{F1} = \pm\sqrt{0,0073} = \pm\ 0,0854\% \qquad (13)$$

Ovoj nesigurnosti treba dodati greške koje nastaju od uređaja koji se testira MI 2305: izobličenje demodulisanog audio signala (tipično ± 0,06%), zaostala FM (što se može zanemariti) i greška ponovljivosti (za pet mjerenja iznosi ± 0,01), što daje:

$$\sigma_{F2} = \pm\sqrt{0,004} = \pm\ 0,0632\% \qquad (14)$$

Sabiranjem σ_{F1} i σ_{F2} dobija se ukupna nesigurnost metode etaloniranja MI 2305 za mjerenje frekvencijske modulacije:

$$\sigma_F = \sigma_{F1} + \sigma_{F2} = \pm\ 0,1486\% \qquad (15)$$

S obzirom na to da MI 2305 pri mjerenju FM najmanju grešku (± 0,5% ± 1 cifra) ima za $f_m = 1$ kHz (za ostale f_m greška mjerenja je veća) [2], greška metode etaloniranja je zadovoljavajuća.

Zaključak

Etaloniranje mjerača modulacije MI 2305 može se uspješno izvršiti i u metrološkim laboratorijama koje ne posjeduju mjerač modulacije HP 8901A. Provjera tačnosti mjerenja faktora AM može se vršiti modernim analizatorima spektra, ali je prethodno sekundarnim etalonima potrebno utvrditi faktore za korekciju grešaka ovog mjernog sredstva. Metoda nula Besselovih funkcija obezbjeđuje prihvatljivu nesigurnost mjerenja pri provjeri tačnosti mjerenja devijacije frekvencije mjeračem MI 2305.

Literatura:

[1] Stojanović, I.: Osnovi telekomunikacija, Građevinska knjiga, Beograd 1981.

[2] Modulation meter 2305, Marconi Instruments Ltd., Lit. No 46890–359, Issue 1, 12/93.

[3] Mitrinović, D. S.: Uvod u specijalne funkcije, Građevinska knjiga, Beograd 1975.

[4] Skinner, A. D.: Modulation measurements for 2305 modulation meter, Instrument application note from Marconi Instruments Ltd., No 50, Lit. No 46889-404F, 3/84.

Dr Slavko Pokorni,
pukovnik, dipl. inž.
Vojna akademija VJ,
Beograd

RUSKI KOMANDNO-INFORMACIONI SISTEMI PVO

Uvod

Analiza vojnih sukoba koji su se dogodili od Drugog svetskog rata do danas, a pogotovo u poslednjoj deceniji, jasno pokazuje da agresori vazduhoplovnim snagama daju glavnu ulogu u rešavanju ishoda sukoba. Već više od 50 godina svi ratovi i vojni sukobi započinjali su, po pravilu, iznenadnim napadom jakih vazduhoplovnih snaga, čije borbene mogućnosti neprekidno rastu. Istovremeno, razvijena su nova, veoma opasna sredstva za napad iz vazdušnog prostora, kao što su rakete, veoma precizne i velikog dometa, koje se lansiraju iz vazdušnog prostora, sa zemlje ili mora. Borbene karakteristike vazduhoplovnih snaga, kao što su: mobilnost, mogućnost da se brzo formira snažna grupacija snaga u bilo kom delu sveta, mogućnost da se postigne najveći stepen iznenađenja u preduzimanju vojnih operacija, i veliki udarni potencijal koji se višestruko povećao pojavom oružja visoke preciznosti, omogućavaju im da samostalno rešavaju taktičke, operativne i strategijske zadatke (pod strategijskim se podrazumeva postizanje konačnih ciljeva rata). Pored toga, agresoru obezbeđuju minimalne gubitke u ljudstvu, što se smatra izuzetno važnim. Navedene karakteristike dovele su do radikalnih promena u vođenju savremenih oružanih sukoba. To pred državu, potencijalnu žrtvu agresije, odnosno državu koja želi da očuva svoj suverenitet, nameće potrebu za jačanjem odbrane od napada iz vazdušnog prostora, odnosno formiranjem adekvatnog sistema protivvazdušne odbrane (PVO). Kao što uloga vazduhoplovnih snaga ima strategijski značaj u ostvarenju ciljeva agresora, tako PVO ima strategijsku ulogu u osujećivanju namera agresora. Uloga PVO ima značaj i kao faktor odvraćanja i kao glavni element oružanih snaga u odupiranju agresiji. Malu efikasnost PVO branilac teško može da nadoknadi većim grupacijama kopnenih snaga.

Integralni sistem PVO

Vatreni sistemi za borbu protiv sredstava za napad iz vazdušnog prostora (raketni sistemi PVO, lovačka avijacija) veoma su skupi, a njihove mogućnosti, iako velike nisu takve da se jednim sistemom može rešiti problem PVO. Radi toga potrebno je na određenom prostoru objediniti različite snage i sredstva u jedinstven ili integralni sistem PVO i snabdeti ga potrebnim informacijama, tako da svako od vatrenih sredstava bude

pravovremeno iskorišćeno na najbolji način, u skladu sa svojom namenom.

Pravovremeno snabdevanje informacijama složenog sistema kao što je to sistem PVO, i efikasno upravljanje brojnim naoružanjem u uslovima kada protivnik napada iz vazdušnog prostora velikim brojem sredstava po velikom broju ciljeva istovremeno, odavno se nemože ostvariti na manuelan način. Kad god procese snabdevanja informacijama (prikupljanje, obrada, interpretacija i dostavljanje podataka izvršiocima) nemože da obavi čovek, ili ih obavlja veoma neefikasno, te procese je potrebno automatizovati. U oružanim snagama ovaj problem se pojavio pedesetih godina, prvenstveno u PVO. Rešavan je uvođenjem sredstava i sistema automatizacije, koji se danas nazivaju komandno-informacionim sistemima (KIS), a zasnivaju se na najsavremenijoj računarskoj i drugim tehnologijama i predstavljaju mozak i nervni sistem sistema PVO.

PVO je složen organizaciono-tehnički sistem koji čine povezane snage i sredstva za borbu sa sredstvima za napad iz vazdušnog prostora i njihovo pravovremeno otkrivanje. Njegovom projektovanju pristupa se kao projektovanju sistema sa podsistemima.

Znatno povećanje efikasnosti sistema PVO postiže se opremanjem snaga savremenim sredstvima za prikupljanje podataka, uništavanje protivničkih napadnih sredstava (vatreni – oružni sistemi) i za protivelektronska dejstva. Međutim, maksimalno iskorišćenje potencijala savremenih oružnih sistema kojima su opremljene raketne jedinice PVO, lovačka avijacija, sredstva za osmatranje i otkrivanje ciljeva, kao i elektronska protivdejstva, može se postići samo ako su povezani u integralni sistem PVO, pomoću automatizovanih sistema za upravljanje koji obezbeđuju upravljanje u realnom vremenu. Uspešno rešavanje zadataka PVO ne može se postići samo dovoljnim brojem savremenih oružnih sistema i koncentracijom snaga, već i koordinacijom njihovog dejstva, a to se postiže integralnim automatizovanim sistemima koji povezuju (integrišu) elemente sistema PVO u jedinstvenu celinu.

Pod „realnim vremenom" podrazumeva se obrada podataka o velikom broju ciljeva u intervalu koji odgovara vremenu skaniranja, a iznosi 10, 5 ili 3 sekunde. To, na primer, znači da se upravljanje raketnim sistemima PVO i lovačkom avijacijom, koji treba da odbiju napad iz vazdušnog prostora, obavlja dostavljanjem podataka svake tri sekunde.

Zbog sve manje vremena koje je na raspolaganju od momenta otkrivanja opasnosti koja preti iz vazdušnog prostora do aktiviranja sistema oružja za odbranu (zbog povećanja brzina savremenih letelica i mogućnosti njihovog neopaženog dolaska na malim visinama, ili zbog male teritorije) sistemi oružja (raketni sistemi PVO, protivavionska artiljerija (PAA), lovačka avijacija) u sistemu PVO moraju biti povezani u jedinstvenu celinu automatizovanim sistemima za upravljanje vatrom. Zadatak KIS je ne samo procena opasnosti na osnovu prikupljenih informacija i donošenje odluke o tome koja vrsta oružja po kom cilju treba da dejstvuje već i navođenje tih oružja na dodeljene ciljeve.

Važna karakteristika integralnog sistema PVO jeste da njegovo formiranje (na osnovu novih i/ili već postojećih sredstava) treba da se zasniva na jedinstvenom konceptu kako bi se mogle zadovoljiti tehničke karakteristike. Naime, svi ovi podsistemi veoma su skupi, pa teh-

ničke poteškoće oko njihovog povezivanja ili nemogućnost uvezivanja u integralni sistem pomoću KIS PVO mogu znatno umanjiti iskorišćenost borbenog potencijala.

Komandno-informacioni sistemi PVO

Komandno-informacioni sistemi PVO obezbeđuju najefikasniju upotrebu oružnih sistema, formiranje podataka o ciljevima u uslovima smetnji, optimalnu upotrebu lovačke avijacije i broja raketa za uništavanje ciljeva u vazdušnom prostoru sa maksimalnom verovatnoćom. Zasnivaju se na najsavremenijoj računarskoj i informacionoj tehnologiji. Poboljšavaju kvalitet komandovanja na komandnim mestima (operativnim centrima) i smanjuju potreban broj ljudi. U uslovima dejstava po principu „udari i beži" i masovnim napadima iz vazdušnog prostora uz elektronsko ometanje nemoguća je efikasna upotreba oružnih sistema bez automatizovanih KIS. Na taktičkom i operativnom nivou oni su, po pravilu, mobilni, opremljeni autonomnim izvorima za napajanje i sredstvima potrebnim za vezu, prenos podataka, opravku, itd. Komandnim strukturama obezbeđuju pravovremene (u realnom vremenu) i pouzdane podatke o situaciji u vazdušnom prostoru, skraćuju proces donošenja odluke, nude optimalna rešenja u okviru postavljenih ograničenja uslovljenih brzinom i iznenadnošću pojave i promene opasnosti iz vazdušnog prostora.

Komandno-informacioni sistem PVO obezbeđuje upravljanje (komandovanje) svim jedinicama, snagama i sredstvima PVO u toku borbenih uzbuna i svih faza planiranja i izvođenja borbenih dejstava, kao i rešavanja problema u svakodnevnim aktivnostima. Obuhvata opremu automatizacije komandnih mesta jedinica svih vidova koje se nalaze u zonama i sektorima PVO, u skladu sa usvojenom strukturom i sistemom komandovanja. Komandno-informacioni sistem se strukturno može sastojati od: sistema automatizacije glavnog operativnog centra snaga PVO (RV i PVO); sistema automatizacije komandi i operativnih centara sektora PVO; sistema automatizacije komandi i operativnih centara ARJ PVO, LA, VOJ, EI I PED, kontrole vazdušnog saobraćaja i radnih stanica za daljinsko upravljanje.

Osnovni zahtevi i zadaci KIS PVO

Kada se stvara integralni sistem PVO, posebna pažnja poklanja se razvoju i rasporedu KIS koji integriše sve podsisteme sistema PVO. Osnovni zahtevi koji se postavljaju pred KIS u savremenim uslovima, prema ruskim stručnjacima, jesu:

– jedinstveno centralizovano upravljanje jedinicama i snagama i sredstvima PVO, uz mogućnost samostalnog izvođenja dejstava na osnovu naređenja viših nivoa komandovanja i u skladu sa dodeljenim zadacima;

– sadejstvo snaga i sredstava PVO raznih vidova, sa stanovišta informacija i vatrenih dejstava, i koordinacija dejstava radi ostvarenja zajedničkog cilja – zaštite jedinica i objekata;

– jedinstvena informaciona podrška operativnim i komandnim centrima na svim nivoima na osnovu jedinstvenog prikazivanja informacija o snagama protivnika i sopstvenim snagama;

– upravljanje operativnim rasporedom i strukturom snaga i sredstava u

toku borbenih dejstava u skladu sa situacijom;

– automatizacija svih faza komandovanja u štabovima i operativnim centrima u miru i prevođenje snaga u više stepene pripravnosti (svakodnevne aktivnosti i uzbunjivanje, predviđanja mogućih dejstava protivnika i odgovarajuće strukture PVO, prevođenje snaga u više stepene pripravnosti, borbena dejstva, uspostavljanje narušenog sistema PVO);

– neprekidno funkcionisanje pojedinih elemenata i KIS u celini;

– operativni razvoj KIS za što je moguće kraće vreme, uz minimalne troškove u postojećim stacionarnim i pokretnim komandnim mestima i operativnim centrima;

– minimalno vreme potrebno za razvoj opreme KIS, modularna konstrukcija opreme i mogućnost serijske proizvodnje;

– jednostavnost obuke praktične upotrebe opreme KIS, opravke i održavanja;

– zaštita od neovlašćenog pristupa KIS i oticanja informacija u toku njegovog rada;

– razvoj i upotreba savremenih sredstava veze i komunikacija, radi obezbeđenja funkcionisanja KIS.

Da bi se formirao sistem PVO u skladu sa navedenim zahtevima, potrebno je primeniti najsavremenija dostignuća teorije sistema, najsavremeniju tehnologiju i proizvodne procese.

Takav jedan automatski KIS PVO, prema ruskoj koncepciji, rešava sledeće probleme:

– planiranje, pripremu i vođenje borbenih dejstava po fazama, i predviđanje mogućih pravaca napada protivnika iz vazdušnog prostora;

– procene mogućnosti sopstvenih snaga (VOJ, ARJ PVO, LA) i davanje predloga za formiranje PVO i sasređivanje snaga na glavnim pravcima udara protivnika;

– prevođenje snaga u više stepene pripravnosti i kontrolu realizacije preduzetih mera;

– prikupljanje informacija o situaciji u vazdušnom prostoru od senzora povezanih u KIS, njihovo prikazivanje na individualnim (automatizovanim radnim stanicama) i kolektivnim (ekranima) sredstvima prezentacije u komandama i operativnim centrima;

– prijem i prikazivanje podataka o stanju i borbenoj gotovosti jedinica, meteorološkim uslovima i NHB situaciji;

– formiranje preporuka (predloga) za izvođenje borbenih dejstava, dodeljivanje zadataka za uništavanje ciljeva u vazdušnom prostoru i komandovanje snagama i sredstvima;

– prijem i prikazivanje izveštaja o toku i rezultatima borbenih dejstava;

– prikaz glavnih snaga, jedinica i državnih granica;

– sadejstvo snaga i sredstava PVO i komandi koje pripadaju različitim rodovima;

– rešavanje operativnih i taktičkih problema u toku borbenih dejstava, radi uspostavljanja sistema komandovanja i borbenog poretka snaga i sredstava koji su uništeni ili oštećeni u udarima protivnika;

– komandovanje snagama u pripravnosti i kontrolu situacije u vazdušnom prostoru;

– rešavanje informacionih problema u vezi sa planiranjem svakodnevnih aktivnosti i preduzimanjem operativnih mera;

– dokumentovanje primljenih i poslatih informacija i pripremu izveštaja o rezultatima borbenih dejstava.

Klasifikacija i osnovne karakteristike KIS PVO

Osobine savremenih KIS su: složenost, modularnost, adaptivnost (prilagodljivost) različitim sistemima PVO, visoka cena, proizvodi ih mali broj zemalja, neprekidno proširivanje i usavršavanje.

KIS PVO može se klasifikovati na više načina: prema konfiguraciji, nivou značaja (jedinica kojima upravljaju), načinu rada (slika 1), itd.

Prema konfiguraciji KIS može biti: centralizovani (komandovanje se obavlja sa jednog mesta), decentralizovani (procena opasnosti i dodela ciljeva obavlja se na svakom komandnom mestu) i kombinovani. Centralizovana konfiguracija KIS odlikuje se dobrom koordinacijom dejstva ali malom žilavošću (uništenjem centralnog dela dovodi se u pitanje rad čitavog sistema), a decentralizovana lošijom koordinacijom dejstva i velikom žilavošću. Kombinovana konfiguracija objedinjuje prednosti jedne i druge konfiguracije.

Prema nivou KIS može biti: taktički (objedinjuju osmatračko akvizicijski radar – OAR sa računarom, pokazivačem i vezom, vizuelne-osmatračke stanice – VOSt-ove, elektronsku planšetu – EPS – mesto za prijem i prikazivanje podataka na komandnom mestu taktičke jedinice, prijemnik podataka akvizicije – PPA), operativni (objedinjuju radar sa ekstraktorom podataka, upravljanje lovačkom avijacijom, prikupljanje podataka u sektoru PVO – OCS, objedinjavanje podataka u zoni PVO), strategijski (koriste podatke iz OC jedinica operativnog nivoa).

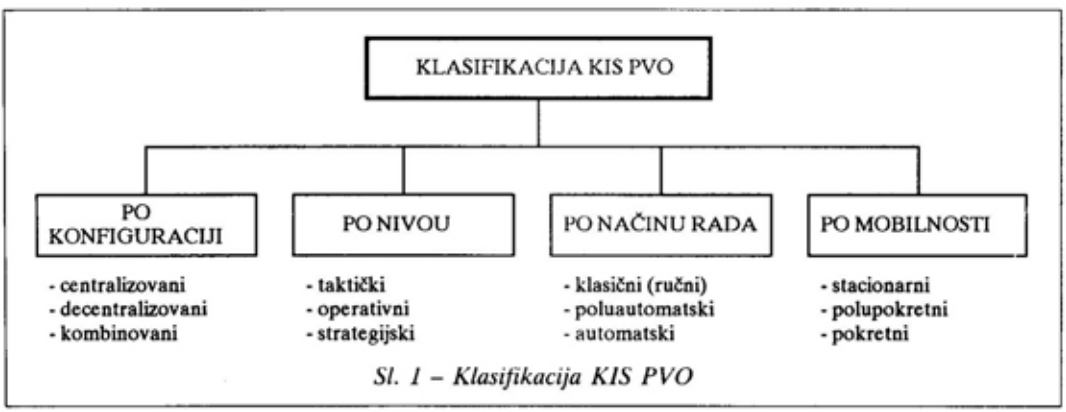
Prema načinu rada KIS može biti: klasični (manuelni), poluautomatski ili automatizovani (jedino skidanje pozicije cilja sa pokazivača obavlja se ručno, a pojavili su se kao posledica povećanja brzina i gustine ciljeva u vazdušnom prostoru) i automatski (potreba za potpunom automatizacijom javila se sa uvođenjem sistema protivraketne odbrane).

Prema mobilnosti KIS PVO može biti: stacionarni (nepokretni), polupokretni i pokretni (mobilni).

Podsistemima KIS smatraju se: senzori (radari, vizuelno-osmatračke stanice, ...), komandna mesta (operativni centri), sistemi oružja (raketni sistemi PVO, PAA, lovačko-presretačka avijacija), sistem veze.

Neki od poznatih KIS u svetu su:

– SAD: AN/TSQ-73 Missile Minder (uveden u upotrebu 1957. godine). SAGE (Seidž. – poluautomatski, izgrad-



Sl. 1 – Klasifikacija KIS PVO

nja počela 1956, a 1964. godine povezivao je 24 sektora PVO);

– Rusija: VAZDUH-1, VEKTOR, SENJEŽ-M, SENJEŽ-E, BAJKAL-1E, POLJANA-D4, RANŽIR, OSNOVA-1E;

– Velika Britanija: ANVIL, FORGE, UKADGE, AS-84, NORMAD;

– Francuska: MIDAS, STRIDA-1, STRIDA-2 (automatizovani, projektovanje započeto 1955., u upotrebi od 1962), STRIDA COMPACT;

– Italija: MRCS-403;

– Švedska: STRIL-60 (poluautomatski, uvođenje počelo 1962, izgradnja osnovnog dela završena 1964);

– NATO: NADGE (Neidž – uveden prema odluci Saveta NATO iz 1962. godine za zemlje članice NATO, imao problema u realizaciji do 1966).

SAGE, ANVIL, VAZDUH-1 su poluautomatski sistemi, a STRIL-60, STRIDA-1, STRIDA-2, FORGE, AS-84, VEKTOR, BAJKAL-1E, OSNOVA-1E, NADGE su automatski sistemi. Automatski KIS zahtevaju radare sa boljom selekcijom pokretnih ciljeva (MTI), odnosno, manjom verovatnoćom lažnih alarma.

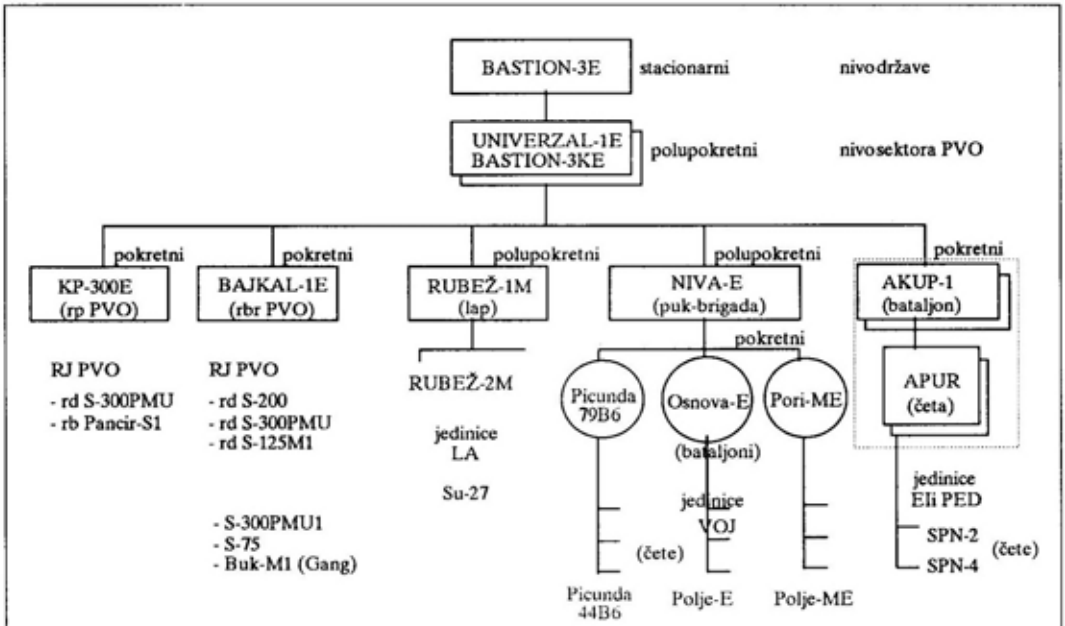
Savremeni ruski KIS PVO

O ruskim KIS se sve do nedavno vrlo malo znalo. Prema dostupnim podacima prvi sistemi automatizacije u SSSR-u razrađeni su za raketne sisteme PVO, a poznati su pod nazivom „KRAB" i „ASURK" i posedovali su računare. Krajem šezdesetih godina razvijen je automatizovani sistem „VEKTOR" za obradu velikog broja ciljeva i upravljanje grupom raketnih sistema PVO. Sa formiranjem taktičkih grupa u PVO, ojačanih raketnim sistemima PVO i lovačkom avijacijom pojavio se problem upravljanja tim sredstvima. Radi toga razvijen je sistem automatizacije SENEŽ, a krajem sedamdesetih godina na osnovu njega razvijen je i uveden u naoružanje sistem automatizacije RUBEŽ za pukove lovačke avijacije u PVO i RV.

Za dostavljanje komandi avionima na velike udaljenosti i do podmornica razvijeni su specijalni sistemi prenosa podataka POETIKA-D i ARHIPELAG-D. Osamdesetih godina sačinjen je kompleksan program rada na razvoju jedinstvenog sistema automatizacije oružanih snaga, koji je obuhvatao upravljanje ne samo strategijskim nuklearnim snagama (osnovni, rezervni i dublirani sistem) već i ostalim sredstvima oružanih snaga.

Na osnovu raspoloživih informacija izdvojeno je nekoliko ruskih KIS PVO koji bi mogli biti interesantni za sistem PVO.

Komandno-informacioni sistem najvišeg nivoa, na primer za upravljanje snagama i sredstvima PVO na državnom nivou, jeste BASTION, stacionarnog tipa (slika 2). KIS za upravljanje snagama i sredstvima PVO na nivou dela državne teritorije (oblasti ili sektora PVO) jeste UNIVERZAL. Zatim slede KIS PVO za upravljanje grupacijama snaga PVO koje objedinjuju raketne jedinice PVO i lovačku avijaciju, kao što je SENEŽ, KIS koji upravljaju pojedinim podsistemima integralnog sistema PVO: za upravljanje raketnim jedinicama, na primer nivo raketnog puka BAJKAL-1 ili komandne stanice za upravljanje raketnim sistemima S-300 KP-300, KIS za navođenje lovačke avijacije RUBEŽ, KIS za obradu radarskih informacija na operativnom nivou – puk, brigada (NIVA-E), na nivou bataljona (OSNOVA-E, PORI-ME, PICUNDA 79B6), na nivou četa (POLJE-E,



Sl. 2 – Strukturna šema ruskih KIS u integralnom sistemu PVO

POLJE-ME, PICUNDA 44B6), KIS za upravljanje sistemima za protivelektronska dejstva (AKUP), itd. KIS se međusobno mogu povezivati po vertikali (KIS podsistema PVO se vezuje na KIS upravljanja integralnim sistemom PVO) i horizontali (KIS raketnih jedinica koristi kao izvore informacija ne samo akvizicijske radare raketnih sistema svojih jedinica već i KIS za obradu radarskih informacija, KIS za navođenje lovačke avijacije povezuje se sa KIS za obradu radarskih informacija, itd.).

KIS za grupaciju snaga PVO SENEŽ-M1E

SENEŽ-M1E je automatski KIS za grupaciju snaga PVO, operativnog nivoa. Namenjen je za upravljanje borbenim dejstvima grupacije snaga PVO (koja obuhvata raketne sisteme PVO, lovačku avijaciju i radare) bez obzira na tip raketnih sistema PVO, lovačkih aviona, kao i vrstu radara u sistemu PVO, uz obezbeđenje maksimalne efikasnosti dejstava i bezbednosti sopstvene avijacije. Može da upravlja sa 17 raketnih sistema PVO (sa 77 vatrenih kanala) i navodi 6 lovaca presretača. Operativne karakteristike ovog KIS PVO prikazane su u tabeli 1.

Ovaj sistem obavlja sledeće funkcije: centralizovano određivanje stepena pripravnosti; prikazivanje situacije u vazdušnom prostoru i rezultata borbenih dejstava na ekranima i pokazivačima automatizovanih radnih stanica; automatski prijem naređenja od višeg nivoa komandovanja i slanje izveštaja o stepenu pripravnosti i borbenim dejstvima; označavanje i raspodelu ciljeva, uključujući i avione za aktivno ometanje, po raketnim sistemima PVO; automatizovano navođenje lovaca-presretača na ciljeve u vazdušnom prostoru, upravljanje bezbednim sletanjem lovaca i upućivanje lovaca na

Tabela 1

Osnovne karakteristike KIS PVO

Karakteristika	Tip KIS				
	BAJKAL-1E	OSNOVA-1E	POLJE-ME	SENEŽ-M1E	RUBEŽ-ME
Namena	upravlj. jedinicama raketnih sistema PVO	obrada radar. inform.	obrada radar. inform.	upravlj. b/d grupac. snaga PVO	navođ. lovačke avijacije
Nivo	taktič.	operat.	taktič.	operat.	taktič.
Broj jednovremeno obrađivanih/praćenih ciljeva	80	120	50	100	76
Broj korisnika ili izvora informacija jednovremeno uvezanih	12*	10	7	17	
Broj automatizovanih radnih stanica	2–5	3	5		8
Vreme spremnosti za rad (min)	3	2	2		3
Vreme montaže/demontaže (min)	5			15**	
Zona po daljini (km)	1200	1600	600	600	
Zona po visini (km)	102,4	100	40		
Brzina ciljeva (km/h)	9216	6000	4300		
Broj članova posade	5	7	7		

* broj oružnih sistema PVO kojima jednovremeno upravlja
** za smanjenu konfiguraciju, za potpunu iznosi dva sata

aerodrome posle obavljenog zadatka; sadejstvo sa susednim komandnim mestima lovačke avijacije ili raketnih brigada PVO; automatsko formiranje komandi za senzore podataka i obrada radarskih podataka od raznih senzora, što omogućava efikasno upravljanje u uslovima aktivnih smetnji i lošeg kvaliteta informacija; obuku posada; snimanje rezultata dejstva i formiranje izveštaja, koordinaciju borbenih dejstava raketnih jedinica PVO i lovačke avijacije.

Postoje dve osnovne konfiguracije sistema (potpuna i smanjena), zavisno od cilja i zadataka koje treba da reši. Potpuna konfiguracija, koja obezbeđuje obavljanje svih zadataka, obuhvata: mobilnu komandnu stanicu za upravljanje dejstvima raketnih sistema PVO i individualnim lovcima-presretačima, koja nosi oznaku 26M6 i smeštena je na vozilu sa poluprikolicom; dodatnu komandnu stanicu za proširenje tehničkih kapaciteta automatizovanog KIS grupacije snaga raketnih jedinica PVO i lovačke avijacije sa jačom opremom za vezu i boljim uslovima za rad posade prevođenjem u stacionarni tip, koja nosi oznaku 27M6 takođe na poluprikolici; dva autonomna agregata ED2×30–T400 sa dva povezana generatora od po 30 kW: radio-uređaj R-997-1M za prijem informacija od lovaca presretača; radio-uređaj R-997-2M za prenos komandi lovcima presretačima; tri stanice RADUGA-ME; pokazivače; PORI-ME sredstva automatizacije za radio-uređaje;

radio-relejnu stanicu; vučno vozilo za prevoz kabina 26M6 i 27M6.

Smanjena konfiguracija zasniva se na mogućnostima mobilne komandne stanice. Vreme potrebno za postavljanje smanjene konfiguracije iznosi 15 minuta, a potpune konfiguracije dva sata.

SENEŽ-M1E može da prima radarske informacije od svih tipova radara koji se nalaze u sistemu PVO, bilo da se koriste povezano ili odvojeno (komandne stanice taktičkih jedinica, jedinica za izviđanje, radara, visinomera, autonomnih akvizicijskih stanica) i od sadejstvujućih KIS grupacija PVO.

Pored toga što su obezbeđeni uslovi za komforan rad posade, obezbeđena je i RHB zaštita. Sistem može da se transportuje železnicom, vazdušnim i vodenim putem.

Da bi automatizovani KIS funkcionisao u realnom vremenu, što je osnovni zahtev za savremene uslove odvijanja borbenih dejstava, SENEŽ-M1E je opremljen dovoljno moćnim računarom brzine 700 000 operacija i memorijom koja, po potrebi, može da se proširuje. Sistem poseduje 24 komunikaciona kanala. Automatizovana radna stanica ima panoramski pokazivač prečnika 45 cm, dovoljan za prikazivanje potrebnih informacija. Model prikazivanja podataka omogućava brzo snalaženje i donošenje odluke neophodne za efikasno vođenje borbenih dejstava.

SENEŽ-M1E se od sličnih sistema, kao što su AN/TSQ-73 MISSILE MINDER, SAGE (USA), NORMAD (Velika Britanija), razlikuje po mobilnosti, mogućnosti računara, većem broju problema koje rešava, korišćenju podataka od različitih senzora i izvora, sposobnosti da upravlja svim tipovima oružnih sistema PVO i sposobnosti da koordinira dejstva raketnih sistema PVO i lovačke avijacije.

SENEŽ-M1E prikazan je na međunarodnoj vazduhoplovnoj izložbi u februaru 1994. godine u Singapuru.

KIS za pojedine podsisteme PVO

KIS za raketne jedinice PVO BAJKAL-1

BAJKAL-1 je automatski KIS za upravljanje jedinicama raketnih sistema PVO taktičkog ili operativnog nivoa. Istovremeno upravlja vatrom sa 12 raketnih sistema PVO, odnosno, može jednovremeno da upravlja sa 144 vatrena kanala za gađanje ciljeva u vazdušnom prostoru, jednovremeno obrađuje podatke za 80 ciljeva, pokriva zonu po frontu i dubini od 1200 km i na njega se uvezuju raketni sistemi PVO S-300PMU, S-300PMU1, S-200VE Buk-M1, S-75, S-125.

Kao izvore informacija koristi radarske sisteme automatizacije NIVA-1E, OSNOVA-1E, PORI-ME, PORI-E, POLJE-E(M), radare DESNA-M i ST-68UM, kao i radarske sisteme za rano upozoravanje i komandovanje.

Sastoji se od dve kabine, izvora napajanja – dva dizel agregata od po 100 kW na dve prikolice, jedne kabine sa alatom i rezervnim delovima i ima mogućnost dodavanja tri automatizovane radne stanice. Postoji u mobilnoj i stacionarnoj varijanti. Vreme pripreme za rad je oko 30 minuta.

Sistem obavlja sledeće zadatke: prevodi uvezane snage PVO u više stepene gotovosti; obavlja raspodelu ciljeva (aerodinamičkih, balističkih, ometača) po oružjima u sistemu PVO, na osnovu procene opasnosti i prioriteta; obezbeđuje sadejstvo i koordinaciju oružja u sistemu

PVO; memoriše proces borbenih dejstava i omogućava njihovu analizu; obezbeđuje obuku (trenaž) posada na osnovu razrađenih modela borbenih dejstava.

Izvori radarskih informacija za KIS BAJKAL-1E su:

– jedinice PVO nivoa puk-brigada sa KIS NIVA-1E, nivoa bataljona sa KIS OSNOVA-1E, PORI-ME, nivoa čete sa KIS PORI-E, POLJE-E(M),

– radari DESNA-M, ST-68UM, OBZOR, IMBIR (akvizicijski radar za S-300V), KUPOL.

KIS za navođenje lovačke avijacije RUBEŽ-ME

RUBEŽ-ME namenjen je za upravljanje procesom navođenja lovačke avijacije kao delom grupacije snaga (navođenje aviona MiG-21, MiG-23, MiG-25, MiG-29, MiG-31, Su-29 koji su opremljeni odgovarajućom opremom). Može da upravlja 21 lovcem istovremeno na tri aerodroma.

Sistem obavlja sledeće funkcije: centralizovano određivanje stepena pripravnosti lovaca; prijem, obradu i prikazivanje situacije u vazdušnom prostoru na ekranima automatizovanih radnih stanica; automatski prijem naređenja od višeg nivoa komandovanja i slanje izveštaja o stepenu pripravnosti i borbenim dejstvima; automatsko rešavanje problema navigacije i raspodele ciljeva; instrumentalno navođenje lovaca-presretača na ciljeve u vazdušnom prostoru; automatizovani prenos komandi i instrukcija o borbenim dejstvima lovaca do komande eskadrile na aerodromu; sletanje lovaca na aerodrome; kontrolu bezbednosti leta lovaca koje navodi; sadejstvo sa susednim komandnim mestima lovačke avijacije ili raketnih brigada PVO; automatsko formiranje komandi za senzore podataka; obuku posada koje nisu uključene u dejstva; uvežbavanje u metodama vođenja borbenih dejstava; snimanje rezultata dejstva na traku, slanje izveštaja automatizovanom centru i foto-zapis.

Obezbeđuje automatizovano upravljanje preko stanica za daljinsko upravljanje RUBEŽ-2ME, SENEŽ-E, SENEŽ-MWE SENEŽ-M1E i VEKTOR-2VE, od kojih može istovremeno da se poveže sa najviše dve. Može jednovremeno da prati do 76 ciljeva.

Sistem ima četiri radne stanice u upravljačkoj kabini i četiri u kabini za navođenje, a mogu se dodati još po dve u svakoj, kada radi u stacionarnoj varijanti. Oprema upravljačke kabine i kabine za navođenje nalazi se na poluprikolici, a aerodromska oprema smešta se u zatvorenu prostoriju. Kabine na poluprikolicama opremljene su uređajima za komforan rad i RHB zaštitu. Može mu se dodati i oprema za alarmiranje u slučaju požara i slično. Nivo buke na radnim stanicama ne prelazi 70 dB. Sistem je pouzdan i jednostavan za održavanje. Glavni deo opreme, uključujući i računar, tako je koncipiran da funkcioniše u stand-by režimu.

KIS RUBEŽ može da se napaja iz sopstvenog agregata 380 V, 50 Hz, 100 kW, ili sa mreže 380 V, 50 Hz.

KIS upravljanja raketnim sistemima PVO – komandna stanica PU-12M7

PU-12M7 je komandna stanica za upravljanje raketnom baterijom malog dometa. Predstavlja modifikovanu i savremeniju verziju poznate komandne stanice PU-12M.

Komandna stanica je namenjena za upravljanje sledećim raketnim sistemima

PVO: STRELA-1M, STRELA-10M2 (M3), OSA-AK, TOR-M1, TUNGUSKA-M1 ili prenosnim raketnim sistemom PVO IGLA.

Za razliku od PU-12M omogućuje upravljanje raketnim sistemima PVO TOR-M1 ili TUNGUSKA-M, uz istovremeni prijem kodirane informacije radio-linkom od pretpostavljene komandne stanice (ili radara sa kodiranim izlaznim signalima) i poluautomatskom obradom primarne radarske informacije od radara sa analognim izlaznim signalima (radari tipa P12, P15, P18, P19, P40 i njihove modifikacije).

Jednovremeno obrađuje do 90 ciljeva, a prati 5 do 7 ciljeva u poluautomatskom režimu. Može istovremeno da prima radarske informacije od tri izvora, i to:

– radara sa analognim izlazom;

– pretpostavljene komandne stanice (ili radara sa kodiranim izlazom);

– radara iz sastava raketnog sistema TOR-M1, ili artiljerijsko-raketnog sistema TUNGUSKA-M, zavisno od cilja koji je odabran za gađanje.

Prijemom, obradom i upotrebom radarske informacije od tri izvora povećava se efikasnost raketnih sistema PVO, mehanizovanog ili tenkovskog puka u pokretu ili na položaju.

Smeštena je u vozilo na bazi oklopnog transportera BTR-80, a sastoji se od uređaja za prijem i predaju podataka, navigaciju i topografsku orijentaciju, uređaja za vezu, uređaja za povezivanje sa radarima koji daju podatke u analognom i digitalnom obliku, kompleta rezervnih delova i pribora (RAP) i eksploatacione dokumentacije.

Jednostavna je za eksploataciju, može da radi sa raznim uređajima za vezu, da se napaja iz različitih izvora napajanja i zahteva malu snagu (2,1 kW).

KIS za obradu radarskih informacija – OSNOVA-1, POLJE-ME, PORI-P1M, PORI-P2M

OSNOVA-1 je automatski KIS za obradu radarskih informacija operativnog (operativno-strategijskog) nivoa. Obavlja prijem, obradu, izlaganje i dostavljanje podataka o situaciji u vazdušnom prostoru svima koji su uvezani u sistem. Primenjuje se u RV za različite sisteme oružja.

Pokriva rastojanja do 1600 km, jednovremeno može da prati do 120 ciljeva, a opslužuje do 10 korisnika (jedinica, grupacija, organa). Može da registruje i prikazuje borbene i civilne avione, krstareće, aerobalističke i balističke projektile, helikoptere i ostale ciljeve malih brzina i onih koji lete na malim visinama. Za uključivanje u rad potrebno je dva minuta.

Sistem može biti u mobilnoj i stacionarnoj varijanti. Može da se prevozi železnicom, vazdušnim i vodenim putem. Visoko je pouzdan i otporan na spoljne uticaje, ima autonomne izvore napajanja i komforne uslove za rad posade.

POLJE-ME je automatski KIS za obradu radarskih informacija, a može jednovremeno da prati do 50 ciljeva. Taktičkog je nivoa. Može da registruje i prikazuje borbene i civilne avione, krstareće projektile, helikoptere i ostale malodimenzione ciljeve malih brzina. Može da se prevozi svojim vozilima, kao i sredstvima za prevoz železnicom, vazdušnim i vodenim putem.

PORI-P1M i PORI-P2M su stanice za skidanje i obradu radarskih informacija. Deo su unificiranih izvora radarskih

informacija za komandnu stanicu raketne brigade PVO POLJANA-D4ME.

PORI-P1M je namenjena za skidanje i obradu radarskih informacija od radara sa digitalnim izlazom, a sastoji se od dva vozila MP200M i MP203M na bazi vozila KamAZ i dizel agregata ED2×30-T400. Jednovremeno obrađuje do 150 ciljeva, a prati pojedinačno ili grupno do 50 ciljeva (tabela 2). Može istovremeno da prima radarske informacije od šest izvora (od toga mogu tri biti PORI-P1M). Obavlja automatski zahvat i automatsko praćenje ciljeva.

Tabela 2

Osnovne karakteristike sistema za obradu radarskih informacija

Karakteristika	Tip	
	PORI-P1M	PORI-P2M
Broj jednovremeno obrađivanih ciljeva	150	100
Broj praćenih ciljeva (pojedinačno i u grupi)	50	32
Broj jednovremeno uvezanih izvora informacija	6	4
Način rada (praćenja ciljeva)	automatski	automatski, poluautomatski, ručni
Sastav	2vozila, agregat	2 vozila, agregat

PORI-P2M je namenjen za skidanje i obradu radarskih informacija od radara sa analognim izlazom, radara za merenje visine, i radara sa digitalnim izlazom, a sastoji se od dva vozila MP201M i MP202M na bazi vozila KamAZ i dizel agregata ED2×30-T400. Jednovremeno obrađuje do 100 ciljeva, a prati pojedinačno ili grupno do 32 cilja. Može istovremeno da prima radarske informacije od četiri radara sa analognim izlazom i pokretnih radara za merenje visine, i radara sa digitalnim izlazom. Ima tri radna mesta. Praćenje ciljeva može da se obavlja automatski, poluautomatski i ručno.

Sistemi za upravljanje sredstvima za protivelektronska dejstva, kao što je AKUP, nisu opisani zbog ograničenog obima članka.

Zaključak

Poslednjih decenija, po pravilu, oružane agresije započinju napadom sredstvima iz vazdušnog prostora, a agresor teži da vazduhoplovnim snagama reši svoje konačne ciljeve. Zbog toga protivvazdušna odbrana države koja je potencijalna žrtva agresije ima strategijski značaj u osujećivanju namera protivnika, bilo odvraćanjem od agresije ili odbranom.

Protivvazdušna odbrana je veoma složena i zasniva se na različitim informacionim, vatrenim i sredstvima za elektronsko izviđanje i protivelektronska dejstva koja treba organizaciono i tehnički povezati u integralan (jedinstven) ekonomičan i efikasan sistem. Maksimalno iskorišćenje potencijalnih mogućnosti pojedinih oružnih sistema u sistemu PVO, pri dejstvu po različitim sredstvima pri njihovom masovnom napadu iz vazdušnog prostora, ili sasređivanju dejstva na određenim pravcima napada, može se postići samo uz maksimalnu koordinaciju dejstva pojedinih oružnih sistema po određenim ciljevima. Procesi koji se pri tome odvijaju u sistemu PVO odavno prevazilaze mogućnosti čoveka da ih rešava manuelno. Zbog toga se upravljanje tim procesima ostvaruje povezivanjem snaga i sredstava PVO u jedinstvenu celinu sistemima automatizacije, odnosno komandno-informacionim sistemima.

Komandno-informacioni sistemi PVO veoma su složeni, zasnivaju se na

najsavremenijoj računarskoj i informacionoj tehnologiji i skupi su. Da bi se svi podsistemi PVO mogli uvezati u jednu celinu, moraju biti međusobno kompatibilni sa stanovišta povezivanja. Promašaji u opremanju sistema PVO mogu imati značajne posledice, kako u pogledu povećanih troškova, tako i u smanjenoj efikasnosti sistema PVO u odnosu na potencijalne mogućnosti podsistema. Zbog toga se projektovanju sistema PVO mora pristupiti sistemski, kao celini, da bi se svi predviđeni elementi sistema (vatreni sistemi, senzori odnosno radari i slično) mogli povezati i funkcionisati kao celina, a opremanje se može obavljati po delovima. To znači da se izboru KIS PVO mora posvetiti pravovremena pažnja, kako sa stanovišta njegove konfiguracije, tako i sa stanovišta hardvera i softvera, posebno ako se u sistem PVO moraju integrisati oružni sistemi starije i novije generacije. Struktura KIS PVO zavisi od strukture podsistema u sistemu PVO. On se mora zasnivati na jedinstvenoj filozofiji, softveru i hardveru, kako bi opremanje sistema PVO oružnim sistemima bilo racionalno, a sistem PVO maksimalno efikasan. Upravo to su premise na kojima se zasnivaju ruski KIS PVO, koji u stvari predstavljaju računarske mreže.

Svi tipovi ruskih oružnih sistema PVO međusobno su kompatibilni, pa se mogu povezati u automatizovani sistem kojim se upravlja iz jednog komandnog centra koji, takođe, može automatski koordinirati dejstvo oružnih sistema PVO protiv nezavisno otkrivenih ciljeva. Rusi su prvi u svetu uspostavili grupisanje PVO sistema po principu „otkrij-dejstvuj", u kojem se signal od radara automatski prenosi ne samo do zajedničkog operativnog centra, nego, pre svega, do oružnih sistema PVO. U ovakvom slučaju cilj se prati u realnom vremenu, što je od presudnog značaja u borbi sa ciljevima današnjih brzina.

Rusi sada integrišu sve tipove oružnih sistema u jednu borbenu računarski upravljanu mrežu, koja će obuhvatiti protivavionske topove, raketne sisteme malog, srednjeg i velikog dometa, avijaciju u sistemu PVO, i sredstva za protivelektronsku borbu. U takvom sistemu PVO, odraze od ciljeva otkrivene jednim tipom oružnih sistema PVO primaju i ostali. Zahvaljujući takvoj organizaciji KIS PVO otkriveni ciljevi mogu se raspodeljivati između svih tipova oružnih sistema i vršiti njihovo uništenje, ako ne svih onda bar većine, čak i pri veoma masovnom raketnom vazdušnom napadu.

Literatura:

[1] Krisenko, G. D.: Savremeni sistemi PVO, metodi i sredstva komandovanja borbenim sistemima, VIZ, Beograd, 1969.

[2] Savremena protivvazdušna odbrana, prilog, Novi glasnik, maj-avgust 1994.

[3] Prudnikov V.: Might of Russia's Air Defense Forces, Military parade, sept-okt. 1994.

[4] Smirnov, V., Feklistov, V.: Senezh-M1E And Rubezh-Me: High Efectivness And Reliability, Military parade, septembar-oktobar 1994.

[5] Bezel, J.: Integrated Automated Air Defense Control Systems, Military parade, januar-februar 1995.

[6] Prudnikov, V.: Main Lines of Air Defense Development in Russia, Military parade, juli-avgust, 1996.

[7] Antipov, J.: Put k veršine triadi, Voennij parad, maj-juni 1998.

[8] Kompleksnaja sistema PVO strani, Protivozdušnaja oborona, prospektni materijal.



prikazi iz inostranih časopisa

RAKETNI SISTEM PVO BUK-M1-2: UDAR JE NEODBRANJIV*

Efikasna odbrana PVO može se organizovati samo ako u svom sastavu ima različite raketne sisteme po svojoj nameni, taktičko-tehničkim karakteristikama i organizacionoj pripadnosti. To su sistemi za blisko dejstvo, malog, srednjeg i velikog dometa. Pri tome, osnovu takvog sastava čine PA raketni sistemi.

Prvi ruski PA raketni sistem te klase i visoke pokretljivosti nastao je šezdesetih godina, pod nazivom KUB (KVADRAT). Svoju visoku efikasnost potvrdio je u realnim borbenim uslovima i vojnim sukobima različitog intenziteta. Projektanti sistema KUB razvili su kasnije sistem BUK i njegove modifikacije BUK-M1, a 1998. godine modernizovani sistem BUK-M1–2. Pri tome ovaj sistem se pretvorio u univerzalno vatreno sredstvo. Sposoban je da, osim ciljeva u vazdušnom prostoru, uništava i zemaljske i nadvodne tačkaste ciljeve koji pružaju radarski i televizijski kontrast. Osim toga, proširena je zona efikasnog dejstva, povećana zaštita od smetnji i omogućeno uništavanje taktičkih balističkih raketa.

Specifičnost sistema BUK i njegovih modifikacija sastoji se u tome što se, pri znatnim razmerama zone dejstva po daljini i visini, borbeni zadatak može izvršiti autonomnom upotrebom samo jednog vatrenog sredstva – samohodnog vatrenog oruđa (SVO). Taj kvalitet omogućava iznenadne udare po ciljevima, kao i autonomnu operativnu zamenu borbenog položaja, što suštinski povećava postojanost sredstva.

Samohodno vatreno oruđe je po konstrukciji gusenično samohodno vozilo na kojem su smešteni radarska stanica i lansirni uređaj sa četiri rakete. Razmeštaj radarske stanice i lansirnog uređaja sa raketama na čvrstoj platformi omogućava da se, uz pomoć elektrohidrauličnog pogona, ostvari jednovremeno okretanje po azimutu i podizanje i spuštanje odgovarajućih delova.

Sastavni delovi samohodnog vatrenog oruđa 9A310M1–2 takođe su: računarski sistem, televizijsko-optički nišan, laserski daljinomer, navigaciona aparatura, radio-ispitivač „svoj–tuđ", ugrađeni trenažer i aparatura za dokumentovanje.

U procesu borbene radnje SVO ostvaruje otkrivanje, prepoznavanje, automatsko praćenje i identifikaciju cilja, izradu zadataka za let i rešenja za lansiranje, lansiranje rakete, „osvetljenje" cilja i prenos komandi za radio-korekciju na raketu, kao i ocenu rezultata pogađanja.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, jul-avgust, 1999.

Može dejstvovati po ciljevima u sastavu raketnog sistema i samostalno, u ranije utvrđenom sektoru odgovornosti.

Samohodno vatreno oruđe može se opremiti formacijskim raketama 9M38M1 i novijim raketama 9M317. Poboljšana je prikrivenost rada SVO uvođenjem laserskog daljinomera koji, u paru sa televizijsko-optičkim nišanom, omogućava pasivnu pelengaciju zemaljskih ciljeva i ciljeva na vodi.

Dorađena programska podrška računarskog sistema omogućava optimalne uglove leta rakete ka cilju, pri čemu su minimizirani uticaji okoline na glavu za samonavođenje rakete. Radi povećanja efikasnosti bojne glave rakete pri dejstvu po ciljevima na zemlji i na vodi isključuje se radio-upaljač i uključuje kontaktni upaljač. Radi poboljšanja zaštite od smetnji uveden je novi režim po principu „koordinatne podrške". U tom režimu za gađanje se koristi koordinata daljine od drugih sredstava sistema. Na taj način, u odnosu na ranije korišćen režim „triangulacije", u kojem su korišćena dva SVO, količina vatrenih kanala po isporučiocu aktivnih smetnji uvećava se dva puta.

Samohodno vatreno oruđe 9A310M1–2 može se povezati i sa sredstvima sistema KUB (KVADRAT ili SA-6). Pri tome KUB može istovremeno gađati dva cilja umesto jednog. Jedan kanal za gađanje je SVO 9A310M1–2 s pridodatim sredstvom za lansiranje i popunu 2P25, drugi formacijski, tj. stanica za upravljanje izviđanjem i navođenjem 1C91 oruđem 2P25.

Poslednjih godina uspešno se završava niz opitno-konstruktivnih radova radi dalje modernizacije raketnog sistema u celini i pojedinih njegovih elemenata.

Osnovni pravci modernizacije samohodnog vatrenog oruđa su:

– uvećanje broja jednovremeno gađanih ciljeva na račun primene fazne antenske rešetke (FAR);

– poboljšanje zaštite od smetnji na račun adaptacije zračenja FAR u skladu s taktičkom situacijom i situacijom ometanja;

– povećanje efikasnosti radara na račun povećanja snage predajnika i osetljivosti prijemnika (nova elektronska oprema);

– primena brzih računara i savremena računarska obrada signala.

Modernizovano SVO sa faznom antenskom rešetkom može se koristiti sa

Osnovne karakteristike SVO 9A310M1–2

Efikasno dejstvo (km) • u protivavionskom režimu: – domet pri položenoj putanji – visina – horizontalni domet	 3–45 0,015–25 25
• u protivraketnom režimu: – domet – visina – horizontalni domet	 20 2–16 12
• pri dejstvu na helikoptere: – koji lete (v = 50 m/s) – koji lebde (v = 0)	 3–36 do 10
• na ciljeve na vodi (razarače): – domet	 3,5–25
• na zemaljske ciljeve: – domet	 3,5–12
Broj vatrenih kanala (za bataljon)	6
Brzina gađanih ciljeva (m/s) – dolazećih – odlazećih	 1200 300
Domet otkrivanja (km) Zona pokrivanja (°)	3,5–12 120 × 6
Sektor pretraživanja (°): – po elevaciji – po azimutu	 –10 do +80 330
Broj SVO	4
Vreme gotovosti posle premeštanja (s)	20
Vreme uvođenja (izvođenja) u dejstvo (min)	5

sredstvima sistema BUK-M1–2, pri čemu se broj jednovremeno gađanih ciljeva može povećati sa 6 na 10 do 12.

M. Krbavac

<<<◇>>>

PROTIVRADARSKE RAKETE NATO*

Između Evrope i SAD nastavlja se „takmičenje" oko snabdevanja vazdušnih snaga NATO novom generacijom protivradarskih raketa (HARM) lansiranih iz vazdušnog prostora. U pitanju su potpuno nova raketa ARMIGER (proizvodi je nemačka kompanija BGT) i varijanta protivradarske rakete velike brzine AGM-88 (proizvodi je američka kompanija Raytheon), koja je uvedena u upotrebu početkom osamdesetih godina.

Krajem 1999. godine nemačka vlada treba da donese konačnu odluku o nastavku nabavke raketa HARM i njenih varijanti ili o početku razvoja rakete ARMIGER kao evropskog kooperativnog poduhvata.

Raketa HARM, koja je u Evropi u upotrebi na avionima TORNADO, već je u kritičnoj fazi obezbeđenja daljih poboljšanja tačnosti pogađanja. Program modernizacije koji sprovode tri zemlje (SAD, Nemačka i Italija) vodi do verzije rakete Block 6, koja treba da se isporuči 2003. godine. Inžinjering, proizvodnja i razvoj su pod odgovornošću kompanija Raytheon, BGT i Alenia Marconi Systems. Ugovor o tome potpisan je krajem 1998. godine.

Osnovna komponenta programa je satelitski baziran GPS sistem intercijalnog vođenja sa novim softverom koji će eliminisati sadašnji nedostatak rakete HARM – kada je radarski sistem isključen usred napada raketom HARM ona nije sposobna da locira cilj. Problem je u tome što raketa ima veliki domet i tendenciju da „traži nešto drugo". Tako je, na primer, prilikom agresije NATO na SRJ jedna raketa HARM pogodila radar u susednoj Bugarskoj.

Izrađen je i novi softver koji prati „geografske specifičnosti", ali optimalna solucija jeste uvođenje GPS sistema radi izbegavanja kolateralnih šteta. Novi elementi za minimiziranje kolateralnih šteta kombinovani su sa elementima rakete HARM velikog dometa. Mada će to zahtevati novu glavu za samonavođenje i bojnu glavu, realno je moguće poboljšanje GPS sistema sa PNU jedinicom (Precision Navigation Upgrade).

Na programu PNU izvedene su tehničke procene i analizirani cena, rizik i vreme potrebno za razvoj modernizovanog oružnog sistema HARM. Dok se u kompaniji Raytheon izvode ispitivanja i procene usmerene na raketu HARM, moguća je i varijanta programa zasnovana na BGT raketi ARMIGER. Značajni istraživačko-razvojni kapaciteti usmereni su na glavu za samonavođenje rakete ARMIGER, radarski prijemnik velikog opsega i IC senzore. IC senzori omogućavaju precizan napad na radarsko mesto, čak i kada je radar isključen.

U kompaniji BGT se očekuje da će u naredne dve do tri godine dobiti ugovor sa nemačkom vladom, kako bi se nastavio rad na razvoju rakete ARMIGER, posebno na razvoju propulzionog raketnog sistema.

Iako bojna glava ima malu masu (20 kg), sposobna je da, preko dvostrukog moda glave za samonavođenje, vodi raketu do cilja. Mala bojna glava treba da

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Review, 4. avgust 1999.

smanji rizik civilnih žrtava u blizini cilja. Sadašnja konfiguracija aviona TORNADO pruža mogućnost za nošenje samo dve rakete HARM, ili četiri rakete ARMIGER. Ukoliko se donese odluka o nastavku programa rada na raketi ARMIGER, nemačka vlada i kompanija BGT će nastojati da posao bude multinacionalnog karaktera.

Mogući model za međunarodni program raketa vazduh-vazduh jeste i raketa IRIS-T, izvedena od rakete AIM-9 SIDEWINDER. Raketu IRIS-T razvio je međunarodni konzorcijum koji čine kompanije iz 6 zemalja: Kanade, Nemačke, Grčke, Italije, Norveške i Švedske. Ukoliko se usvoji program razvoja rakete ARMIGER, očekuje se da će se ona uvesti u upotrebu 2008. godine.

V. Radić

<<<◇>>>

MODERNIZACIJA BORBENOG VOZILA PEŠADIJE BMP-1*

Laka borbena vozila raznih tipova i korisne nosivosti masovno se koriste u kopnenoj vojsci. Međutim, mnoga od njih ne zadovoljavaju zahteve i parametre borbene efikasnosti koji su utvrđeni za savremeno naoružanje i sisteme za upravljanje vatrom. Takođe, ova vozila poseduju zadovoljavajuću oklopnu zaštitu i pouzdane hodno-transmisione sisteme koji nisu odslužili svoj vek, mada su izrađeni pre mnogo godina. Borbeno vozilo pešadije BMP-1 spada u tu kategoriju vozila.

Borbene karakteristike BMP-1 ne udovoljavaju svim aktuelnim parametrima za savremena vozila ove vrste. Ono je naoružano niskoefikasnim glatkocevnim topom 73 mm i zastarelim protivtenkovskim vođenim raketama MALJUTKA. Sistem za upravljanje vatrom ne obezbeđuje efikasnu vatru i zahteva visok standard obuke nišandžije. Zbog toga se vozila BMP-1 moraju modernizovati, kako bi se vatrena moć podigla na nivo najsavremenijih sredstava. Radi toga je Instrumentalno projektantski biro KBP razvio jednosedni borbeni modul sa raketno-topovskim oružjem i automatizovanim sistemom za upravljanje vatrom.



Sl. 1 – Borbeno vozilo pešadije BMP-1

Kopnene snage danas raspolažu raznim vrstama tenkova s raznovrsnim naoružanjem i oklopnom zaštitom. Na grafikonu, slika 2, prikazana je verovatnoća uništenja tenkova različitih generacija u zavisnosti od prosečnih mogućnosti probijanja oklopa, pri najsloženijim uslovima (ugao kursa ± 30°). Serijski proizvedena raketa KORNET, sa sposobnošću probijanja oklopa debljine 1100 i 1200 mm iza eksplozivnog reaktivnog oklopa, pouzdano uništava tenkove jednim hicem.

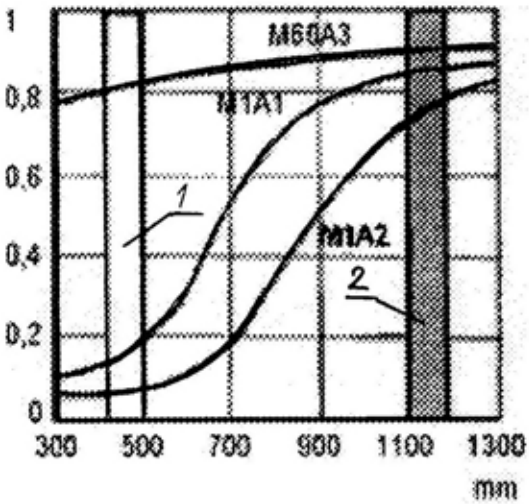
Savremeni borbeni modul, koji je razvijen za potrebe modernizacije BMP-1, pojednostavljuje postupke nišandžije, smanjuje vreme za pripremu vatre i stvara mogućnosti za uništenje:

– sadašnjih tenkova i tenkova u razvoju, koji su opremljeni eksplozivnim

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar-oktobar, 1999.

reaktivnim oklopom, kao i pojedinačnih ciljeva vođenim raketama na rastojanju do 5500 m;

– lako oklopljenih sredstava automatskim topom na rastojanju do 2000 m, a živu silu i sporije ciljeve u vazdušnom prostoru na rastojanju do 4000 m.



Sl. 2 – Dijagram verovatnoće uništenja tenkova prvim hicem: 1 – za konvencionalne rakete, 2 – za rakete KORNET

Borbeni modul sadrži:

– automatski top 30 mm 2A72;

– laserski vođeni protivtenkovski raketni sistem nove generacije KORNET sa vatrenim dometom do 5500 m, velikom otpornošću na aktivno i pasivno ometanje i sposobnošću proboja oklopa 1100 do 1200 mm iza eksplozivnog reaktivnog oklopa;

– mitraljez 7,62 mm;

– automatizovani sistem za upravljanje vatrom.

Sistem za upravljanje vatrom borbenog modula sadrži:

– nišan stabilizovan u dve ose s nišanskim – daljinskim, toplotnim i laserskim kanalima;

– balistički računar sa sistemom senzora za okolinu;

– sistem za stabilizaciju oružja u dve ravni.

Kompozicija borbenog modula obezbeđuje izvršenje sledećih zadataka:

– otkrivanje i identifikaciju ciljeva danju i noću;

– nišanjenje i određivanje daljine;

– kompjutersku obradu vatrenih zadataka;

– postavljanje oružja u položaj zadate elevacije i ugla;

– stacionarnu i pokretnu vatru po nepokretnim i pokretnim ciljevima, kako danju, tako i noću;

– proveru sistema za upravljanje vatrom u svim uslovima.

Sve komponente sistema naoružanja za modernizovano borbeno vozilo pešadije BMP-1M serijski su proizvedene i visoko pouzdane, a borbeni modul se serijski proizvodi.

Modernizovani BMP-1M može uspešno da vodi borbu protiv svih vrsta tenkova na bojnom polju vatrom sa zastanaka ili iz pokreta, po svakom vremenu, danju i noću.

Automatizovani sistem za upravljanje vatrom, opremljen dnevno-noćnim nišanom, digitalnim balističkim računarom i stabilizatorom oruđa, sposoban je da, ako se ugradi na vozila BMP-1, poveća:

– domet otkrivanja cilja noću za 8 do 9 puta;

– efikasni vatreni domet nevođenog oružja, za tri puta danju i četiri do pet puta noću;

– preciznost vatre vođenog i nevođenog oružja po ciljevima na zemlji za 1,3 do 2 puta.

Savremeni sistem naoružanja borbenih vozila pešadije treba da obezbedi

ofanzivna i defanzivna borbena dejstva i uništenje širokog spektra ciljeva, kao što su: nezaštićena i ušančena protivoklopna sredstva (lanseri PTRS i raketnih granata), naoružanje, lakooklopljena vozila, borbeni tenkovi i dr.

M. Krbavac

<<<◇>>>

PROTIVTENKOVSKE GRANATE – ORUŽJE BUDUĆNOSTI*

Borbene operacije u lokalnim oružanim sukobima znatno su izmenjene. Izvode se bez jasno određene linije fronta, bez neposrednog dodira jedinica i sa visokim stepenom njihove taktičke i vatrene samostalnosti. U mnogim slučajevima ograničena je ili isključena upotreba avijacije, artiljerije i oklopnih sredstava, pa protivtenkovsko oružje ima specifičnu ulogu u vatrenoj podršci motorizovanih streljačkih sastava.

Protivtenkovski bacači granata (RPG-7, SPG-9) razvijeni su i proizvedeni šezdesetih godina, a još uvek su u upotrebi u više od 40 zemalja. Prvobitno razvijeni kao oružje za blisku borbu u sistemu organizovane ešelonirane protivtenkovske odbrane, danas su protivtenkovski bacači granata postali neophodno oružje u lokalnim ratovima i oružanim sukobima. To je sada oružje koje je namenjeno za izvršavanje zadataka „artiljerijske podrške" u savremenim borbama. Protivtenkovsko oružje omogućava efikasnu borbu sa oklopnim borbenim vozilima na bliskim rastojanjima, uništavanje lakih fortifikacijskih objekata i skladišta naoružanja i sl. To oružje postaje posebno efikasno u naseljenim mestima, u planinama, na ispresecanom zemljištu i kada se koristi u zasedama. Jednostavnost rukovanja i borbene upotrebe ne zahteva složenu obuku korisnika. Optimalne dimenzije i masa omogućavaju jednom čoveku da nosi na bojnom polju i oružje i municijski komplet. Dnevno-noćni nišan, velika pouzdanost i bezbedno funkcionisanje u raznim klimatskim uslovima, kao i njihova niska cena, čine ova sredstva pešadijskom „prenosnom artiljerijom".

Nedavno je ruska firma „Bazalt" razvila najnovije modele višefunkcionalnog protivtenkovskog oružja, koji zadovoljavaju zahteve savremene borbe. Pre svega, to je nova municija za usavršene bacače granata RPG-7, i to:

– PG-7VR sa tandem-bojnom glavom, koja može da uništi tenk opremljen eksplozivnim reaktivnim oklopom;

– TBG-7V sa termobaričnom bojnom glavom, koja je po parametrima ubojnosti kompatibilna sa artiljerijskim i minobacačkim projektilima 120 mm;

– OG-7V sa parčadnom bojnom glavom, čija je preciznost slična kao kod streljačkog naoružanja.

Kod granate PG-7VP po prvi put u svetu realizovan je tandem princip funkcionisanja eksplozivnog kumulativnog punjenja bojne glave za bacače granata.

Termobaričko zrno TBG-7V dejstvuje na pojačanom udarnom principu, i predstavlja snažno i efikasno oružje motorizovanih streljačkih sastava. Eksplozija bojne glave stvara polje visoke temperature, velikog zapaljivog efekta i snažnog udarnog talasa. Osim toga, delovi parčadi pri eksploziji imaju početnu brzinu koja je za 1,5 do 1,7 puta veća nego kod klasičnih projektila. Zajedničkim efektima uništava se živa sila u radijusu 10 metara od mesta eksplozije. Ušan-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar-oktobar, 1999.

čena živa sila uništava se čak i bez direktnog pogotka, zbog izraženog „pljuskovitog" efekta produkata eksplozije termobaričkog punjenja. Kada se dejstvuje po lakookloplјenim sredstvima, bojne glave, zbog svoje posebne strukture, stvaraju otvore prečnika 150 do 180 mm, ili pukotine veličine 200 × 500 mm. U svakom slučaju, produkti eksplozije uništavaju posadu i prevoženo ljudstvo.

Zrno parčadnog projektila naročito je efikasno protiv platformi i zaklona za naoružanje u naseljenim mestima i industrijskim zonama, kao i na neravnim terenima. To su ciljevi poput specijalno pripremljenih puškarnica u objektima od cigle i betona i dr. Tačnost i efikasnost bojnih glava obezbeđuje uništenje takvih ciljeva na udaljenosti do 300 m. Na taj način, bacač granata RPG-7V1 sa novim granatama PG-7VP, TBG-7V i OG-7V omogućava pojedincu da izvrši do sada neostvarive borbene zadatke.

Protivtenkovske raketne granate, kao što su RPG-26 i RPG-27, i odgovarajući bacači granata, individualno su oružje vojnika namenjeno za borbu s oklopnim sredstvima i uništavanje žive sile u bunkerima i fortifikacijskim objektima od cigle i ojačanog betona. Pošto je malih dimenzija (73 mm kalibar i 750 mm dužina) i male mase (2,9 kg) RPG-26 može da nosi i padobranac. Bojna glava RPG-26 probija oklop debljine do 500 mm, kao i objekte od ojačanog betona, cigle i drveta debljine 1000, 1500 i 2400 mm, respektivno.

Bacač granata RPG-27 naslednik je RPG-26 i opremljen je tandem-bojnom glavom 105 mm.

Na bazi bacača RPG-26 i RPG-27 razvijeno je jurišno oružje RShG1 i RShG2, radi povećanja vatrene moći boraca u savremenim ratovima. Raketne i jurišne granate s odgovarajućim bacačima, zadržavajući odlike baznih modela, uz nove uvećane rušilačke efekte bojnih glava, mogu efikasno uništavati praktično sve ciljeve na bojnom polju. Ostvarenje tih zadataka moguće je zbog primene principijelno novih pristupa u projektovanju i izradi ovog oružja. Pre svega, to je princip modularnog razvoja oružja, koji se zasniva na stvaranju i izradi univerzalnih modula široke namene. Izrada univerzalnih modula mnogo je komplikovanija nego razvoj klasičnih komponenata, i zahteva savremena tehničko-tehnološka rešenja, u skladu sa zadatim uslovima.

Prvi univerzalni modul za protivtenkovsko oružje bila je kumulativna bojna glava 105 mm, tipična za projektile PG-7VR, PG-29V i RPG-27. Principijelno novi pristup u projektu zadovoljio je visoke zahteve u parametrima efikasnosti i upotrebe protivoklopnih materijala koji će se proizvoditi do 2005. godine. Njihov potencijal omogućava modernizaciju bojnih glava radi povećanja probojnosti do veličine 10–12 kalibara, kao i produženje životnog ciklusa municije najmanje do 2010. godine.

Danas firma Bazalt razvija sledeće osnovne tipove oružja:

– univerzalni bacač koji obuhvata sklopivi tronožac sa mehanizmom za nišanjenje, delove za opaljenje i nosač sa pripadajućim sklopovima (mehaničkim i električnim) za brzo postavljanje i skidanje kontejnerizovane protivtenkovske granate. Posle postavljanja protivtenkovske granate na nosač, njegovo strujno kolo je automatski povezano sa strujnim kolom bacača, a zahtevani balistički podatak, koji se sprovodi do regulatora, selektira se u zavisnosti od tipa municije;

– kontejnerizovane raketne granate s različitim bojnim glavama (kumulativ-

nim, termobaričkim, parčadnim, dimnim, zaslepljavajućim, itd.). Modularna izrada savremenih modela znatno smanjuje vreme njihovog razvoja, izrade i ukupne cene.

Takođe, naoružanje koje se nalazi na upotrebi može se modernizovati jednostavnom zamenom odvojenih modula i na taj način povećati njegov životni vek. Na kraju ovog veka konstruktori protivtenkovskog oružja suočavaju se sa problemom daljeg usavršavanja prema parametrima ubojnosti i preciznosti vatre, stvaranja nove municije sa netradicionalnim osobinama (zapaljive, dimne, osvetljavajuće, itd.) i mogućnošću uništavanja oklopnih sredstava opremljenih aktivnim zaštitnim sistemima.

M. Krbavac

<<<◇>>>

„PAMETNA" ORUŽJA U RV VELIKE BRITANIJE*

Razvoj prvih, zaista „pametnih" raketnih sistema STORM SHADOW (proizvodi ih francuska firma Matra BAe Dynamics) i BRIMSTONE (proizvodi ih italijanska firma Alenia Marconi Systems) rezultiraće izvršenjem gađanja sa oba sistema u narednih nekoliko meseci.

Uvođenje tih sistema oružja početkom sledeće decenije predstavljaće, u stvari, popunjavanje praznina u arsenalu oružja nastalih učešćem u agresiji NATO na SRJ i povećanoj upotrebi različitih vrsta oružja, prvenstveno raketa. U vreme konflikta, RV Velike Britanije ograničilo je upotrebu laserski vođenih bombi za napade na malim daljinama. Za visokootporne ciljeve na većim daljinama korišćene su krstareće rakete TOMAHAWK ispaljivane sa podmornice „Splendid" koja se nalazila u Jadranskom moru.

Raketa STORM SHADOW treba da postane alternativni oružni sistem za TOMAHAWK za ciljeve na svim, pa i najvećim dometima. Protiv tenkova i drugih oklopnih vozila, raketa BRIMSTONE će, verovatno, biti oružje za izbor.

Ministarstvo odbrane Velike Britanije i glavna delegacija armije Francuske potpisali su 1997. godine ugovor vredan 1,6 milijardi dolara za razvoj i proizvodnju 1400 raketa STORM SHADOW i krstarećih raketa SCALP EG koje se lansiraju iz vazdušnog prostora.

Rakete STORM SHADOW i SCALP EG razlikuju se od raketnog oružja na helikopteru APACHE po navigacionom sistemu GPS, inercijalnom vođenju i IC termalnom nišanu sa automatskim prepoznavanjem cilja, bojnoj glavi BROACH i većem dometu. Visoka pouzdanost oružja na maršruti do cilja nastaje zbog maksimalnog korišćenja terena i zaklanjanja rakete od protivničke PVO, što se softverski unosi u oružni sistem pre lansiranja.

Sledeći potrebu za racionalizacijom, rakete STORM SHADOW i SCALP EG sada su gotovo identične, razlikujući se samo po načinu vezivanja sa osnovnim avionima: EUROFIGHTER, TORNADO GR4 i HARRIER GR7 u Velikoj Britaniji, odnosno MIRAGE 2000 i RAFALE u Francuskoj.

Bojna glava BROACH može da dejstvuje kao bojna glava opšte namene u blast-modu ili kao tandem-bojna glava za penetraciju čvrstih (otpornih) ciljeva. Mada sistem automatskog prepoznavanja

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 4. avgust 1999.

cilja omogućava maksimalnu efikasnost u gotovo svim uslovima, ukoliko se ne ostvari prihvatljivo podešavanje (prilagođavanje) onome što glava za samonavođenje „vidi" i onoga što je u oružju sačuvano kao slika cilja, zadatak se obustavlja i rakete STORM SHADOW/ SCALP EG šalju se na unapred određeno mesto za uništenje („crash site"), kako bi se izbegle kolateralne štete.

Ispitivanja koja su planirana za prvu polovinu 2000. godine su priprema za prve isporuke raketa ratnom vazduhoplovstvu Velike Britanije u toku 2001. godine. Uvođenje u operativnu upotrebu planirano je za 2002. godinu u Velikoj Britaniji, a 2003. godine u Francuskoj. Pored Ujedinjenih Arapskih Emirata, koji su kupili rakete STORM SHADOW/ SCALP EG (kao oružni sistem BLACK SHAHEEN), Italija je odabrala iste rakete.

Raketa BRIMSTONE nalazi se u poslednjoj fazi razvojnog ciklusa. Prva ispitivanja biće obavljena krajem 1999. godine, uz razvoj svih podsistema – glave za samonavođenje, motora, navigacije i punjenja bojne glave. Sledeća faza doprineće završetku svih aktivnosti oko uvođenja u upotrebu krajem 2001. godine.

Na lovačkom avionu TYPHOON, koji je namenjen za uništavanje tenkova, može se postaviti 18 raketa BRIMSTONE. Sa glavom za samonavođenje i režimom rada u milimetarskom području BRIMSTONE će biti potpuno autonomna raketa i imaće karakteristike ispali i zaboravi (fire-and-forget) kao i mogućnost da se koristi u svim vremenskim uslovima.

V. Radić

<<<◇>>>

ULTRAŠIROKOPOJASNA TEHNOLOGIJA OTVARA NOVE HORIZONTE*

Ubacujući se tiho u sporedne segmente tržišta, ultraširokopojasna (UWB – ultra-wideband) radio-radarska tehnologija pokazuje potencijal koji može revolucionarno da izmeni mnoge aspekte vojnih aktivnosti. Aplikacije u kojima je ova tehnologija već implementirana obuhvataju: komunikacije, senzore najšireg spektra primene, nadzor i osmatranje kroz različite prepreke, detekciju mina, radarske merače visine u uređajima za izbegavanje prepreka na malim platformama, kao što su bespilotne letelice, i radare koji omogućavaju osmatranje kroz lišće vegetacije koji se instaliraju na bespilotne letelice ili se koriste kao glave za vođenje na vođenim bombama.

Osnovna karakteristika UWB tehnologije jeste da ima vrlo visoku frakcionalnu širinu (fractional band-width – odnos širine pojasa prema centralnoj frekvenciji pojasa). Prema konvenciji koju je 1990. godine usvojila američka Agencija za napredne istraživačke projekte iz oblasti odbrane (DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency), ova tehnologija obuhvata bilo koje talasne oblike sa frakcionalnom širinom većom od 25%, iako UWB radari, koji rade na frekvencijama iznad 2–3 GHz, pokazuju slične karakteristike sa UWB tehnologijom na donjim vrednostima navedenog parametra.

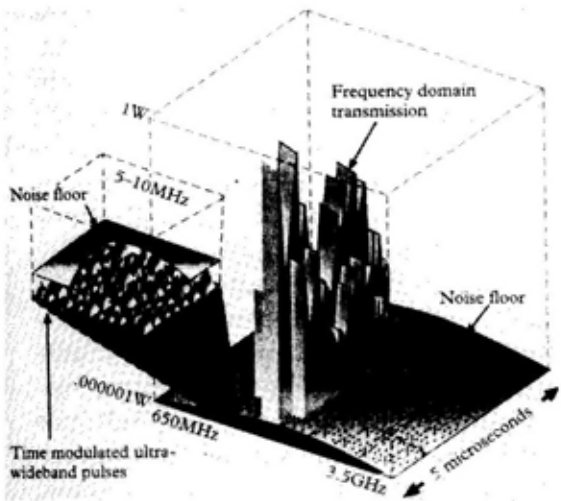
UWB koristi impulse osnovnog frekventnog područja vrlo kratkog trajanja tipične vrednosti nekoliko nanosekundi (ns), čija se energija signala vrlo nisko rasprostire preko čitavog frekventnog po-

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 2/1999.

jasa koji se koristi. Ovakav pristup se opisuje kao: vremenska modulacija, impulsi, kratki pulsevi ili osnovno područje, ali se u osnovi fundamentalno razlikuje od šeme sa prostiranjem spektra kao što je frekventno skakanje (frequency hopping).

Princip rada UWB tehnologije prikazan je na slici. Konvencionalni signali, preneti iz frekventnog područja, elektronički su vrlo „vidljivi", jer je sva snaga „upakovana" u uski pojas frekvencija (oko 1W u pojasu frekvencija od 1 MHz). Vremenska modulacija transponira milione nestrukturiranih kodiranih pulseva u sekundi u emisije signala vrlo niskog nivoa bliske nivou termičkih šumova, ali preko jednog vrlo širokog frekventnog pojasa.

UWB ima nekoliko glavnih karakteristika važnih za vojne primene. Poseduje vrlo nisku gustoću energije, što ima za posledicu malu verovatnoću presretanja frekvencija i detekcije (LPI/D – low probabilities of intercept and detection). Efekti višestrukosti puteva (multipath effects) potpuno su odsutni ili minimalni, što ima prednosti u mnogim aplikacijama.



Princip rada ultraširokopojasne tehnologije

To je naročito važno za lokalne bežične veze koje rade velikim brzinama u prostorijama, gde je razlika između vremena dolazaka signala koji idu različitim putevima reda samo nekoliko nanosekundi.

Svojstvo visoke rezolucije omogućava precizno merenje daljine, što omogućava određivanje geolokacije sa tačnošću od 1 cm. Gotovo svi elementi su digitalni, što omogućava mikrominijaturizaciju i jeftinu proizvodnju. Prosečan UWB radio-uređaj trebalo bi da košta manje od 500 USD u poređenju sa radio-uređajima sa uobičajenim faktorom LPI koji koštaju od 50 000 do 75 000 dolara.

Implementacija UWB tehnologije je kasnila zbog sumnji u efektivnost ove tehnologije, kao i zbog sporova oko patentnih prava. Naime, 1993. godine Nacionalna laboratorija „Lawrence Livermore" Ministarstva energetike SAD patentirala je svoj impulsni radar male snage (MIR – Micropower, ranije Microwave, Impulse Radar) i počela prodaju licenci industriji. Međutim, 1998. godine Zavod za patente i zaštitne znake SAD odbacio je nekoliko originalnih aplikacija Nacionalne laboratorije „Lawrence Livermore". Zavod je zaključio da je mala kompanija iz grada Huntswille, pod imenom „Time Domain Corp.", istu tehnologiju patentirala još 1986. godine. Prema rečima zvaničnika ove firme, razvijeni „izgubljeni link" (koherentni vremenski kodirani prijemnik), koji je u UWB transformisan iz njihovih naučnih demonstracija, predstavlja jedan od najvećih potencijala i ključnih tehnologija za 21. vek.

Demonstracije i operativna ispitivanja razvijenih uređaja

U oktobru 1997. godine firma „Time Domain Corp." demonstrirala je Ratnoj

mornarici SAD primenu osam ručnih radio-uređaja sa nevidljivim linkom, u okviru programa razvoja UWB elektronskih uređaja za primenu na taktičkom nivou koji predstavlja deo programa razvoja združenih taktičkih komunikacija. Ovaj program ima za cilj povećanje bezbednosti transfera podataka uz povećanje žilavosti i redukciju logističkih troškova. Naručilac ovih usavršavanja je Uprava veza američke kopnene vojske (US Army's Communications-Electronics Command). Demonstraciju je pratilo 19 predstavnika Vojske i firmi uključenih u posao. Šest radio-uređaja uspostavila su tri simultana linka, uključujući mobilni rad od tačke do tačke i puni dupleks rad sa dometom od 900 m, dok su preostala dva uređaja izmenjivala digitalne slike sa brzinom prenosa od 32 kbit/s. Analizator spektra, koji rutinski detektuje rad konvencionalnih UHF prenosnih radio-uređaja na udaljenosti preko 700 m, morao je da bude postavljen na manje od 10 m od radio-uređaja, kako bi mogao da detektuje njegov signal. Radio-uređaj sa nevidljivim linkom u ovoj demonstraciji prenosio je 10 miliona pulseva u sekundi. Širina svakog pulsa bila je 0,5 ns, sa ukupnom snagom pika od 0,5 W i srednjom snagom od 2,5 mW. Energija je u svakom pulsu bila raspoređena preko pojasa frekvencija širokog više od 2 GHz.

U ime firme „Time Domain Corp.", IBM Microelectronics je razvio dva posebna silicijum i germanijum čipa za ugradnju u njihove prijemnike i predajnike. Jedan od njih, programabilni čip za vremensko kašnjenje PicoTimer, može da razdeli vreme na korake od 3 ps. Drugi čip, PicoCorrelator, sadrži tri kompletna radio-frekventna korelatora. Firma „Time Domain Corp." ugradila je čipove za tajming i potpuno digitalne signal-procesore za osnovno područje u nekoliko svojih prototipova radio-uređaja. Ista firma razvila je kompaktni radar (u jednoj celini) RadarVision 1000, koji detektuje kretanje osoblja, kroz zid ili druge barijere. Ovaj uređaj ima širinu snopa ili vidnog polja od 90°, a u svom sastavu ima podesivu rešetku maksimalne dužine oko 6 m. Detektuje kretanje manje od 8 cm, a sa jednim kompletom baterija može da radi jedan sat.

Takođe, druga mala kompanija (MSSI – Marylandbased Multspectral Solutions Inc.) radi na razvoju UWB tehnologije za neke vojne primene po ugovorima sa različitim vladinim organizacijama. Pre tri godine razvili su ručnu radio-stanicu koja se koristi u istraživačkim zadacima. Ovaj radio obezbeđuje potpuni dupleks rad, sa frakcionalnom širinom pojasa od oko 33% (500 MHz), širinom pulsa od 2 ns, omogućava digitalizovani prenos glasa brzinom od 128 kbit/s i podataka brzinom od 115 kbit/s.

Direkcija za specijalne tehnologije Ministarstva odbrane SAD naručila je od ove firme razvoj UWB radio-uređaja za prenos glasa i podataka koji bi koristio talase koji se prostiru kroz zemlju za komunikacije u uslovima bez optičke vidljivosti. U decembru 1997. godine firma je demonstrirala radio-uređaj koji je radio u niskom VHF području, na frekvencijama od 30 do 50 MHz (koje uobičajeno koriste uređaji kao što su pejdžeri) sa frakcionalnom širinom područja od 50% i srednjom snagom izlaza manjom od 20 mW. Specijalno razvijeni čipovi protiv ometanja omogućavaju pouzdan rad unutar elektromagnetski gusto zasićenog radnog područja. Upotreba ovih relativno niskih frekvencija pogodna je za specijalne primene kao što su komunikacije između malih čamaca, (npr. diverzantski

čamci), koji se koriste u specijalnim operacijama na vodi. U ovakvim prilikama voda služi kao provodnik talasa, a efekti višestrukih puteva (multipath) izbegavaju se.

Primene UWB tehnologije u bliskoj budućnosti

Direkcija za specijalne tehnologije Ministarstva odbrane SAD sklopila je ugovor vredan 2,12 miliona dolara za razvoj programa LPI/D komunikacija za prenos glasa i podataka zajedno sa prenosom slika, preko sigurne višekanalne mreže sa čvorištima koja se mogu rekonfigurisati. Firma MSSI radila je zajedno sa firmama Rockwell Collins i Racal Communications na varijanti radio-uređaja UWB koji radi u više područja za vezu unutar specijalnih timova. Ove tri firme su, nakon petnaest meseci rada, izradile 10 prototipskih uređaja.

Primena UWB tehnologije očekuje se i u civilnim transportnim organizacijama za međusobnu komunikaciju na malim rastojanjima između vozila ili između vozila i bazne stanice. Na osnovu ugovora sa Direkcijom za istraživanja u oblasti transporta, MSSI razvija „elektronsku licencnu pločicu" za međusobnu komunikaciju između vozila, kao i između vozila i informativnih stanica na auto-putevima za razmenu informacija. Isti sistem treba, takođe, da ima u svom sastavu i UWB radar za izbegavanje sudara. U ovoj oblasti, ali u saradnji sa drugim firmama kao što je Virginia Polytechnic Institute, treba da razvije sistem pod imenom VETAS (Vehicular Electronic Tagging and Alert System) za detekciju vozača kojima je oduzeta ili suspendovana vozačka dozvola i radna licenca. Naručilac ovog sistema je Direkcija za bezbednost transporta na nacionalnim auto-putevima. U martu 1998. godine MSSI je potpuno ovladala prenosom slika u JPEG formatu, kao i tekstualnih informacija od uređaja ugrađenog na vozilu, do prijemnika na auto-putu na distanci od oko 300 m, dok se vozilo kretalo auto-putem uobičajenom brzinom. Uređaj, veličine kreditne kartice, potpuno je kompaktan i napaja se iz baterije. Potencijalno područje primene ovog uređaja u vojsci jeste nadgledanje i identifikacija vozila i tereta koji se prevoze.

U avgustu 1997. godine NSWC (US Naval Surface Warfare Center) sklopio je ugovor sa firmom SBIR (Small Business Innovation Research) za razvoj proširivog UWB linka za prenos podataka pri demonstraciji njihove tehnološki usavršene municije za vazdušnu podršku (FASM – Forward Air Support Munition). Ova municija je namenjena da se, kao jeftin projektil, ispaljuje iz topa na daljinu od 185 km ili više, i da u sebi ima ugrađene senzore za izviđanje bojnog polja i navođenje oruđa na cilj.

U fazi II, MSSI je razvio i prototip kojim se potvrđuje mogućnost upotrebe UWB komunikacionog sistema za prenos video slika visoke rezolucije, preuzimanje radio-saobraćaja sa SINCGARS borbene radio-mreže i uspostavljanje veze za prenos komandi preko linka do FASM projektila u toku njegovog leta. U prethodnoj fazi I, MSSI je već razvio prenosni link koji može da prenosi podatke brzinom većom od 100 Mbit/s. Korišćenje novih konstrukcija prijemnika, predajnika i usavršenih antena, pruža mogućnost za ugradnju robustnih linkova za prenos podataka koji se kao moduli sa više čipova ugrađuju na projektile i mogu da izdrže ubrzanja pri lansiranju koja dostižu i do 20 000 g. Postepena usavrša-

vanja se usredsređuju na postizanje znatnih smanjenja dimenzija, mase i cene. U MSSI-u veruju da bi u serijskoj proizvodnji mogli dostići cenu manju od 2000 dolara po komadu.

Firma General Dynamic Information Systems, u ime DARPA-e, izabrala je firme podizvođače koje će proizvesti UWB primopredajnike i linkove podataka za ugradnju u podvesne kontejnere bespilotnih letelica. Ovaj sistem obuhvata primopredajnike koji rade u C-talasnom području, prijemnike – procesore, signal--procesore slika i usavršene tehnike i sisteme za korekciju grešaka u kodiranju prenosa po kanalima. Ovi linkovi mogu da, u realnom vremenu, sa bespilotne letelice do Zemlje prenesu komprimovani zapis slike brzinom od 30 frejmova/s uz brzinu prenosa od 6 Mbit/s, a u suprotnom smeru, koristeći pomoćni pojas širine 500 MHz, prikrivene komandne i upravljačke informacije brzinom od 128 kbit/s.

MSSI je, po narudžbi DARPA-e, dizajnirao i telemetrijski sistem za program mikroletelica prema ugovoru sa firmom Lutronix Corp. Posao uključuje video link od letelice prema zemlji, uz korišćenje opreme mase samo 5 g, koja bi se ugrađivala na mikro letelicu prečnika samo 10 cm dizajniranu od strane Auburn University. Ovaj LPI/D link, otporan na ometanje, pogodan je za NLOS komunikacije u urbanim sredinama.

Pored primene UWB u sferi komunikacija, MSSI radi i na razvoju primena UWB na polju senzora. U okviru razvoja jeftinog UWB radarskog visinomera visoke tačnosti za bespilotne letelice i krstareće projektile, MSSI je razvila i kombinovani visinomer i senzor za izbegavanje prepreka za program bespilotnih letelica sa rotirajućim krilom. U okviru ovog programa istraživana je mogućnost korišćenja malih, jeftinih bespilotnih letelica za nadzor i izviđanje urbanih sredina. Konačni cilj ovog programa je razvoj potpuno autonomnog sistema koji bi mogao sam da poleti, izvrši planiranu misiju i sleti bez ikakve intervencije operatora. Ovakav projekat zahteva mogućnost detekcije prepreka i njihovog automatskog izbegavanja.

Daljinska detekcija

Početna verzija kombinovanog visinomera i senzora za izbegavanje prepreka radila je u frekventnom pojasu od 400 MHz u L-talasnom području sa kratkim talasnim oblicima trajanja oko 2,5 ns. U toku ispitivanja demonstrirana je mogućnost sistema da sa daljine od 75 m, uz korišćenje srednje snage manje od 10 mikrovata, detektuje provodnik prečnika 6,35 mm, postavljen 3 m iznad površine zemlje. U aprilu 1998. godine MSSI je isporučio još dva usavršena prototipa koji su još kompaktniji, imaju bolje performanse i rade sa linearnom rešetkom niskog profila koja omogućava pokrivanje u obliku lepezastog snopa. Ova varijanta radi u C-talasnom području (5,6 GHz), koristeći pojas širine 500 MHz i detekciju koja obezbeđuje rezoluciju od 30 cm na krajnjem dometu. Jedna bespilotna letelica tipa HUMMINGBIRD sa ovakvom ugrađenom opremom doživela je udes, ali se ista oprema i dalje ugrađuje u zemaljske uređaje sistema za upravljanje letom. Poslednji zadatak na kojem je MSSI radio bio je razvoj prototipa UWB senzora za osmatranje i nadzor šireg područja, koji treba da testira i oceni to područje. Ovaj radar funkcioniše kao vremenski upravljani senzor za detekciju

objekata unutar određenog područja, koji radije koristi odbijenu energiju radarskog signala nego Doplerov signal. Ovakav pristup, kombinovan sa jeftinom kamerom, mogao bi znatno da smanji smetnje prouzrokovane šumovima i lažne uzbune, a prednost UWB sistema je i to što je u stanju da „vidi" i kroz prepreke bez gubitka rezolucije.

Firma Raytheon System Company izabrala je MSSI i za razvoj sistema za precizno impulsno bazirano određivanje geolokacije. Zahtev je da se udaljenost meri relativnom tačnošću boljom od 1 m (sa nivoom poverenja od 95%) na daljinama većim od 250 m i to u restriktivnim sredinama sa visoko izraženim efektom višestrukosti puteva (multipath). UWB tehnologija nudi alternativu drugim pristupima određivanja geolokacije uz pomoć celularne komunikacije (pomoću stanica) za koje su vezani problemi višestrukosti puteva. U poslednje vreme MSSI je dobio i poslove vezane za razvoj integrisanog UWB radarskog senzora male snage za određivanje rastojanja, koji bi se koristio na polju upaljača.

Nacionalna laboratorija „Lawrence Livermore" nastavlja svoj program razvoja impulsnih radara mikrosnage primenjujući ih, pored ostalog, i na polju detekcije mina. Napori se koncentrišu u smeru razvoja poljskog prenosnog detektora mina. Poslednji testovi izvedeni su sa prototipom koji je radio u području od 1 do 5 GHz, gde je ispitivan rad detektora na nekoliko vrsta zemljišta po kojem su bili postavljeni delovi eksplodiranih projektila i američke protivpešadijske mine sa vrlo malim učešćem metalnih delova. U poređenju sa standardnim detektorom za pronalaženje mina, koji je obezbeđivao pronalaženje 44% konvencionalnih mina, novi detektor je u postupnim uporednim testovima obezbedio efikasnost pronalaženja od 85%.

Prema informacijama iz MSSI očekuje se da nove verzije radara MIR rade u području od oko 10 GHz. Poslednji testovi su koncentrisani na ispitivanje prototipskih rešetkastih antena, eksperimentalnih komponenata za detekciju i eliminaciju lažnih alarma, razvoj softvera za obradu slika, razvoj simulatora za proveru radarskih performansi u različitim uslovima upotrebe, ali je primetna i analiza potencijalne upotrebe radara MIR u komercijalne svrhe.

M. Savanović

<<<◇>>>

RAKETNI I PATROLNI ČAMCI „VIMPEL"

Kompanija „Vimpel" proizvodi raketne čamce MUNJA (projekat 12421), patrolne čamce MIRAŽ (projekat 14310) i supermale raketne čamce MANGUST-V (projekat 12150).

Raketni čamac MUNJA namenjen je za gađanje borbenih površinskih brodova, transportnih i desantnih sredstava protivnika u priobalnim zonama i na otvorenim morima. To je savremeni borbeni brod treće generacije, opremljen udarnim raketnim, raketnim protivavionskim i artiljerijskim naoružanjem.

MUNJA je, u odnosu na svoju klasu i relativno mali deplasman, naoružana sa četiri nadzvučne protivbrodske rakete MOSKIT i opremljena radarskim sistemom GARPUN-BAL.

Protivbrodska raketa MOSKIT ima vrlo dobre karakteristike, a radarski si-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, jul-avgust, 1999.

stem predstavlja poslednju reč u razvoju radio-elektronskih sistema te namene.

Protivavionsko raketno oružje namenjeno je za uništavanje ciljeva u vazdušnom prostoru u uslovima vizuelnog osmatranja. Na brodu se nalazi 12 prenosnih protivavionskih raketnih sistema IGLA. Na prednjem delu broda ugrađeno je artiljerijsko oruđe AK-176, kalibra 76,2 mm, a na krmi dva oruđa 30 mm AK-630 za odbijanje napada iz vazdušnog prostora i uništavanje plovećih mina.

Visoke plovne kvalitete čamca MUNJA obezbeđuju upotrebu oružja pri stanju mora 5 stepeni i bezbednu plovidbu pri stanju 8 stepeni. Predviđena je upotreba i u tropskim područjima.

Čamac MUNJA opremljen je sredstvima za zaštitu od oružja za masovno uništenje (nuklearno, hemijsko, biološko), kao i od nekontaktnog minskog oružja.

Osnovne karakteristike raketnog čamca MUNJA

puni deplasman (t)	500
dužina (m)	56,9
širina (m)	13,0
maksimalna brzina (čvorova)	35–38

Patrolni čamac MIRAŽ je brzi gliserski čamac. Njegovo korito je izrađeno od legure aluminijum-mangana, a namenjen je za zaštitu teritorijalnih voda i ekonomskih zona. Može da izvršava zadatke za potrebe obalskih straža, pomorske policije, carinskih službi i ribarske inspekcije.

Karakteristika čamca je moćno naoružanje, velika brzina i plovnost, koje su obezbeđene sistemom automatski upravljanih interceptora. Primenom tog sistema poboljšane su brzinske karakteristike broda za 8 do 10 čvorova i smanjena amplituda ljuljanja za dva i više puta.

Osnovne karakteristike patrolnog čamca MIRAŽ

najveća dužina (m)	34,95
najveća širina (m)	6,79
puni deplasman (t)	121,1
max. brzina (uključeni interceptori) (čvorova)	do 50
ekonomična brzina (čvorova)	8

Za gađanje ciljeva u vazdušnom prostoru i manjih ciljeva na vodi, na brodu je ugrađeno artiljerijsko oruđe AK-306 (brzina gađanja – 1000 metaka/min, domet – 5200 m, borbeni komplet – 500 metaka 30 mm).

Streljačko naoružanje obuhvata dva mitraljeza 14,5 mm, sa borbenim kompletom od 1000 metaka, koji je složen u redenike i municijske kutije, i koji se može udvostručiti.

Za gađanje ciljeva na vodi i obalskih ciljeva na brodu je ugrađen raketni sistem ŠTURM, koji se sastoji od dva trocevna kontejnera s raketama ATAKA. Maksimalni domet raketa upravljanih po radio-signalu je 5800 m, a brzina gađanja 2 do 3 opaljenja u minuti.

Za gađanje ciljeva u vazdušnom prostoru koristi se prenosni protivavionski raketni sistem IGLA. Po potrebi čamac se može kompletirati i ručnim bacačem granata DP-64 za borbu za podvodnim diverzantima na udaljenosti do 400 m, na dubinama do 40 m, i radijusu do 14 m od mesta eksplozije projektila pod vodom.

Kretanje na maksimalnom broju obrtaja glavnih motora dozvoljava se pri stanju mora od 4 stepena. Pri stanju mora od 5 stepeni brzina iznosi do 24 čvora. Korišćenje naoružanja moguće je pri stanju mora 4 do 5 stepeni. Bezbedna plovidba pri smanjenim brzinama moguća je pri stanju mora do 7 stepeni.

Superlaki raketni čamac MANGUST-V je brzi gliser, čije je korito izrađeno od legure aluminijum-mangana. Namenjen je za dejstvo na poziv u teritorijalnim vodama, kontrolu ustanovljenog režima plovidbe i izvršavanje zadataka iz domena pomorske policije, carinske službe i ribarske inspekcije.

Osnovne karakteristike superlakog raketnog čamca MANGUST-V

gabaritna dužina (m)	18,7
najveća širina (m)	4,4
puni deplasman (t)	30
maksimalna brzina plovidbe (čvorova)	45
ekonomična brzina plovidbe (čvorova)	30

Čamac žadovoljava zahteve Registra o sigurnosti plovidbe za rejone s „Ograničenjem-1", koji se karakteriše mogućnošću udaljavanja do 200 milja od matične luke.

Kretanje čamca pri stanju mora 2 stepena obezbeđuje se bez ograničenja na režimima rada motora do 1550 o/min. Bezbedna plovidba sa smanjenim brzinama moguća je pri stanju mora 4 stepena. Naoružanje čamca MANGUST-V obuhvata raketno-artiljerijski sistem VIHOR-K, koji se sastoji od dva lansera za vođene rakete VIHOR (dometa do 10 km), artiljerijskog oruđa 30 mm AK-306, zajedničkog televizijskog sistema za upravljanje vatrom s automatskim praćenjem cilja za rakete i top, i mitraljeza 14,5 mm prilagođenog za brodove. Po potrebi može se dodati bacač granata 30 mm i mitraljez 7,62 mm.

M. Krbavac

tehničke novosti i zanimljivosti

RAKETA ZEMLJA-VAZDUH ASTER 30*

Kompanija Eurosam razvila je novu raketu kako bi obezbedila sposobnost dejstva protiv taktičkih balističkih raketa (ATBM) za svoju familiju sistema PVO u armijama Francuske i Italije.

Eurosam, formiran od kompanija Aerospatiale Matra, Alenia Marconi i Thomson-CSF, ozvaničio je razvoj zemaljskog protivraketnog sistema zemlja-vazduh (Surface-to-Air Anti Missile) – Land SAAM AD i rakete Block 1.

Sadašnji mornarički sistemi koriste radare ARABEL/EMPAR i rakete ASTER 15; mornarički sistemi + osnovni sistem SAAM koriste radare EMPAR/SAMPSON i rakete ASTER 15 i ASTER 30; Land SAAM AD koristi radare ARABEL i rakete ASTER 30. Svi ovi sistemi koriste iste komandne i kontrolne sisteme, a rakete se lansiraju vertikalno naviše.

Sistem Land SAAM AD razvijen je kako bi zamenio dosadašnji američki raketni sistem zemlja-vazduh Improved Hawk kompanije Raytheon Systems, koji se koristi u francuskoj i italijanskoj armiji. On, takođe, može da zameni i CROTALE, rakete kratkog dometa zemlja-vazduh, koje se nalaze u francuskom ratnom vazduhoplovstvu. Ispitivanja su izvršena na Sardiniji krajem 1998. godine, a dva proizvedena sistema se proveravaju. Konačna ispitivanja izvršiće se sredinom 2000. i početkom 2001. godine.

Kompanija Eurosam očekuje da će dobiti formalan ugovor za izradu Land SAAM AD krajem 1999. godine, a kada se uvede raketa ASTER 30, sistem će dobiti protivraketnu balističku sposobnost za dejstvo protiv aviona, krstarećih raketa i protivradarskih raketa.

Raketa Block 1 treba da se ispituje tokom 2003. godine, a uvođenje u naoružanje planira se 2005. godine. Ona će se zasnivati na raketi ASTER 30, ali će imati poboljšano vođenje i mehanizam uništavajućeg dejstva.

Dalje promene odnose se na poboljšane performanse kontrole vektorom potiska. Kako bi se obezbedilo pogađanje ciljeva na većim visinama moguće je da se sadašnja glava za samonavođenje zameni glavom sa aktivnim radarom ili IC glavom, pa čak i glavom za samonavođenje sa dvostrukim modom. Pored toga, sadašnja višenamenska bojna glava može se zameniti bojnom glavom ATBM.

Land SAAM AD ugrađuje se na šasiju kamiona Renault TRM 10 000 (6 × 6) ili Iveco (8 × 8), kako bi se postigao veći nivo taktičke i strategijske

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 29. juli 1999.

pokretljivosti. Tipična baterija Land SAAM AD imaće višefunkcionalni 3D radar ARABEL, C^2 modul i 6 lansirnih vozila sa po 8 raketa u lansirnim kontejnerima, koji se moraju postaviti u vertikalan položaj pre lansiranja.

Radar ARABEL pokriva prostor 360° po azimutu i od –5° do +90° po elevaciji i može istovremeno da izvršava funkcije vazdušnog osmatranja, praćenja i upravljanja vatrom. Može da prati više od 100 ciljeva i da gađa istovremeno 10 ciljeva sa više od 16 raketa.

Raketa ASTER 30 ima brzinu letenja od 1400 m/s, masu pri lansiranju 510 kg i karakteristike aerodinamičnosti sa glavom za samonavođenje sa aktivnim radarom i blizinski upaljač.

Prema raspoloživim podacima Land SAAM AD može obezbediti sistemu PVO domet veći od 100 km (120 km protiv ciljeva koji ne primenjuju manevar). Pored toga, zahteva manji broj članova posade, jednostavan je za rad, prenosi se vazdušnim putem, a karakteriše ga i taktička pokretljivost.

V. R.

<<<◇>>>

UVOĐENJE U UPOTREBU RAKETE MICA*

Prva serija raketa vazduh-vazduh MICA, naručena od firme Matra BAe Dynamics, decembra 1997. godine, avgusta 1999. godine uvedena je u upotrebu u RV Francuske u floti borbenih aviona MIRAGE 2000–5.

Predstavnici RV Francuske potvrdili su da će se oružje uvoditi u upotrebu postepeno u narednim mesecima. S tim u vezi, RV je naručilo 37 aviona MIRAGE 2000–5 od firme Dassault Aviation, od kojih je 20 već isporučeno.

Ministarstvo odbrane Francuske naručilo je 225 raketa MICA u višegodišnjem ugovoru u vrednosti od 240 miliona dolara. Očekuje se da Francuska dobije više od 3000 raketa MICA. One će se ugrađivati na vazduhoplovne i mornaričke verzije aviona RAFALE, zajedno sa MIRAGE 2000–5, kao i na buduće modernizovane verzije MIRAGE 2000.

Francuska je, inače, treća zemlja kojoj su isporučene ove rakete. Matra BAe Dynamics isporučila je Tajvanu oko 1000 raketa, počevši od kraja 1996. godine, kako bi se opremili tajvanski borbeni avioni MIRAGE 2000–5. Druga serija isporučena je Kataru krajem 1997. godine, za njihovih 12 aviona MIRAGE 2000–5.

Isporuka raketa MICA dešava se u vreme nesuglasica u Francuskoj u vezi sa kratkim vekom raketa vazduh-vazduh. Izveštaji iz francuskog parlamenta o finansijskoj participaciji učešća u agresiji NATO na SRJ otkrili su da su mnoge rakete MAGIC 2 i SUPER 530D na avionima MIRAGE 2000 ispunile svoj operativni vek tokom tromesečnog konflikta, i da su bile povučene iz upotrebe.

Izveštaji govore da su rakete postavljene na borbenim avionima bile bojno spremne samo 200 sati leta u uslovima vibracija, povećane vlažnosti, ekstremnih varijacija temperature i pritiska. Kako se navodi u izveštajima, kada su normalno uskladištene, njihov vek je oko 10 godina. Međutim, kada se jednom postave ispod krila aviona, njihovi elektronski i žiroskopski sistemi (potrebni u borbenim situacijama) imaju apsolutni limit 200 sati.

Francuski avioni nisu opremani raketama vazduh-vazduh tokom agresije NATO na SRJ. Navedeno je da povlače-

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 28. juli 1999.

nje raketa MAGIC 2 i SUPER 530D košta oko 20,6 miliona dolara, kao i da vek raketa MICA iznosi oko 500 sati.

V. R.

<<<◇>>>

ISPITIVANJA PROTIVTENKOVSKE RAKETE LAHAT*

Zvaničnici izraelske vazduhoplovne industrije su potvrdili da je serija ispitivanja laserski vođene protivtenkovske rakete LAHAT (LAser Homing Anti-Tank), okončana i da je ona spremna za uvođenje u prototipsku fazu. Potpuna ispitivanja sistema obaviće se odmah nakon prve velike porudžbine.

Postojanje rakete LAHAT obelodanjeno je 1998. godine kada je model projektila prikazan u SAD, i ozvaničeno da će kompanija Dynamics Ordnance biti odgovorna za njen plasman na tržištu SAD. Ugovoreno je da raketa LAHAT postane deo studije budućeg lakog hibridnog ofanzivnog oružja.

Raketa LAHAT može da se ispaljuje iz topova 105 mm i 120 mm u osnovnim borbenim tenkovima. Izraelska vazduhoplovna industrija razvila je i adapter za ugradnju u topove 120 mm sa glatkom cevi, kako bi se raketa mogla ispaljivati i iz tih oruđa.

Ispitivanja su izvršena gađanjem iz topova 105 mm M68, kojima su naoružani tenkovi M60A3 i MERKAVA Mk II, kao i iz topa 120 mm na tenku MERKAVA Mk III.

Osnovna namena rakete LAHAT jeste da gađa i uništava borbene tenkove i helikoptere na dometima većim od konvencionalnih tenkovskih topova. Raketa LAHAT se pokazala boljom u odnosu na postojeću tenkovsku municiju 105 mm i 120 mm.

Mada nema pouzdanih podataka efikasan domet rakete LAHAT je, verovatno, oko 5000 m. Prikazana je kao sistem koji zahteva minimalne modifikacije radi prilagođavanja tenkovskom sistemu za upravljanje vatrom.

Raketa LAHAT karakteriše se tandem-protivoklopnom bojnom glavom za uništavanje ciljeva koji su opremljeni eksplozivnim reaktivnim oklopom, i ima poluautomatski laserski sistem vođenja.

V. R.

<<<◇>>>

RUSKI OKLOPNI TOPOVSKI SISTEM*

Model samohodnog protivtenkovskog topa, model 2S25, ekvivalentan američkom oklopnom topovskom sistemu, prikazan je na izložbi naoružanja i vojne opreme IDEX u Abu Dabiju 1999. godine. Mada se pojavilo 1998. godine, vozilo je izdržalo seriju ispitivanja i spremno je za serijsku proizvodnju.

Bazirano na izduženoj šasiji vozila BMD-3 sa po sedam oslonih točkova, top 2S25 ima borbenu masu od 18 tona. Pogon se ostvaruje dizel motorom 2V-06-2C, snage 375 kW (510 KS), povezanog sa hidromehaničkom-hidrostatičkom transmisijom.

Specifični pritisak vozila na tlo iznosi 0,052 MPa sa standardnim gusenicama, a 0,035 MPa sa gusenicama za zimske uslove. Maksimalna brzina kretanja po putu je 71 km/h (10 km/h ploveći). Može se prenositi transportnim avionom Il-76. Oklopna zaštita je efikasna od dejstva

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 4. avgust 1999.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 5/1999.

pancirnih metaka 12,7 mm, na čeonom delu koji je postavljen pod uglom od 40°. Elastično oslanjanje je sa promenjivom visinom klirensa (od 100 mm do 500 mm).

Sistem 2S25 naoružan je topom 125 mm 2S27 sa glatkom cevi, koji je stabilisan u dve ose i koristi istu familiju projektila kao i topovi na tenkovima T-72 i T-80. U tenk se može smestiti ukupno 40 projektila, uključujući i 22 u automatskom punjaču, a brzina gađanja iznosi 7 metaka u minuti. Za koaksijalni (spregnuti) mitraljez 7,62 mm PKT borbeni komplet iznosi 2000 metaka.

Najlakše vozilo iz ove kategorije do sada je bilo švedsko vozilo UDES-XX-20, koje je imalo masu od 23 do 24 tone i top 120 mm sa glatkom cevi sa velikim trzanjem i velikom gasnom kočnicom. Nasuprot tome top 2S25 nema gasnu kočnicu, ima sposobnost gađanja po azimutu od 360° i po elevaciji –5/+15°. Takođe, ističe se i mogućnost gađanja iz topa kada vozilo plovi.

V. R.

<<<◇>>>

SAMOHODNA HAUBICA 155 MM G6 I PROJEKTILI KRASNOPOLJ*

Inertne verzije ruskih artiljerijskih projektila KRASNOPOLJ i KRASNOPOLJ-M sa poluautomatskim vođenjem, korišćene su u testovima gađanja iz poznate južnoafričke samohodne haubice 155 mm G6.

Ispaljen je 21 projektil kako bi se proverila kompatibilnost ruskih projektila sa južnoafričkim punjenjem i 45-kalibarskim artiljerijskim cevima. Od tih projektila 10 je imalo masu modela projektila KRASNOPOLJ 155 mm od 51,2 kg, a 6 su imali masu od 44,6 kg (skraćeni KRASNOPOLJ-M).

Konačna sekvenca testova obuhvatala je gađanje sa pet inertnih nevođenih uzoraka dužih projektila KRASNOPOLJ. Korišćeni su elementi modularnog sistema punjenja za pet zona (zone 1–3, tj. M51, M52 i M53 kao i dopunsko punjenje), sa početnom brzinom od 626 m/s, koja je postignuta sa punjenjem zone 3 pri temperaturi od 60°C.

Projektili KRASNOPOLJ isporučeni su bez raketnih bustera, a maksimalno ostvareni domet bio je 13 km (sa raketno podržanim projektilom maksimalni domet je 22 km). Projektil KRASNOPOLJ-M ne sadrži buster, ali manja masa projektila daje početnu brzinu od 654 m/s (zona 3 punjenja) pri 21°C. Osim toga, poboljšana varijanta baznog projektila KRASNOPOLJ (AURORA, projektovana da se ispaljuje iz ruskog topa 152 mm), koja ima masu od 51,8 kg i minijaturnu elektroniku, omogućava smeštaj veće količine eksploziva i biće uključena u proizvodnju.

V. R.

<<<◇>>>

NOVI KOREJSKI MINOBACAČ 81 mm*

Južnokorejska kompanija KIA razvila je novi minobacač 81 mm K187, koji će ponuditi i stranom tržištu.

Minobacač K187 ima četiri osnovne celine: cev minobacača kalibra 81 mm, kružnu osnovnu ploču, podesivi dvonožac i optički nišanski sistem koji se ugrađuje sa leve strane. Takođe, može se koristiti

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 9/1999.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 11. avgust 1999.

zajedno sa minobacačkim računarom, koji je prvobitno razvijen za laki minobacač 60 mm KM181.

Osnovna ploča je izrađena zavarivanjem od nerđajućeg čelika velike zatezne čvrstoće, tako da se minobacač može koristiti i na tvrdoj betonskoj podlozi. Cev je manje debljine, a projektovana je tako da uspešno provodi toplotu nastalu kontinualnim ispaljivanjem mina.

Nišanski sistem KF812, koji je, takođe, ugrađen na minobacač 60 mm KM181, ima radioaktivni poluiluminatni izvor (osvetljivač) potreban za uslove noćnih borbenih dejstava, uvećanje od 2× i vidno polje od 12° 12′.

Kada gađa standardnom razornom minom KM374, minobacač K187 može ostvariti maksimalni domet 4921 m i minimalni domet 69 m. Međutim, minobacačem se može ostvariti maksimalni domet od 6335 m i minimalni od 69 m, kada se gađa poslednjom verzijom razorne mine M247. Minobacač K187 može da izdrži brzinu gađanja od 30 mina za prvih 90 sekundi, a posle toga 8 do 10 mina u minuti. Bez nišanske jedinice KF812 (koja ima masu od 1,5 kg) ukupna masa sistema je 42 kg. Dužina cevi je 1,55 m, a maksimalni pritisak u komori iznosi 96 MPa.

Minobacač K187 može gađati osvetljavajućom minom KM301 i dimnom municijom KM375, kao i savremenijim vrstama dimne municije K248 i školskim minama KM249.

V. R.

<<<◇>>>

SISTEMI PVO U GRČKOJ*

Sposobnost PVO grčke armije znatno je povećana dobijanjem prvih elemenata američkog sistema PATRIOT i ruskog sistema TOR-M1.

Grčka je naručila pet baterija sistema PATRIOT za gađanje na velikim i srednjim visinama, sa opcijom i za dodatnu šestu bateriju. Prva baterija PATRIOT PAC-2 trebalo je da se isporuči krajem septembra ili početkom oktobra 1999. godine. Ti sistemi će se koristiti za obuku RV i PVO grčke armije, sve dok se ne isporuče operativni sistemi PATRIOT PAC-3.

Prvih šest samohodnih sistema PVO TOR-M1 (NATO oznaka SA-15 „GAUNTLET") firme Antey, naručeni su oktobra 1998. godine, a isporuka se očekuje tokom novembra 1999. godine. Konačna isporuka 21 naručenog sistema očekuje se septembra 2000. godine.

Zvanična Atina nije potvrdila izjave da će 15 sistema TOR-M1 pokloniti Kipru. Zbog međunarodnog pritiska, baterija ruskog sistema PVO S-300 PMU-1 biće stacionirana na grčkom ostrvu Krit u sastavu 138. borbene grupe. Pretpostavlja se da će šest sistema TOR-M1 biti razvijeno na Kritu radi zaštite baterije S-300.

Takođe, Ministarstvo odbrane Grčke nedavno je potpisalo ugovor sa kompanijom Thomson-CSF iz Francuske za nabavku 11 sistema zemlja-vazduh nove generacije CROTALE NG (New Generation) za gađanje na malim visinama.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 18. avgust 1999.

<<<◇>>>

BTR-90: VOZILO ZA 21. VEK*

Oklopna vozila točkaši najpogodnija su za izvršenje borbenih zadataka u savremenim uslovima, pa brojne zemlje rade na njihovom razvoju. Početkom 21. veka to će biti najznačajniji deo motorizacije kopnene vojske.

Projektanti su razvili novi oklopni transporter točkaš BTR-90, koji po svojim kvalitetima znatno nadmašuje priznate transportere BTR-60PB, BTR-70, BTR-80, kao i slične oklopne transportere izrađene do danas.

Prednosti oklopnog transportera BTR-90 posebno se ističu u tri glavna parametra: vatrenoj moći; pokretljivosti, prohodnosti i brzini, i zaštiti.

Naoružanje transportera čini, po pravilu, mitraljez 12,7 mm ili 14,5 mm i spregnuti mitraljez 7,62 mm. Odskora se umesto mitraljeza velikog kalibra ugrađuje top malog kalibra 25 ili 30 mm.

U borbenom odeljenju BTR-90 montirano je četiri vrste naoružanja. To su automatski top 30 mm 2A42, mitraljez 7,62 mm PKT, bacač granata 30 mm AG-17 i protivtenkovski vođeni raketni sistem KONKURS. Borbeno odeljenje stabilizovano je u dve ravni, a omogućava stacionarnu i pokretnu vatru, danju i noću, po različitim ciljevima (uključujući i tenkove) na rastojanjima preko 4000 m, po borbenim vozilima pešadije, helikopterima i inžinjerijskim objektima na rastojanju od 2000 do 2500 m, po živoj sili protivnika (nezaštićena, u rovovima i zaklonima) na rastojanju do 4000 m.

U komfornom borbenom odeljenju nalaze se komandir vozila i nišandžija topa. Komandir vozila ima potpuni uvid u situaciju, što mu omogućava dobru



Borbeno vozilo BTR-90

kontrolu oružja, lako uočavanje cilja i dobru saradnju sa nišandžijom topa. U borbenom odeljenju smešten je dnevnonoćni nišan BRKZ-42 za nišandžiju i dnevni nišan 1P-13, radio-stanica i oprema za komandira. Prema zahtevu kupaca borbeno odeljenje se može kompletirati nišanom topa BPK-M s termičkim modulom izrađenim u Francuskoj.

Transporter BTR-90 ima nosivost 7 t i unutrašnju zapreminu 13 m^3, pa je moguća ugradnja i težih sistema naoružanja, kakvo je u borbenom odeljenju BMP-3, PT top, top 120 mm, raketni sistemi PVO i protivtenkovski raketni sistemi.

M. K.

<<<◇>>>

SPORAZUM EGIPTA I FINSKE O ARTILJERIJSKIM SISTEMIMA*

Finska kompanija Patria Vammas sklopila je sporazum sa Egiptom koji se odnosi na prodaju licencne dokumentacije i izvozne tehnologije za izradu vučne verzije topa-haubice 155 mm, 52 kalibra. Sporazum uključuje isporuku jednog oružja i komponenti. Akvizicija ovog sistema označava drugi korak u projektu standardizacije artiljerijskih sistema u armiji

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar-oktobar, 1999.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 25. avgust 1999.

Egipta (koja raspolaže „istočnim" kalibrima, kao što su 122 mm) prema zapadnim kalibrima 155 mm. Danas u armiji Egipta postoji samo jedan sistem 155 mm – LP M109A2, kojih je oko 200 u upotrebi.

Realizacija sporazuma (vrednog oko 21 milion dolara) trebalo bi da počne do kraja 1999. godine.

Kompanija Patria Vammas razvila je sistem 155 mm GH 52 APU u saradnji sa armijom Finske. Usledila su ispitivanja i izrada prvog prototipa, a armija Finske naručila je određeni broj sistema pod oznakom 155 mm K98, čija je isporuka završena 1998. godine. Finska je prva zemlja u Evropi koja ima vučni artiljerijski sistem od 52 kalibra. Neke od značajnijih karakteristika ovog sistema jesu domet od 42 km, poluautomatski zatvarač i poboljšani pneumatski sistem punjenja, koji obezbeđuje brzinu gađanja od tri granate svakih 12 sekundi.

V. R.

<<<◇>>>

OKLOPNO VOZILO OD KOMPOZITNIH MATERIJALA*

Razvoj eksperimentalnog oklopnog vozila od kompozitnih materijala u Velikoj Britaniji nastavljen je modeliranjem poboljšane kompozitne oklopne platforme vozila (ACAVP) i novim konceptom sa poboljšanim karakteristikama preživljavanja (izdržljivosti) (HSC). Predviđeno je demonstriranje mogućnosti upotrebe kompozitnog tela u budućem izviđačkom vozilu u kategoriji 18 do 25 tona. Kompozitni materijali u konstrukciji ACAVP sadrže E-fiberoptičko staklo punjeno epoksidnim smolama, a telo je modelirano pomoću vakuumom podržanog procesa transfera smole.

Telo vozila ima dva modula: gornji modul koji obuhvata kosine (nagibe) i postolje, i donji deo koji inkorporira dno (patos) i bočne stranice vozila.

Proizvodnja modela je kasnila u odnosu na prvobitni plan. Međutim, sada su kompletirani i proizvode se od juna 1999. godine. Kao što je planirano, telo će biti integrisano sa komponentama borbenog vozila pešadije WARRIOR, firme Alvis, i opremljeno kupolom od aluminijuma sa izviđačkog vozila FOX.

Telo ACAVP biće opremljeno čeličnim pločama velike tvrdoće i povećaće zaštitu od dejstva pancirnih projektila. Korišćenje dodatnih čeličnih ploča nije tako efikasno kao dodavanje keramičkih ploča, ali su one otpornije na višestruke pogotke i mogu lako da se skinu (na primer, radi transporta avionima).

Zavisno od nivoa zaštite telo sa dodatnim čeličnim pločama treba da ima masu manju za 6 do 15% nego telo od aluminijuma i čelika, koje obezbeđuje isti stepen balističke zaštite. Planirano je da ispitivanje vozila počne u 2000. godini.

U međuvremenu, projektovano je vozilo HSC radi demonstracije prednosti korišćenja kompozita u konstrukciji vozila znatno lakših od ACAVP. Vozilo HSC je četverotočkaš mase ne veće od 4,8 tona. Ispod oklopa ima zapreminu od 8 m^3 i prilagođeno je za različite borbene namene. Posebno interesantno i efikasno rešenje je što se kompozitni moduli tela vozila modeliraju u monokok strukturi. HSC vozilo obezbeđuje zaštitu od dejstva municije manjeg kalibra a višeslojni kompozitni zidovi znatno redukuju efekte iza oklopa prilikom pogotka.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 5/1999.

<<<◇>>>

RUSKO BORBENO VOZILO TOS-1*

Ruski projektantski biro GUP iz Omska obelodanio je ograničenu informaciju o borbenom vozilu TOS-1, koje je zasnovano na šasiji tenka T-72.

Vozilo TOS-1 razvijeno je krajem osamdesetih godina i u malim serijama, uvedeno u naoružanje početkom devedesetih godina. Dosada nije javno prikazano.

Tačna operativna namena borbenog vozila TOS-1 nije precizno definisana, ali je sistem, verovatno, razvijen za dejstva u Avganistanu, gde se pokazao efikasnim u dejstvima na planinskom terenu. Druga moguća uloga ovog vozila je upotreba protiv protivtenkovskih jedinica NATO-a u ključnim odbrambenim oblastima, posebno u urbanim sredinama.

Vozilo TOS-1 je, u suštini, tenk T-72 sa kojeg je uklonjena originalna kupola sa topom 125 mm i zamenjena niskoprofilnom kupolom, takođe za dva člana. Veliki kutijasti spremnik ugrađen je na gornjem delu kupole sa mogućnošću pokretanja po azimutu i elevaciji. Unutar te strukture smešteno je 30 raketnih cevi kalibra 220 mm u četiri reda. U gornjem redu nalazi se 6 lansirnih cevi, a u ostala tri reda po 8 lansirnih cevi. Rakete imaju maksimalni domet 3500 m i minimalni domet 400 m. Puni plotun od 30 raketa ispali se za 7,5 sekundi, mada operator može izabrati plotune od dve ili više raketa.

Nevođene rakete imaju bojnu glavu sa aerosolnim eksplozivom (ili termobaričnu b/g) koja je vrlo efikasna protiv jedinica na otvorenom prostoru ili koje su ukopane, kao i protiv lakih oklopnih vozila. Bojna glava sa aerosolnim eksplozivom generiše na površini cilja veliki natpritisak od kojeg, praktično, ne postoji efikasna odbrana.

Kompletan sistem TOS-1 ima masu od 46 tona, maksimalnu brzinu kretanja po putu 60 km/h i akcioni radijus 550 km.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 11. avgust 1999.

<<<◇>>>

PROIZVODNJA NOVIH TENKOVA U KINI*

Očekuje se da će Kina u toku 1999. godine započeti serijsku proizvodnju i uvođenje u operativnu upotrebu svojih novih tenkova TYPE 88B i TYPE 88C, kao i da nastavi sa razvojem borbenog tenka TYPE 90-II.

Tenkovi TYPE 88B/C predstavljaju nove varijante tenka TYPE 80 proizvedenog u kompaniji NORINCO (China North Industries Corporation), koji je uveden u upotrebu 1988. godine i poznat pod nazivom TYPE 88 ili TYPE 69-III. Tehnički detalji još nisu dovoljno poznati, ali su modeli prikazani na glavnoj paradi povodom godišnjice revolucije 10. oktobra u Pekingu.

Tenk TYPE 90-II takođe je prikazan na istoj paradi, ali sa eksperimentalnim platformama. Kina je prikazala tenk TYPE 90-II pre devet godina, ali serijska proizvodnja još nije počela, što ukazuje na prisutnost različitih problema u njegovom razvoju.

Tenk TYPE 90-II je predviđen za izvoz, a licencna proizvodnja potpisana je sa Pakistanom maja 1990. godine. Modifikovane verzije ovog tenka poznate su pod nazivom KHALID, kao i TENK-2000 ili P-90, a njihova proizvodnja je

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 11. avgust 1999.

kasnila zbog problema sa municijom i kompatibilnošću proizvodnog procesa u Kini i Pakistanu.

V. R.

<<<◇>>>

INDIJA NABAVLJA TENKOVE T-90S*

Armija Indije namerava da uveze 90 ruskih tenkova T-90S, za opremanje dva oklopna puka, uprkos problemima sa motorima koji su se javili na tri tenka pri ispitivanju u Indiji. Na turbopunjenim motorima V84-1 snage 840 KS (≈ 620 kW) u tri slučaja došlo je do pregrevanja pri radu na temperaturi okoline 44°. Prvobitno, motori su dobro radili u noćnim uslovima, a problemi su se pojavili na tri motora i, na kraju, jedan motor je pretrpeo znatno oštećenje zbog pregrevanja. Postoje i indicije da će tenk pokretati motor snage 1000 KS (≈ 740 kW) sa poboljšanim sistemom hlađenja.

Indija i Pakistan vodili su dva od tri svoja rata u regionu Kašmira, a od majskog uplitanja militantnih grupa podržanih od Pakistana obe zemlje su pojačale svoje snage duž granice. Armiji Indije urgentno su potrebni tenkovi T-90S radi pariranja tenkovima T-80UD koje je Pakistan kupio od Ukrajine (320 tenkova). Armija je tražila direktnu nabavku oko 300 tenkova T-90S, koju bi zatim sledila licencna proizvodnja. Oni će sukcesivno zameniti 540 tenkova VIJAYANTA, i 400 tenkova T-55 opremljenih topovima kalibra 105 mm. Tenk T-90S košta oko 2,4 miliona dolara.

Neki zvaničnici Ministarstva odbrane nerado su podržali nabavku tenkova T-90S, navodeći da će se ona loše odraziti na domaći tenk ARJUN, koji ima određene tehničke poteškoće. Armija zahteva da se šasija tenka ARJUN koristi za montažu južnoafričkog kupolnog sistema LIW T6 sa 52-kalibarskim topom 155 mm.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 14. juli 1999.

<<<◇>>>

NIŠANSKA OPREMA ZA BORBENO VOZILO DARDO*

Italijanska kompanija OtoBreda sklopila je sa američkom kompanijom Kollsman ugovor vredan 34 miliona dolara, radi snabdevanja dnevno-noćnim nišanima za borbena vozila pešadije DARDO. Ugovor uključuje rezervne delove, obuku i logističku podršku.

Nišanska sprava omogućava nišandžiji da detektuje, izviđa i gađa ciljeve u dnevnim i noćnim uslovima, dok je vozilo DARDO u pokretu ili kad miruje, tako da će se povećati verovatnoća pogađanja prvim metkom.

Nišanska sprava će se ugrađivati na mestu nišandžije na kupoli OtoBreda TC-25 za dva člana, koja je naoružana Oerlikon Contraves topom kalibra 25 mm KBA. Vozilo je, takođe, naoružano spregnutim mitraljezom 7,62 mm MG 42/59.

Nišansku spravu na vozilu DARDO karakteriše termalni kanal, dnevni kanal sa uvećanjem 12×, integrisani laserski daljinomer i integrisana sposobnost žičnog vođenja protivtenkovske rakete velikog dometa TOW. Sistem podrazumeva daljinski upravljani displej nišandžije i termalnu sliku na komandirovom mestu.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 18. avgust 1999.

Prve dve nišanske sprave biće isporučene krajem 1999. godine, a konačna isporuka se očekuje do 2004. godine. Celokupna proizvodnja obavljaće se u SAD.

Nišanska sprava može da se ugradi na kupolu OtoBreda 30 mm koja se instalira na gusenično oklopno izviđačko vozilo Stormer 30, i na kupolu OTO-BREDA 25 mm odobranu za vozilo VBC 8 × 8 za armiju Italije. Kompanija Kollsman će, takođe, obezbediti termalni nišan za švedsko vozilo CV 9040 i za norveško vozilo CV 9030.

V. R.



Tenk DEGMAN

HRVATSKI TENK DEGMAN*

Hrvatska je prikazala svoj novi osnovni borbeni tenk DEGMAN, koji predstavlja poboljšanu verziju tenka M-84A4. Planira se da serijska proizvodnja započne krajem 2000. godine, sledeći sadašnji proizvodni ciklus tenka M-84A4.

Tenk DEGMAN je naoružan topom 125 mm D-81 sa glatkom cevi i automatskim punjačem, koji je ugrađen u čeličnu kupolu izrađenu zavarivanjem. Pokreće ga dizel motor snage ≈ 740 kW (1000 KS) koji je povezan sa automatskom transmisijom. Na prednjem (čeonom) delu oklopnog tela ugrađeni su paneli eksplozivnog reaktivnog oklopa, što mu obezbeđuje veći nivo izdržljivosti na bojištu.

Sistem za upravljanje vatrom tenka DEGMAN je poboljšana verzija sistema OMEGA na tenku M-84A4, koji se izrađuje u firmi Fotona u Sloveniji. Ostala elektronska poboljšanja uključuju sistem za NHB zaštitu i detekciju, a kompjuterski kontrolni panel integriše monitoring vozača sa navigacionim sistemom i ostalim funkcijama. Komunikacioni sistem izrađuje firma Racal iz Velike Britanije.

Prototip tenka DEGMAN nalazi se u fazi balističkih i ostalih ispitivanja, dok se njegovi elektronski sistemi ispituju na osnovnoj verziji, tenku M-84A4. Pogonski agregat tenka DEGMAN predstavlja poboljšanu verziju originalnog sovjetskog agregata, dok je automatska transmisija namenski razvijena.

Procenjuje se da Hrvatska ima oko 300 borbenih tenkova svih tipova, od kojih samo mali broj tenkova M-84.

V. R.

NOVO NAORUŽANJE ZA LOVCE MiG*

Jedan od najvažnijih faktora borbenih mogućnosti aviona je količina i kvalitet pripadajućeg naoružanja. Zato je izbor avionskog naoružanja višestruko zna-

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 28. juli 1999.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar-oktobar, 1999.

čajan i kompleksan proces. Na primer, mogućnosti lovca da dobije duele na velikim rastojanjima zavise od njegovih ukupnih taktičkih performansi. U bliskoj borbi, posebno za rakete vazduh-vazduh, to su njegova g-tolerancija, dozvoljeni početni ugao kursa, itd. Visoke prosečne brzine raketa mogu pomoći da se nadvlada PVO protivnika i znatno smanje sopstveni gubici aviona. Protivbrodske rakete velikog dometa mogu ostvariti uništenje protivničkih taktičkih pomorskih snaga. Efikasna primena raketa vazduh-površina uglavnom je određena mogućnošću dejstva danju i noću u svim vremenskim uslovima, višekanalnom upravljanju i visokom tačnošću vođenja, velikim dometima i mogućnošću uništavanja različitih vrsta ciljeva.

Pored visokih taktičkih sposobnosti, savremeni lovci treba da zadovolje i određene uslove, kao što su:

– što manja cena uništenja cilja;

– minimalna masa naoružanja;

– mogućnost lansiranja različitog oružja sa serijski proizvedenih lansirnih kontejnera;

– minimalna masa i razmera sistema za upravljanje vatrom aviona;

– maksimalni vek upotrebe sistema naoružanja;

– jednostavnost i pogodnost za rukovanje.

U novije vreme ističu se i dodatni zahtevi kao što su:

– adaptibilnost za sisteme naoružanja NATO;

– unifikacija;

– mogućnost integracije novih sistema umesto odbačenih.

Firma MAPO MIG nastavlja projekte usmerene na:

– povećanje broja avio-pajlona i njihovog individualnog naoružanja, kao i ukupnih spoljašnjih kapaciteta;

– širenje spektra avio-naoružanja, uključujući konvencionalno, ali još uvek aktuelno, kao što su bombe, topovi, nevođene rakete, bespilotne bombe i rakete, kao i upotreba samonavođene municije u bombama;

– razvoj novog sistema za upravljanje avio-naoružanjem, uključujući inteligentne („smart“) sisteme naoružanja;

– povećanje sigurnosti naoružanja;

– dosledno poštovanje međunarodnih sporazuma.

Avion MiG prilagođen je za efikasnu primenu širokog asortimana ruskih vođenih i nevođenih oružja mase 1000 do 1500 kg. Tu spadaju: novo oružje vazduh-vazduh RVV-AE, rakete protiv zračenja Kh-31P, protivbrodska raketa Kh-31A, i top GSh-301. Verzije raketa povećane energije R-27ER1 najvećeg su dometa među analognim namenjenim za ekspert. Rakete Kh-29L i Kh-29T, kao i bombe mase 100 kg, 250 kg i 500 kg spadaju, takođe, u najsavremenije oružje.

Projektni biro MIG trenutno razvija i druge sisteme naoružanja, kao što su:

– najnovije rakete velikog dometa i modernizovane srednjeg i kratkog dometa;

– Kh-35 protivbrodske rakete (veći domet i manja masa od Kh-31), koja je namenjena za helikoptere i brodove obalske odbrane;

– laserski vođene rakete, Kh-29L, Kh-25L i KAB-500L bombe koje se upravljaju visećim optroničkim kontejnerima, kao i modernizovanim bespilotnim bombama 500 kg i konvencionalnim bombama 1500 kg;

– laserski vođene rakete VIHOR upravljane visećim optroničkim kontejnerom SKVAL;

– TV vođena raketa OVOD.

M. K.

<<<◇>>>

MODERNIZACIJA HELIKOPTERA U RUSIJI*

Ministarstvo odbrane Rusije ubrzalo je program opremanja eksperimentalne borbene grupe modifikovanim helikopterima sa poboljšanim sposobnostima dejstva u noćnim uslovima, u operacijama protiv naoružanih pobunjenika u Čečeniji i Dagestanu.

Ukupno 6 modernizovanih ofanzivnih helikoptera Mil Mi-24 (NATO oznaka „Hind") i četiri transportna helikoptera Mi-8 („Hip") treba da se isporuče vazduhoplovnim snagama krajem 1999. godine.

Opremljeni poboljšanim navigacionim i komunikacionim sistemima, displejima sa tečnim kristalima i noćnim filterima, naoružani savremenim oružnim sistemima, helikopteri će imati tri do pet puta veću borbenu efikasnost.

Eksperimentalna borbena grupa sa dva helikoptera Mi-8 kompletirana je sredinom septembra i obavljena su ispitivanja.

Kada postane operativna, očekuje se da borbena grupa izvodi različite zadatke u severnom Kavkazu – od vatrene podrške zemaljskih snaga i napada na oklopna vozila, do medicinske evakuacije, transporta i operacija zaštite granice. Iskustva u modernizaciji helikoptera mogu poslužiti kao model za ostale ruske helikopterske jedinice u regionu, koji je idealan za ispitivanje borbenih grupa.

Ministarstvo odbrane Rusije ustanovilo je borbene grupe od kraja rata sa Čečenijom 1996. godine, prvobitno sa transportnim helikopterima KAMOV Ka-29 „HELIX-B" i ofanzivnim helikopterima Ka-50 „HOKUM-A". Letelice su projektovane da nose laserski vođene rakete vazduh-zemlja srednjeg dometa AT-X-16 „VIKHR-M" i da deluju kao platforme za laserski označivač za ofanzivne avione SUHOJ Su-25 „FROG-FOOT". Međutim, ograničeno finansiranje zaustavilo je razvoj prve takve jedinice.

Rad na modifikaciji helikoptera Mi-8 i Mi-24 poveren je federalnom naučno-istraživačkom centru Geofizika-NV, moskovskoj fabrici helikoptera i optičko-mehaničkoj fabrici na Uralu. Državna korporacija za izvoz Rosvoruženie obezbedila je finansijsku podršku programa, za koji postoji interes i na stranom tržištu.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 8. septembar 1999.

<<<◇>>>

ISPITIVANJA HELIKOPTERA Ka-50 U TURSKOJ*

U toku avgusta 1999. godine u Turskoj je demonstrirana varijanta ofanzivnog helikoptera Ka-50/-52, modifikovanog u saradnji ruske firme Kamov i izraelske vazduhoplovne industrije, radi ispunjenja zahteva komande turskih kopnenih snaga.

Turska namerava da nabavi 145 ofanzivnih helikoptera u periodu od 2002. do 2010. godine, za ukupno 3,5 milijarde dolara. Helikopter Ka-50/-52 konkurisao je helikopterima AH-64 APACHE LONGBOW, AH-1Z KING COBRA, EUROCOPTER TIGER i A129 AGUSTA. Očekuje se da će „pobednik" na konkursu biti proglašen u martu 2000. godine. Nabavka treba da se realizuje u serijama: prva – 50 komada, druga – 50 i treća – 45 helikoptera.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 8. septembar 1999.

Međutim, tačan broj još nije konačno definisan zbog aranžmana sa turskim proizvođačima.

U oktobru 1998. godine turski probni piloti leteli su na prototipovima helikoptera Ka-50/-52. Ispitivanja su bila koncentrisana na karakteristike rukovanja i upravljanja. Druga etapa, u kojoj su ispitivani avionika i sistem naoružanja, izvedena je krajem avgusta 1999. godine.

Radi ispunjavanja postavljenih zahteva, helikopter je opremljen novim cockpitom sa sedištima u tandem-varijanti, umesto konfiguracije sedišta sa strane.

Zbog kompatibilnosti sa NATO sistemom naoružanja, ruski top 30 mm 2A242 sa 460 metaka zamenjen je topom 20 mm francuske firme GIAT sa 700 metaka.

Zvaničnih informacija o protivtenkovskim raketama koje se nude nema, ali opcija može uključivati 12 ruskih laserski vođenih raketa VIKHR (NATO oznaka AT-12), 16 elektro-optički vođenih raketa NT-D izraelske firme Rafael ili američke rakete HELLFIRE. Nevođena raketna zrna mogu se zameniti ili dodati ruskim raketama S-8 kalibra 80 mm.

V. R.

<<<◇>>>

BESPILOTNA LETELICA PREDATOR B*

Kompanija General Atomic Aeronautical Systems planira da započne testove letenja krajem 1999. godine sa svojom bespilotnom letelicom PREDATOR B. Letelica će biti pokretana elisno-mlaznom verzijom motora.

Kompanija Allied Signal zamenila je standardni klipni motor novim motorom snage 1000 KS (736 kW) TPE331, a telo letelice je nešto duže. Raspon krila povećan je sa 15 m na 19,5 m, dužina sa 8,25 m na 10,67 m, a maksimalna masa (uključujući gorivo i koristan teret) sa 1000 kg na 2000 kg. Te izmene omogućavaju PREDATORU B da nosi znatno veći teret (više od 320 kg), u poređenju sa maksimalnih 200 kg za osnovnu varijantu, i da dostigne visinu veću od 12 000 m, maksimalnu brzinu od 1534 km/h i krstareću brzinu od 1334 km/h.

Kompanija General Atomic promovisala je PREDATOR B uglavnom za izviđanje sa velikih visina i za relejne komunikacije. Letelica nosi paket za vođenje LITTON LN-100G, kombinovan sa integralnim sistemom za navođenje sa GPS prijemnikom.

V. R.

<<<◇>>>

KONVERZIJA KINESKIH AVIONA U VAZDUŠNE TANKERE*

U planovima Ratnog vazduhoplovstva Kine, koji potiču od sredine osamdesetih godina, nalazi se i konverzija brojnih dvomotornih aviona, srednjih bombardera, XIAN H-6 u tankere za popunu aviona gorivom u vazdušnom prostoru.

Avioni H-6 su kineske verzije ruskih aviona TUPOLJEV Tu-16 „Badger". Poslednjih godina konvertuje se 6 aviona H-6 za uloge tankera. Dva tipa aviona opremljena su mlaznicama (brizgaljkama) za popunu aviona gorivom u toku leta: poslednja verzija dvomotornog lovačkog aviona jednoseda SHENYANG

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 9/1999.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 25. avgust 1999.

F-8 (J-8) „Finback" i aviona jednoseda za blisku vazdušnu podršku NANCHANG Q-5 (A-5).

Prema dostupnim podacima prva operativna ispitivanja izvršena su početkom 1998. godine, a druga krajem 1998. godine.

Smatra se da RV Kine može obezbediti sposobnost ponovnog punjenja aviona gorivom u letu i sa višenamenskim lovačkim avionima SUHOJ Su-30 MK, o čemu se vode pregovori sa Rusijom o kupovini. Avioni H-6 nisu najpogodniji kao tankeri, pa se predlaže drugi program koji će uključivati transportne avione velikog dometa ILJUŠIN Il-76 „Candid" sa četiri turboventilatorska motora. Kina poseduje brojne avione Il-76 koje je kupila od Rusije. Taj avion, takođe, služi kao platforma za vazdušni sistem ranog obaveštavanja, koji je razvijen u Izraelu, i čija isporuka se očekuje 2000. godine.

V. R.

<<<◇>>>

NOVI MINOISTRAŽIVAČ ZA KANADSKU ARMIJU*

Ugovor vredan 15,9 miliona dolara za proizvodnju četiri usavršena minoistraživačka sistema, kanadska armija je dodelila firmi CDC (Computing Devices Canada) iz Kalgarija. Komponente sistema razvijene su u istraživačkim ustanovama za potrebe odbrane u Safildu i Otavi, a firma CDC je dala opštu koncepciju i integraciju sistema.

Sistem se sastoji od daljinski upravljanog vozila koje nosi red metalnih detektora, IC pokazivač, radar za ispitivanje površine zemljišta i termički neutronski detektor, koji otkrivanjem azota potvrđuje prisustvo eksploziva. Senzorno informisanje je kombinovano metodologijom za prikupljanje podataka radi smanjenja lažnih alarma. Upravno vozilo, koje obezbeđuje obradu podataka i mesto za operatora, jeste oklopni transporter M113 koji prati minoistraživačko vozilo na udaljenosti od 2 km.

Sistem omogućava otkrivanje protivtenkovskih mina sa vrlo malim sadržajem metala (tankom metalnom oblogom), na putu širine 3 m, i pri brzini kretanja 5 km/h. On će omogućiti operatoru da potvrdi da li je put čist od protivtenkovskih mina sa sigurnošću od 95%. Takođe radi se na tome da se postojeća konfiguracija sistema zameni vozilom 4 × 4, čija prednost bi bila što ne bi bila potrebna prikolica.

Projekat uključuje rekonfiguraciju sistema radi ostvarivanja balansa mase i korišćenja različitih guma, tako da se vozilo može kretati preko minskih polja, osetljivih na pritisak, bez izazivanja detonacija. Očekuje se da se ova četiri vozila opreme sistemom 4 × 4, a da će prva vozila biti isporučena u aprilu 2000. godine.

M. K.

<<<◇>>>

USAVRŠENI LIČNI BORBENI LOKATOR*

Američke vazduhoplovne snage planiraju nabavku oko 40 000 ličnih borbenih lokatora CSEL (Combat Survivor Evader Locator), koji su razvile Boingove firme za komunikacije i informatiku. Mada su prvenstveno namenjeni za pomoć u orijentaciji i ponovnom uspo-

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, 10. mart, 1999.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 3/1999.

stavljaju veze prizemljene posade, ovaj uređaj sadrži i nekoliko dodatnih specijalnih funkcija. Na primer, uređaj AN/PRQ-7 je ručni radio koji može slati podatke putem satelita do uređaja koji mogu pokazati istovremeno lokaciju do 128 lica.

Uređaj AN/PRQ daje podatke za sve izvanhorizontne veze uz preciznu informaciju svog prijemnika za globalni pozicioni sistem (GPS), ostvaruje vezu sa izviđačkim i spasilačkim avionom signalom i glasom, a preko svetlosnog signala 406 MHz sa COSPAS-SARSAT međunarodnim satelitskim sistemom.

Funkcionalni parametri, ugrađeni u uređaj PRQ-7, sadrže komunikacijske frekvencije, automatsko određivanje visinskog nivoa i stajne tačke kao i korisničke lozinke po slobodnom izboru.

Izvanhorizontni način veze, koji je kompatibilan sa upitno-predajnim višekratno-pristupnim operacijama, koristi zaštićene poruke – geopozicione veze između PRQ-7 i zajedničkog izviđačkog i spasilačkog centra putem bazne stanice AN/GRC-242. Bazna radio-stanica RSBS (Radio Set Base Station) automatski potvrđuje prijem podataka sa uređaja PRQ-7. Drugi izvanhorizontni načini oslanjaju se na jednokanalne zaštićene poruke – geopozicije iz PRQ-7, koristeći niske LPI/LPD talasne oblike i COSPAS-SARSAT operacije. Ovaj poslednji način, koji obezbeđuje nezaštićene podatke svetlosnog prenosa, omogućava izveštavanje o opasnosti u sektoru od preko 70° (kada su UHF i druge veze nemoguće) i operacije zajedno sa civilnim izviđačko-spasilačkim uređajima.

Uređaj PRQ-7 ima masu 0,9 kg, a kapacitet baterija je 21 dan.

M. K.

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Redakcija

„Vojna knjiga"

Vam preporučuje

781. Zlatomir Grujić:
AVIJACIJA SRBIJE I JUGOSLAVIJE 1901–1994.
Cena: 300,00; sa popustom: 210,00 d.

838. Mlađen Đurašinović:
ARHITEKTURA RAČUNARA
Cena: 200,00; sa popustom: 160,00 d.

833. Stanko Nišić:
VELIKE SILE I BALKAN
Cena: 365,00; sa popustom: 255,00 d.

727. Predrag Pejčić:
VOJNI HELIKOPTERI
Cena: 300,00; sa popustom: 250,00 d.

837. Miloš Čolaković:
GORIVA ZA RAKETNI POGON
Cena: 250,00; sa popustom: 200,00 d.

803. Slavko Tomović:
ISPITIVANJE POUZDANOSTI
Cena: 130,00; sa popustom: 91,00 d.

785. Milivoj Jugin:
KOSMOS OTKRIVA TAJNE
Cena: 990,00; sa popustom: 792,00 d.

740. Petar Radičević:
MINERALNE SIROVINE U RATU I MIRU
Cena: 150,00; sa popustom: 105,00 d.

805. Svetomir Minić i Živan Arsenić:
MODELI ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA
Cena 350,00; sa popustom: 245,00 d.

815. Radomir Vujković:
MEĐUNARODNA KONTROLA NAORUŽANJA
Cena: 120,00; sa popustom: 96,00 d.

823. **NAORUŽANJE ZEMALJA NATO (KOPNENA VOJSKA I RATNA MORNARICA)**
Priredio: Aleksandar Ardeljan
Cena: 70,00 d.

832. Svetozar Radišić:
NEOKORTIKALNI RAT
Cena: 115,00 d.

799. Jovan Matović i Željko Petrović-Poljak:
ORUŽJE, ENERGIJA I TREĆI SVETSKI RAT
Cena: 160,00; sa popustom: 96,00 d.

821. **ORUŽJE NATO U AGRESIJI NA SRJ**
Priredio: Aleksandar Ardeljan
Cena: 70,00 d.

828. Aleksandar Ardeljan:
ORUŽJE RUSIJE
Cena: 150,00 d.

783. Boško Antić:
POVRŠINSKI RATNI BRODOVI
Cena: 100,00; sa popustom: 80,00 d.

778. Boško Antić:
PODMORNICE
Cena: 100,00; sa popustom: 80,00 d.

831. Slavoljub Šušić:
PROBNI KAMEN ZA EVROPU
Cena: 320,00 d.

760. Boško Antić:
SAVREMENI RATNI BRODOVI
Cena: 500,00; sa popustom: 400,00 d.

770. Aleksandar Radić:
SPECIJALNI, ŠKOLSKI I TRANSPORTNI AVIONI
Cena: 100,00; sa popustom: 80,00 d.

595. Nikola Vujanović:
TEORIJA POUZDANOSTI TEHNIČKIH SISTEMA
Cena: 150,00; sa popustom: 105,00 d.

NAPOMENA:

Za svaku narudžbu knjiga potrebno je dodatno uplatiti 25,00 dinara za PTT troškove.

N A R U D Ž B E N I C A

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD
Beograd, Balkanska 53
Tel./faks: (011) 645-020

Naručujem knjige pod brojem/komada .....

.....

Plaćanje unapred (vrednost naručenih knjiga + PTT troškovi) na žiro-račun 40818-637-9-6319 RC Topčider (za VIZ), poziv na broj 963-011. Narudžbenicu i uplatnicu slati na adresu:

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD, Balkanska 53, 11002 Beograd.

Reklamacije za neuručene knjige primamo u roku od 30 dana.

Kupac .....

Ulica i broj ..... Telefon .....

Mesto i broj pošte .....

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD
11002 Beograd, Balkanska 53
Telefoni: (011) 645-020 i 36-04-190, lok.: 33-190
Telefaks: (011) 645-020

NARUDŽBENICA

Pretplaćujemo se na časopis za 2000. godinu:

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK

(stručni i naučni časopis VJ) izlazi dvomesečno.

Godišnja pretplata 210,00 dinara. primeraka

Prilikom uplate pozvati se na broj: 054/963 .....

Broj primeraka časopisa koji se naručuje upisati u narudžbenicu i poslati na adresu: VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD, Balkanska 53, 11002 Beograd.

Za pretplate fizičkih lica ne dostavljamo fakture. Poručioci uplaćuju iznos pretplate na žiro-račun broj **40818-637-9-6319 RC Topčider - za VIZ (sa pozivom na broj za časopis)** i šalju primerak uplatnice uz narudžbenicu.

Kupac ..... tel.: .....

Mesto ..... Ulica ..... br. .....

Dana .....

Potpis naručioca

M.P. .....

Uputstvo saradnicima

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem integralnog tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, tehnologiju, proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, kao i teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozi originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), i ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. 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 u pogodnoj računarskoj grafici. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike – crteža i nazive pozicija.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima VJ.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, zvanje, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopise slati na adresu: Redakcija „Vojnotehničkog glasnika", 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

REDAKCIJA

Tehničko uređenje
Branko Marković

Lektor
Dobrila Miletić, profesor

Korice
Milojko Milinković

Korektor
Bojana Uzelac

Cena: 35,00 dinara
Tiraž 1300 primeraka

Rešenjem Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, broj 413-00-222/95-0101 od 19. 06. 1995. godine časopis „Vojnotehnički glasnik" je oslobođen plaćanja opšteg poreza na promet proizvoda.

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju i informacije (CVNDI)