

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

DIREKTOR

Pukovnik
SLAVKO BRSTINA

UREDIVAČKI ODBOR

General-major
dr JUGOSLAV KODZOPELJIC, dipl. inž.
(predsednik Odbora)General-major
dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika)General-major
dr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.General-major
MILOSAV BRKIĆ, dipl. inž.General-major
dr SLOBODAN BURSAC, dipl. inž.General-major
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.General-major
MILAN UZELAC, dipl. inž.Profesor
dr JOVAN TODORVIĆ, dipl. inž.Profesor
dr BORIVOJE LAZIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr DRAGAN LAZAREVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr MILAN SUNJEVARIĆ, dipl. inž.Pukovnik
mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr DRAGO TODORVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
MIROSLAV ČOJBAŠIĆ, dipl. inž.
(sekretar Odbora)Pukovnik
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
mr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.Potpukovnik
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.●
GLAVNI I ODGOVORNI
UREDNIKPukovnik
Miroslav Čojbašić, dipl. inž.
(tel. 648-277, 23-59-133 ili 33-133)Urednik
Potpukovnik
Stevan Josifović, dipl. inž.
(tel. 23-59-323 ili 33-323)Sekretar redakcije
Zora Pavličević
(tel. 23-59-258 ili 33-258)ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK — BEOGRAD, Birčaninova 5,
Pretpata: 645-020 i 23-124, žiro-račun:
40818-637-9-6319 za VIZ/VTG, poziv na
broj 963/054. Godišnja pretplata 80,00
dinara. Rukopisi se ne vraćaju. Stampa:
Vojna štamparija — Beograd, Generala
Ždanova 40 b.STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJEVOJNOTEHNIČKI
G L A S N I K

6

*Čitaocima i saradnicima
čestitamo Novu godinu*

Redakcija časopisa

SADRŽAJ

Mr Igor S. Simić, kapetan I klase, dipl. inž. Radoje Marković, potpukovnik, dipl. inž.	649	Prijemnici za elektronski rat
Dr Slavko Pokornj, pukovnik, dipl. inž.	660	Problemi primene termovizije pri merenju temperatur- nih stanja
Mr Radiša Stefanović, potpukovnik, dipl. inž.	668	Određivanje dometa radio-veze na osnovu poznate vre- dnosti jačine polja
Dr Vlado Radić, potpukovnik, dipl. inž.	673	Uticaj zakrivljenosti cevi na oslobađanje energije u zo- ni spoja pri zavarivanju eksplozijom
Dr Mirjana Anđelković- Lukić, dipl. inž.	681	Tendencije razvoja brizantnih eksploziva
Zoran Hrnjez, major, dipl. inž.	691	Buka na brodovima
Dr Dragoljub Vujić, dipl. inž.	701	Testovi izdržljivosti komponenata vazduhoplovne opre- me primenom matematičke statistike
Dr Dragoljub M. Brkić, dipl. inž.	714	Raspodela tačkaste ocene donjeg kvantila dvoparamete- arske Vejbulove raspodele
Mr Vlastimir Vulović, dipl. inž.	722	FIREBIRD — ultralaki helikopter višestruke namene
Prof. dr Čedomir Duboka, dipl. inž.	727	Modeli održavanja tehničkih sistema — prikaz mono- grafije

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

730	Sistem PVO SOSNA — M.K.
732	NASAMS — norveški raketni sistem PVO — S.P.
734	Modernizacija PA topa ZU-23 — M.K.
736	Streljačko oružje kavrovskog zavoda — M.K.

- 738 Tenk T-80U-M1 BARS — M.K.
- 741 Avionska protivpodmornička raketa APR-3E — M.K.
- 743 Mini roboti za identifikaciju hemijskih agensa — M.S.

TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

- 746 Planovi NATO za razvoj višecevnih raketnih sistema većeg dometa — M.S.
- 747 Tenk T-84 — M.K.
- 748 Početak tripartitnog tenkovskog programa — D.M.
- 749 Prototip grčkog BVP — V.R.
- 749 Nova italijanska kupola za BVP — V.R.
- 750 Oklopno remontno-evakuaciono vozilo BREM-80U — M.K.
- 751 Teški plamenobacački sistem TOS-1 — M.K.
- 752 Uvođenje novih artiljerijskih sistema — V.R.
- 753 Novi izraelski raketni sistem — V.R.
- 754 Saradnja Ukrajine i Francuske — V.R. .
- 754 Poboljšana WILDCAT kupola — V.R.
- 755 Analitički pribori za ekstremne uslove — M.K.
- 756 Univerzalne mogućnosti helikoptera Mi-8MTV5 — M.K.
- 758 Trokoordinatni sistem za radio-tehničko izviđanje 85V6-A VEGA — M.K.
- 759 Komunikatori veličine ručnog sata — M.S.
- 759 Fotonska A/D konverzija otvara nove mogućnosti — M.S.
- 760 Primena veštačkog dijamanta u specijalnim elektronskim cevima — M.S.

Mr Igor S. Simić,
kapetan I klase, dipl. inž.
VP 4522 Batajnica
Radoje Marković
potpukovnik, dipl. inž.
VP 1121 Beograd

PRIJEMNICI ZA ELEKTRONSKI RAT

UDC: 623.615:621.396.62

Rezime:

Izbor tipa prijemnika za elektronski rat zavisi prevashodno od njegove funkcije u sistemu. U radu je prikazana podela prijemnika za elektronski rat prema strukturi. Date su osnovne karakteristike i principi rada prijemnika sa merenjem trenutne frekvencije, prijemnika sa Bragovom ćelijom, kristalnog, superheterodinskog, softverskog, kanalskog i kompresivnog prijemnika. Osnovni parametri ovih tipova prijemnika su upoređeni.

Ključne reči: elektronski rat, kristalni prijemnik, prijemnik sa merenjem trenutne frekvencije, prijemnik sa Bragovom ćelijom, superheterodinski prijemnik, kanalski prijemnik, softverski prijemnik, kompresivni prijemnik.

ELECTRONIC WARFARE RECEIVERS

Summary:

Receiver selection, first of all, depends on its function in electronic warfare systems. In this paper electronic warfare receivers classification is explained based on their structures. Main receiver properties and functional descriptions are given for instantaneous frequency measurement receiver, Brag-cell, crystal, Superheterodyne, software, channelized and compressive receivers. The performances of these receivers are compared.

Key words: electronic warfare, crystal receiver, instantaneous frequency measurement receiver, Brag-cell receiver, superheterodyne receiver, channelized receiver, software receiver, compressive receiver.

Uvod

Kontrola i nadgledanje elektromagnetnog spektra ima veliki značaj u savremenim vojnim dejstvima. Otkrivanje izvora zračenja, određivanje njegove lokacije u prostoru i merenje parametara takvog izvora prevashodni su ciljevi koje sistemi za elektronski rat (EW — Electronic Warfare) treba da ostvare. Jedna od osnovnih komponenti takvog sistema jeste prijemnik. Prijemnik kao »alat« za obradu RF signala mora da zadovolji široki opseg mogućih aplikacija, od relativno jedno-

stavnih funkcija, kao što je detekcija elektromagnetskog zračenja, do kompleksnih presrećakih funkcija koje obavljaju prijemnici za pretraživanje, detekciju, identifikaciju, lokaciju i eksploataciju signala protivnika [1]. Prijemnik, takođe, treba da zadovolji protivrečne zahteve kao što su širok ulazni frekvencijski opseg i velika osetljivost.

Prema strukturi, EW prijemnici se mogu podeliti na [2, 3, 4]:

— kristalne video (direktne) prijemnike,

— prijemnike sa merenjem trenutne frekvencije,

— prijemnike sa Bragovom ćelijom,

— superheterodinske,

— kanalske,

— softverske,

— kompresivne (mikrosken).

Izbor najpogodnijeg tipa prijemnika zavisi od njegove primene u EW sistemu.

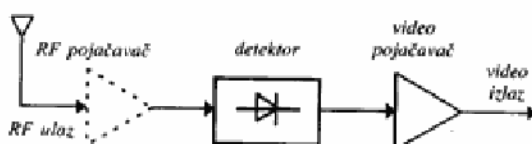
Kristalni video prijemnik

Kristalni¹ video ili direktni prijemnik je, u odnosu na ostale tipove EW prijemnika, najjednostavniji. To je prvi mikrotalasni prijemnik koji pokriva veoma širok frekvencijski opseg, ali ne može da izmeri frekvenciju ulaznog signala. Kristalnim prijemnikom može se samo detektovati energija signala u ulaznom opsegu prijemnika. Kako je ulazni radio-frekvencijski (RF) opseg kristalnog prijemnika širok, osetljivost mu je relativno mala. Budući da prijemnik ne može razdvojiti ulazne signale po frekvenciji, ne može ni detektovati istovremeno prisustvo više signala. Proces detekcije ne zadržava informaciju o fazi signala, što smanjuje mogućnost identifikacije izvora zračenja. Ovaj tip prijemnika je, zbog izuzetno malih dimenzija, jednostavnosti i niske cene, pogodan za masovnu upotrebu u EW aplikacijama.

Osnovna komponenta kristalnog video prijemnika, čija je blok-šema prikazana na slici 1, jeste kristalni detektor. Izlaz antene dovodi se direktno na detektor, a sa njegovog izlaza signal dolazi na video pojačavač.

Generalno posmatrano, osetljivost ovog tipa prijemnika zavisi od karakteristika kristalnog detektora i fak-

tora šuma video pojačavača. Uobičajeni postupak za povećanje osetljivosti



Sl. 1 — Blok-šema kristalnog video prijemnika

jeste poboljšanje karakteristika kristalnog detektora i smanjenje faktora šuma video pojačavača. Efikasniji način za povećanje osetljivosti je dodavanje RF pojačavača na ulazu prijemnika, kao što je na slici 1 označeno isprekidanom linijom.

Kako je prijemnik malih dimenzija, često se ugrađuje neposredno uz antenu. Video izlaz prijemnika vodi se na jednostavne sklopove za određivanje parametara signala i time se zadržavaju male dimenzije i niska cena. Treba imati u vidu da su samo ograničena unapređenja pogodna za ovaj tip prijemnika. Ako se zahtevaju veće mogućnosti, racionalnije rešenje je izbor nekog drugog tipa prijemnika.

Prijemnik sa merenjem trenutne frekvencije

Karakteristike prijemnika sa merenjem trenutne frekvencije (Instantaneous Frequency Measurement, IFM) čine ga potencijalno pogodnim za EW primene. Ovaj tip prijemnika ima široki RF opseg i veliku verovatnoću presretanja. Prijemnik može sa velikom tačnošću da meri frekvenciju kratkih impulsa. Faktori koji utiču na pogodnost primene u EW aplikacijama su veoma jednostavna struktura i kompaktnost.

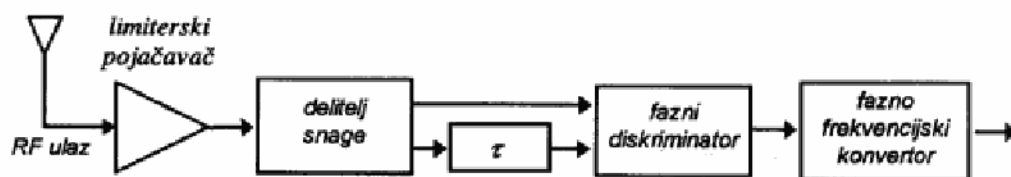
Glavni nedostatak IFM prijemnika jeste nemogućnost određivanja frekvencije kada više različitih signala istovremeno dolazi na ulaz prijemnika.

¹ Ključni deo prijemnika je detektor sa kristalnom diodom. Zbog toga je ovaj tip prijemnika dobio naziv "kristalni".

Drugim rečima, ako ulazni signal čini više frekvencijskih komponenti, maksimum koji se postiže IFM prijemnikom jeste tačno izmerena vrednost frekvencije jednog od signala. Međutim, često se dobijaju pogrešne vrednosti koje nemaju veze ni sa jednom od frekvencija ulaznih signala.

Postoji nekoliko mogućih načina da se unapredi detekcija signala koji sadrže više frekvencijskih komponenti [2, 3, 4]. Jedan od načina da se umanjiti taj glavni nedostatak IFM prijemnika, a da se zadrži jednostavnost detektora, jeste podela RF opsega na podopsege sa pojavnim filterima.

IFM prijemnik, kao što je prikazano na slici 2, sastoji se od sledećih komponenti: delitelja snage, linije za kašnjenje, faznog diskriminatora, kon-



Sl. 2 — Blok-šema prijemnika sa merenjem trenutne frekvencije

vertora faze u frekvenciji i ulaznog pojačavača sa limiterima.

Princip rada IFM prijemnika zasniva se na merenju razlike u fazi koja je nastala zbog kašnjenja signala različite frekvencije na liniji za kašnjenje. Na osnovu fazne razlike, koja je frekvencijski zavisna od konstantnog vremenskog kašnjenja, određuje se frekvencija ulaznog signala (slika 3). Relativni fazni ugao između zakasnelog i nezakasnelog signala je:

$$\Theta = \omega \tau, \quad (1)$$

Na osnovu poznatog kašnjenja τ i izmerene fazne razlike Θ , frekvencija ulaznog signala ω određuje se iz prethodnog izraza. Fazni ugao Θ kod IFM prijemnika određuje se iz relacija:

$$\begin{aligned} E &= A \sin \Theta \\ F &= A \cos \Theta \end{aligned} \quad (2)$$

gde je:

E i F — izmereni naponi,

A — amplituda ulaznog signala.

U prvim verzijama IFM prijemnika E i F naponi su dovođeni na X i Y otklonske pločice osciloskopa. Poluprečnik elipse, dobijene na osciloskopu, predstavljao je amplitudu signala, dok je ugao iskošenosti ose elipse predstavljao fazni ugao, pošto je:

$$\Theta = \arctan \frac{E}{F} = \omega \tau. \quad (3)$$

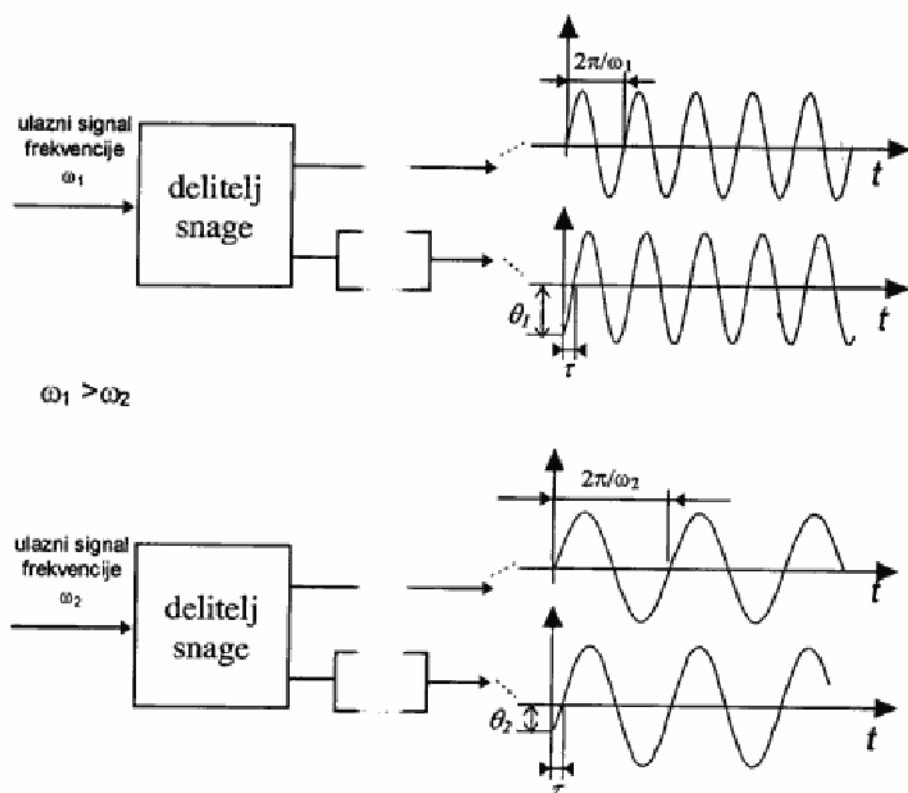
Delitelj snage deli ulazni signal na dva dela. Linija za kašnjenje formira

vremensko kašnjenje potrebno za detekciju faze. Fazni diskriminator formira odgovarajuće fazne pomake (2) na osnovu kojih se, pomoću izraza (1) i (3), računa frekvencija signala na ulazu. Informacija o amplitudi najčešće je eliminisana limiterskim pojačavačem.

Prijemnik sa Bragovom ćelijom

Akustičko-optički procesori signala obavljaju spektralnu analizu primenom fenomena poznatih u fizici:

— delovanje RF signala na pojedine vrste kristala (piezoelektrični) pretvara elektromagnetski talas u zvučni;



Sl. 3 — Princip rada IFM prijemnika — blok-šema

— na prostiranje svetlosti kroz kristal može se uticati zvučnim talasom.

Drugim rečima, zvučni talas dobijen stimulacijom piezoelektričnog kristala RF signalom utiče na indeks prelamanja upadnog laserskog snopa (koherentna, monohromatska svetlost). Zakretanje snopa laserskog zraka proporcionalno je odnosu talasnih dužina svetlosti i zvuka. Ugao zakretanja snopa, nastalog pod uticajem zvučnog talasa, poznat je pod nazivom Bragov ugao i dat je izrazom:

$$\Theta = 2 \arcsin \left(\frac{\lambda f}{2v_s} \right), \quad (4)$$

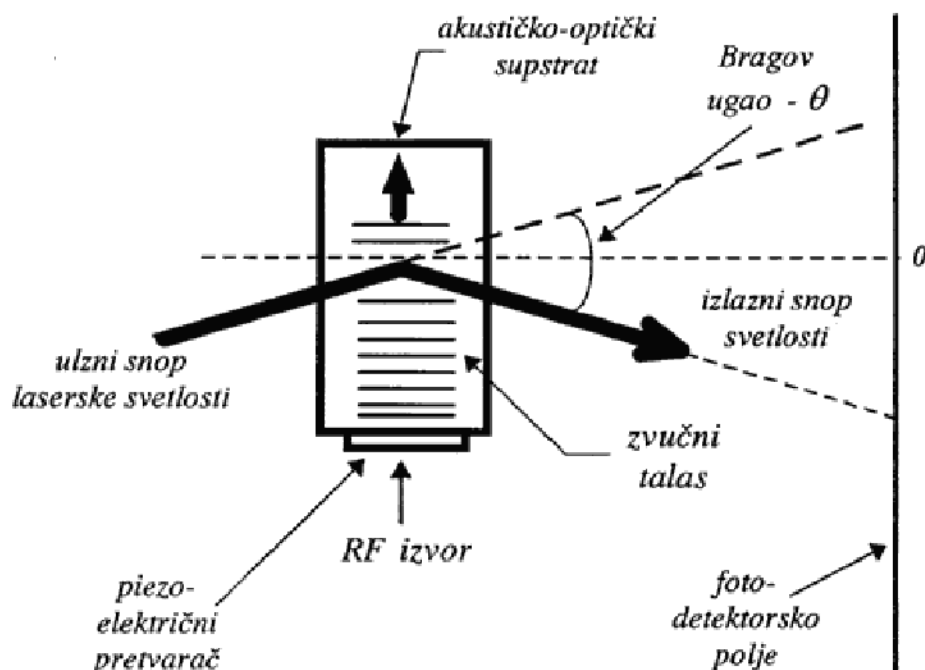
gde je:

λ — talasna dužina svetlosti u slobodnom prostoru,

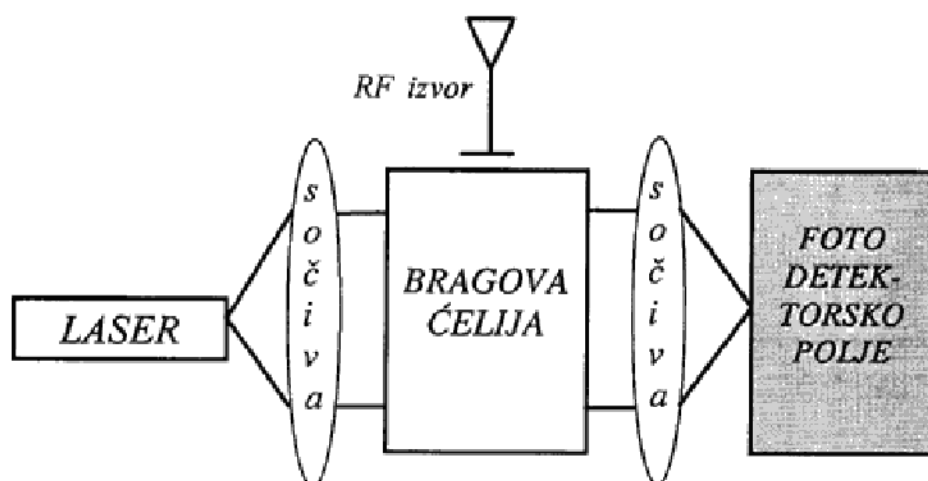
f — frekvencija ulaznog signala,
 v_s — brzina prostiranja zvuka.

Posle prolaska kroz kristal, svetlost se detektuje na fotoosetljivom polju i elektronski očitava, kao što je prikazano na slici 4. Prijemnik sa Bragovom ćelijom u svojoj osnovi, koristi akustičko-optički procesor da bi odredio frekvencijske komponente ulaznog signala (slika 5).

Izlaz iz fotodetektora proporcionalan je trenutnoj frekvenciji. Sistem ima mogućnost da istovremeno detektuje više signala. Osnovni problem je sporo očitavanje frekvencije. Osetljivost i rezolucija prvenstveno su ograničeni tehnologijom izrade fotodetektorskih polja. Postojećom tehnologijom postiže se rezolucija od 1 MHz na frekvencijskom opsegu reda 1 GHz.



Sl. 4 — Princip rada Bragov procesora



Sl. 5 — Prijemnik sa Bragovom ćelijom — blok-šema

Superheterodinski prijemnik

Jedan od efikasnijih načina za unapređenje osjetljivosti prijemnika jeste dodavanje pojačavača ispred detektora. Međutim, RF pojačavači nisu uvek dostupni na radnim frekvencijama

ma prijemnika. Superheterodinski (SH) prijemnik³ poboljšava osjetljivost dodavanjem pojačavača i uskopojašnjog filtera na nižim frekvencijama.

³ Tvorcem superheterodinskog prijemnika smatra se Edwin H. Armstrong.

Da bi to bilo moguće, ulazni RF signal linearno se translira (konvertuje) na niže frekvencije na kojima se pojačavači i uskopojasni filteri lakše realizuju. Pošto je transformacija linearna, sve informacije se zadržavaju u ulaznom signalu. Uvođenjem pojačavača osetljivost više nije limitirana pojačanjem, već dominantan uticaj na nju ima šum. Istovremenim dodavanjem filtera ograničava se frekvencijski opseg šuma i znatno unapređuje ukupna osetljivost prijemnika.

Superheterodinski prijemnik koristi se zbog svoje velike osetljivosti i selektivnosti, u komunikacijama. Skoro svi komercijalni komunikacioni i radarski prijemnici su superheterodinskog tipa. U EW aplikacijama SH prijemnici se koriste za precizno merenje parametara ulaznog, već otkrivenog signala. Kako je, zbog uskog frekvencijskog opsega, relativno jednostavno prilagoditi faze između dva identična SH prijemnika, oni se obično koriste za merenje ugla dolaženja ulaznog signala.

Struktura SH prijemnika prikazana je blok-šemom na slici 6. Osnovne komponente prijemnika su: mešač, lo-

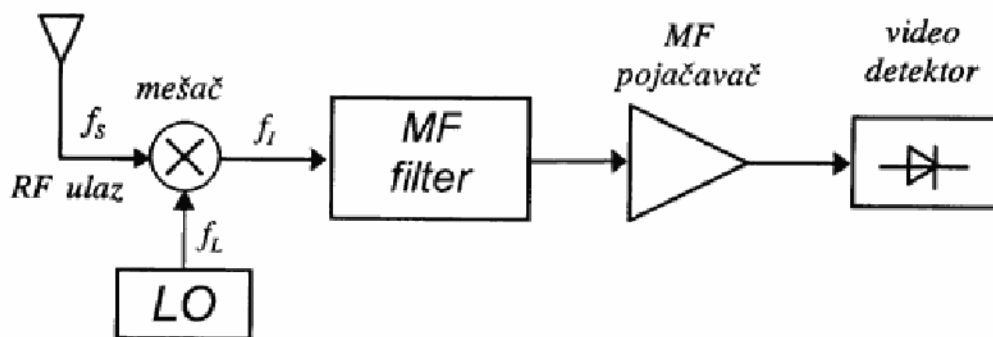
cije f_L . Ako je frekvencija ulaznog signala f_s mešač će je pomeriti na f_I , što predstavlja razliku frekvencija f_L i f_s :

$$f_I = f_L - f_s \quad (5)$$

Pojasnopropusni MF filter koji se nalazi iza mešača ima zadatak da propusti željeni signal, a da odstrani neželjene frekvencije koje su generisane u mešaču usled nelinearnosti i intermodulacionih izobličenja.

Međufrekvencijski pojačavač, koji se nalazi iza MF filtera, obezbeđuje najveći deo pojačanja u prijemniku, a osetljivost poboljšava samo do određene granice. Mešač na ulazu prijemnika degradira faktor šuma prijemnika, a time i njegovu osetljivost. Dalja poboljšanja postižu se smanjenjem gubitaka u mešaču i dodavanjem malošumnog RF pojačavača ispred mešača. Za razliku od kristalnog video prijemnika, gde je potreban širokopojasni RF pojačavač, kod SH prijemnika frekvencijski opseg obično je uži, pa je moguće upotrebiti više podesivih uskopojasnih RF pojačavača.

Obrada signala u SH prijemniku, radi dobijanja informacija o signalu



Sl. 6 — Blok-šema superheterodinskog prijemnika

kalni oscilator (LO), međufrekvencijski filter (MF), MF pojačavač i video detektor.

Lokalni oscilator generiše kontinualan prostoperiodični signal frekven-

ili radi njegove demodulacije, počinje iza MF pojačavača. EW prijemnici najčešće imaju niz podsklopova koji, istovremeno ili po izboru, obrađuju MF signal.

Performanse SH prijemnika su odlične po svim parametrima. Jedino je verovatnoća presretanja relativno mala. Njihova najbolja osobina je da mogu izdvojiti željeni signal i daljom analizom odrediti njegove parametre. Zato je primena SH prijemnika za EW aplikacije ograničena na segmente koji ne zahtevaju veliku verovatnoću presretanja, ili se koriste zajedno sa nekim drugim tipovima širokopojasnih prijemnika.

Kanalski prijemnik

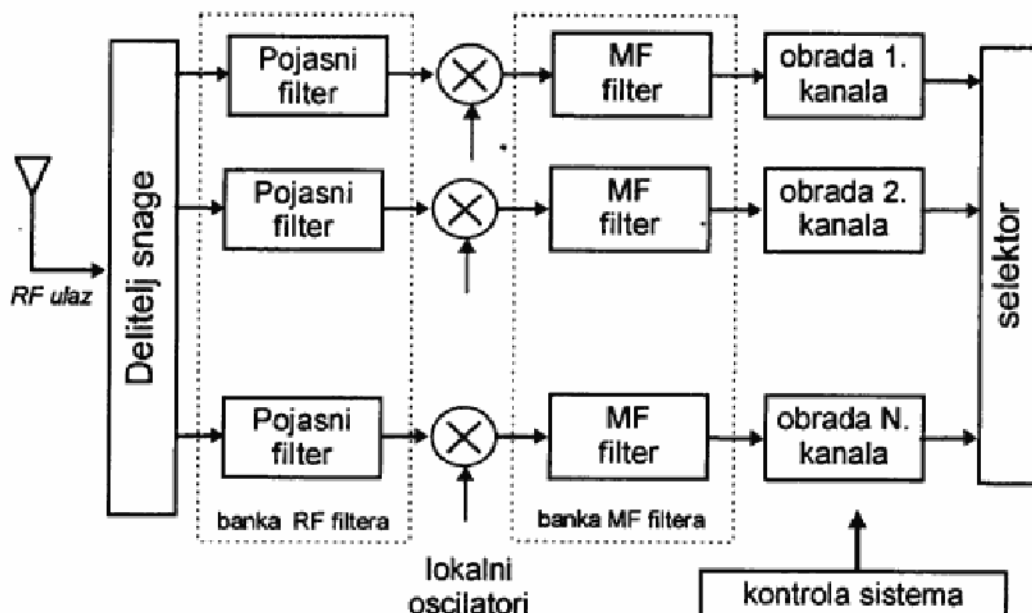
Osnovna ideja kanalskog prijemnika jeste da se RF opseg podeli na podopsege sa velikim brojem paralelnih uskopojasnih segmenata koji se istovremeno transliraju na zajedničku MF. Ulazni signal, u zavisnosti od njegove frekvencije, prolazi kroz odgovarajući filter. Dalja obrada obavlja se kao u SH prijemniku, čime je omogućeno da se zadrži dobra osetljivost, selektivnost, rezolucija i tačnost određivanja parametara signala. Nedostaci kanalskog prijemnika jesu relativna

složenost, visoka cena i velike dimenzije. Unapređenja u tehnologiji, naročito SAW filtera, doprinela su smanjenju dimenzija i cene.

Blok-šema na slici 7 prikazuje strukturu kanalskog prijemnika. Može se videti da je kanalski prijemnik, u stvari, skup fiksno podešenih superheterodinskih prijemnika. Ako se više kanala multipleksira i njihova obrada izvrši na jednom mestu, racionalnije se raspodeljuje procesorska snaga, pa je moguće smanjiti dimenzije i cenu.

Kanalski prijemnici omogućavaju precizno merenje svih parametara signala, kao i primenu tehnika adaptivnog procesiranja signala. Više različitih signala koji na ulaz prijemnika dolaze istovremeno, ali na različitim frekvencijama, paralelno se obrađuju u različitim granama, kao što je prikazano na slici 8. Verovatnoća presretanja je velika, zbog podele čitavog frekventijskog opsega prijemnika na više kanala.

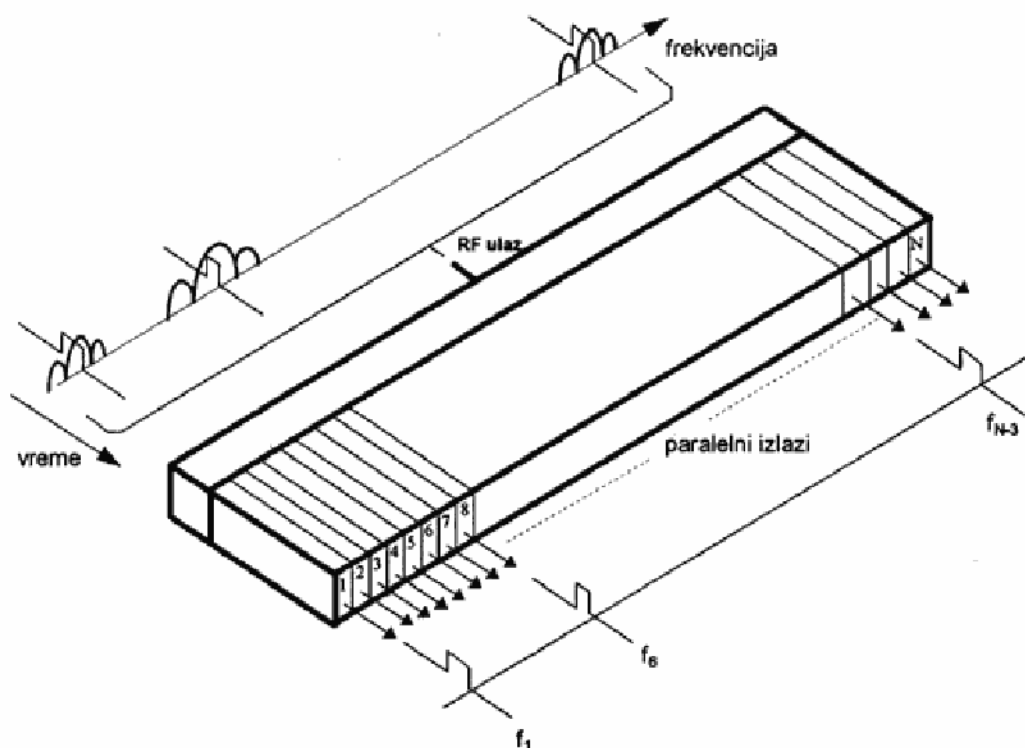
U osnovi, postoje tri pristupa u realizaciji kanalskih prijemnika. Prvi



Sl. 7 — Blok-šema kanalskog prijemnika

podrazumeva podelu celokupnog frekvencijskog opsega prijemnika na podopsege, čija je širina jednaka konačnoj rezoluciji. Drugi način podrazumeva

tori, digitalni procesori signala (DSP), digitalni konvertori frekvencije (DDC) i mikroprocesori opšte namene. Ovako procesorski programabilno definisan



Sl. 8 — Princip rada kanalskog prijemnika

podelu frekvencijskog opsega na podopsege proizvoljne širine i treći način — obradu signala aktivira samo ako u podopsegu detektuje pojavu signala.

Softverski prijemnik

Primenom novih tehnologija superheterodinski prijemnik je evoluirao u softverski prijemnik. Digitalna obrada signala i njena sve šira primena u komunikacijama dovela je do redefinisavanja arhitekture SH prijemnika. Osnova ove tehnologije jeste potpuna programabilnost svih sklopova prijemnika. Komponente kojima se to postiže su: analogno-digitalni (A/D) konver-

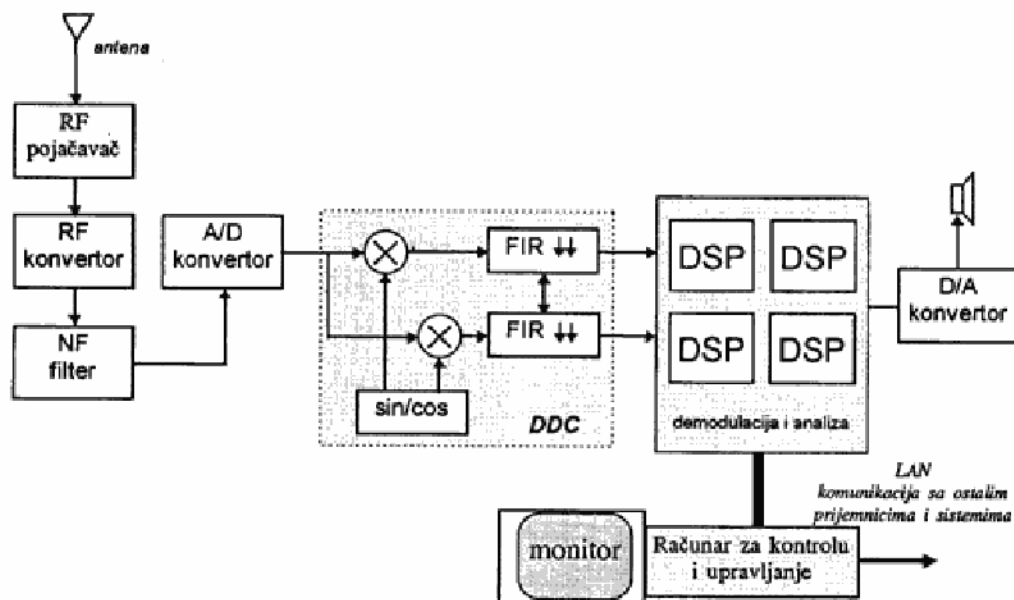
prijemnik deo je evolucije hardverskih digitalnih sklopova.

Blok-shema na slici 9 prikazuje osnovnu strukturu softverskog izviđačkog prijemnika. Dostupne tehnologije dozvoljavaju da se odabiranje obavlja frekvencijom 500 MHz, čime je ulazni RF opseg prijemnika ograničen na ~ 200 MHz. To znači da je za neke RF opsege (KT, VKT) moguće obezbediti A/D konverziju signala na »samoj anteni«, odnosno odmah iza antene. Ako se želi prijem na frekvencijama višim od 200 MHz potrebna je konverzija frekvencije signala analognim sklopovima. Iza širokopojasnih A/D konvertora sva obrada obavlja se primenom digitalnih procesora signala sa algoritmima za digitalnu obradu signala.

Da bi se prevazišla trenutna tehnološka ograničenja i efikasnije iskoristila raspoloživa procesorska snaga u prijemnik se iza A/D konvertora dodaju sklopovi za digitalnu obradu MF signala. Jedan od tih sklopova jeste digitalni konvertor frekvencije (DDC —

Kompresivni prijemnik

Kompresivni prijemnik ili, kako se još u literaturi naziva, mikrosken (microscan) prijemnik jeste sklop za analognu Furijeovu transformaciju ulaznog signala. Naziv mikrosken poti-



SL 9 — Blok-šema softverskog izviđačkog prijemnika

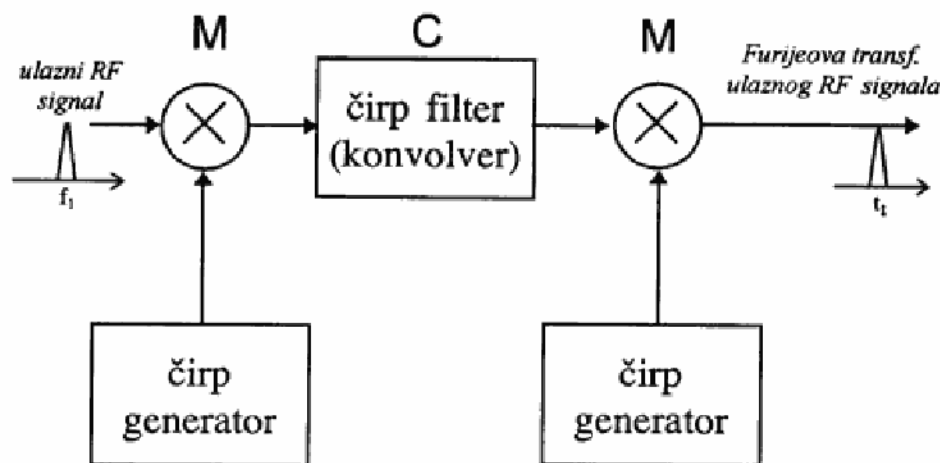
Digital or Decimating Down Converter). Funkcionalno DDC zamenjuje banku MF filtera, glavni deo sintezatora frekvencije i translaciju frekvencije u drugom mešaču.

Softverski prijemnik se, slično SH prijemniku, koristi u komunikacijama zbog svoje velike osetljivosti i selektivnosti. Novi komercijalni komunikacioni i profesionalni radarski prijemnici realizuju se tehnologijom softverskog radija. U EW aplikacijama koriste se za precizno merenje parametara ulaznog, relativno uskopojasnog signala. Pogodni su za upotrebu i u višekanalnim i goniometarskim sistemima, zbog malih dimenzija i velike fleksibilnosti, kao i za izradu uređaja za praćenje komunikacionih sistema sa frekvencijskim skakanjem u KT i VKT opsegu.

če iz laboratorija Stanfordskog univerziteta i odnosi se na funkciju prijemnika koji omogućava monitorisanje širokog frekvencijskog opsega (reda nekoliko GHz) u delu mikrosekunde. Ova osobina veoma je poželjna u izviđačkim prijemnicima, jer omogućava veliku verovatnoću otkrivanja neprijateljeve komunikacije ili radara [4, 5, 6]. Pošto je u osnovi principa rada ovog tipa prijemnika kompresija impulsa, a i da bi se napravila terminološka razlika između kompresivnog filtera u radaru i mikrosken prijemnika koristi se naziv kompresivni prijemnik. Kompresivni prijemnik je u suštini širokopojasni prijemnik koji, merenjem vremenske pozicije impulsa na izlazu, određuje trenutne frekvencije komponenti ulaznog signala.

Furijeova transformacija se može prikazati u formi konvolucije. Množenjem ulaznog signala sa čirp¹ signa-

bu u radarskim sistemima sa kompresijom impulsa, ove komponente su danas komercijalno dostupne, što dozvo-



Sl. 10 — Struktura kompresivnog prijemnika M-C-M konfiguracije

lom, zatim konvolucijom sa čirpom (Frenelova transformacija) i još jednim množenjem sa čirpom dobija se Furijeova transformacija signala, koja se, dobijena na taj način, zove i čirp transformacija [4, 5].

Zbog redosleda operacija, ova konfiguracija kompresivnog prijemnika označava se sa M-C-M (Multiply-Convolve-Multiply), a prikazana je na slici 10.

Zamenom operacija konvolucije i množenja može se dobiti konfiguracija kompresivnog prijemnika C-M-C (Convolve-Multiply-Convolve). U praksi se najčešće koristi M-C-M tip kompresivnog prijemnika.

Glavni značaj algoritma za čirp transformaciju je u tome što se operacija konvolucije može efikasno izvršiti pomoću SAW (Surface Acoustic Wave) analognog transverzalnog (čirp) filtera. Prvobitno projektovane za upotre-

bljava njihovu široku upotrebu u realizaciji kompresivnog prijemnika.

Jedna od značajnih prednosti kompresivnog prijemnika u odnosu na ostale tipove jesu male dimenzije i mogućnost određivanja frekvencije više istovremeno prisutnih signala. Za razliku od kanalskog prijemnika, izlaz kompresivnog prijemnika predstavlja serija impulsa kojima se sukcesivno određuje frekvencija.

Čirp transformacijom ulaznog signala kompresivnim prijemnikom zadržava se informacija o fazi dolaznog signala, tako da se dodavanjem još jedne M-C-M grane prijemniku dodaje i mogućnost merenja dolaznog ugla, tj. određivanja pravca izvora zračenja.

Zaključak

Izbor prijemnika zavisi, prevashodno, od njegove funkcije u sistemu za elektronski rat. Karakteristike prijemnika koje određuju njegovu primenu su: dimenzije, cena, osetljivost, rezolucija, tačnost određivanja frekvencije i

¹ Zbog svoje pravougaone ovojnice i linear-
no promenljive trenutne frekvencije, linearni FM
signal proizvodi zvučni efekat sličan cvrkutanju
ptica, pa je i dobio naziv »čirp« (engl. chirp —
cvrkutanje).

verovatnoća presretanja signala (POI — probability of intercept).

Sve performanse prijemnika mogu biti unapređene, što utiče na njegovu kompleksnost i cenu. Za svaki sistem može se postići kompromis između

cene prijemnika i zahtevane funkcije. Generalno, pažljiva analiza mora pokazati da li sistem može izvršiti željenu funkciju u zahtevanom okruženju. U tabeli je prikazan pregled performansi različitih tipova prijemnika, koje su ocenjene od 1 do 5.

Pregled performansi izviđačkih (presretačkih) prijemnika

Tip prijemnika	Kanalski	Kompresivni	Brag	IFM	Kristalni	Superheterod. i softverski
Osetljivost	5	5	4	2	3	5
POI	5	5	5	5	4	2
Rezolucija	5	4	5	1	1	5
Tačnost	5	3	2	4	2	5
Dinamički opseg	5	3	2	3	2	5
MF opseg	5	5	4	5	5	2
Mogućnost otkrivanja istovremenih signala	5	5	4	2	2	3
Cena	1	3	4	3	5	2—3
Složenost	velika	velika	srednja	srednja	mala	srednja

Literatura:

- [1] Stephens, J. P.: Advances in Signal Processing Technology for Electronic Warfare, IEEE AES Systems Magazine, November 1986, pp. 31—38.
- [2] Tsui, J. B. Y.: Microwave receivers with electronic warfare applications, Krieger publishing company, 1992 (reprint orig. edition 1988).
- [3] Wiley, R. G.: Electronic intelligence: the analysis of radar signals, Artech House, 1985.
- [4] Schleher, D. C.: Introduction to Electronic Warfare, Artech House, 1986.
- [5] Daniels, W. D.: Churchman M., Kyle R., Skudera W.: Compressive receiver technology, Microwave Journal, April 1986, pp. 175—185.
- [6] Schmid, H. F.: Microscan receivers boost intercept probability, Defense Electronics, October 1986, pp. 205—214.

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

PROBLEMI PRIMENE TERMOVIZIJE PRI MERENJU TEMPERATURNIH STANJA

UDC: 536.521:681.586.73

Rezime:

Instrumenti za snimanje temperaturnih stanja i merenje temperature primenom IC senzora (infracrveni termometri i termovizija) zasnivaju se na savremenoj tehnologiji. Iako njihovo korišćenje na prvi pogled izgleda jednostavno, primena zahteva poznavanje principa rada i mogućnosti instrumenata, kao i problema koji se istražuje. U ovom radu je data klasifikacija infracrvenih termografskih instrumenata, važna sa stanovišta praktične primene, naznačene su oblasti primene, analizirana razlika infracrvenih termografskih instrumenata za termičku vizuelizaciju objekata i merenje temperature, i analizirani problemi i osnovne greške pri njihovoj primeni. Takođe, dati su osnovni zahtevi za korisnike termovizije i praktične preporuke pri snimanju temperaturnog stanja i merenju temperature instrumentima na bazi infracrvenog zračenja.

Ključne reči: snimanje temperaturnog stanja, merenje temperature, infracrveni termometri, termovizija.

PROBLEMS IN THERMAL IMAGERY APPLICATION CONCERNING MEASUREMENTS OF TEMPERATURE STATES

Summary:

Instruments for recording temperature states and measuring temperature by IR sensors (infrared thermometers and thermal imagery) are based on state-of-the-art technologies. Although their use seem to be simple, their application requires a good knowledge of operation principles and possibilities of an instrument as well as of problems being investigated. In this article IR thermography devices are classified from the aspect of their application in practice, the fields of application are given and the difference between IR thermography devices for thermal visualization and temperature measurement is analyzed as well as problems and main errors in their application. Basic requirements for users of thermal imagery devices and some practical advice are given as well.

Key words: temperature state recording, temperature measurement in infrared thermometers, thermal imagery.

Uvod

Merenje temperature i snimanje temperaturnog stanja veoma je važno u tehnici, jer su osobine skoro svih materijala koji se koriste u elementima konstrukcija temperaturno zavisne. Pored toga, temperatura je često parametar nekog sistema na osnovu ko-

jeg se određuje ili reguliše veliki broj ostalih parametara. U vojsci, i drugim oblastima, važna je vizuelizacija objekata na osnovu njihovog temperaturnog stanja radi praćenja u uslovima slabe vidljivosti i otkrivanja maskiranih objekata.

Kontaktne metode merenja temperature (otporni termometri, termo-

parovi) imaju niz nedostataka, posebno kada se mere visoke temperature i kada je potrebno istovremeno izvršiti merenja u velikom broju tačaka. Nekonтактne metode, kao što je određivanje temperature primenom infracrvenog (IC) senzora, koje se zasnivaju na detekciji termalnog, odnosno IC zračenja površi objekta, nemaju tih nedostataka [1].

Danas postoje IC termografski sistemi (IC termometri, IC kamere) koji omogućavaju razlikovanje toplijih i hladnijih tačaka objekta (vizuelizacija objekta, snimanje temperaturnog stanja) merenje temperature čitave površi. Problem merenja temperature na osnovu IC zračenja razlikuje se od problema vizuelizacije objekata. Priroda i matematički model greške merenja temperature primenom IC senzora, odnosno IC kamere, analizirani su u [2, 3]. Međutim, i pri vizuelizaciji objekata (radi analize problema čiji ključ rešenja leži u temperaturnim fenomenima, ili radi otkrivanja maskiranih objekata) i pri merenju temperature javlja se niz praktičnih problema i grešaka koje često daju pogrešne rezultate, što dovodi u sumnju mogućnosti IC instrumenata. Ipak, uzrok je najčešće u neadekvatnoj i nestručnoj primeni instrumenta i nepravilnoj interpretaciji rezultata.

Klasifikacija IC termografskih instrumenata

Infracrveni termografski instrumenti mogu se klasifikovati na razne načine, a najznačajnija je klasifikacija sa stanovišta količine informacija koje oni daju. Postoje razne vrste IC instrumenata za snimanje temperaturnog stanja površi objekta, mada ne daju svi jednaku količinu informacije o temperaturi površi objekta. Zbog toga se prema obimu, odnosno dimenzionalnosti informacija o temperaturi, IC instrumenti svrstavaju u tri kategorije [4]:

1. IC instrumenti koji daju podatak o temperaturi jedne tačke na površi objekta, primajući zračenje sa jedne tačke objekta — IC termometri (engl. pirometers, spot radiometers, thermopoint);

2. IC instrumenti koji daju podatke o temperaturi jedne linije duž posmatranog objekta, odnosno profil temperature skaniranjem tačaka duž neke linije, a koji se nazivaju linijski radiometri (engl. line radiometers, IR line scanners, thermoprofile);

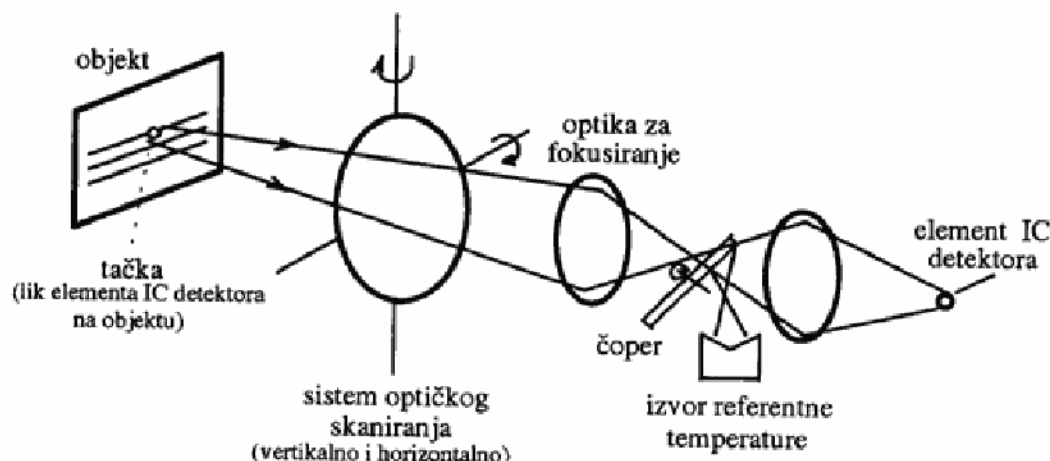
3. IC instrumenti koji daju podatke o temperaturama određenog dela površi objekta, odnosno termalnu mapu (sliku) ili raspodelu temperatura skanirajući određenu površ, a koji se nazivaju termovizija (engl. imaging systems, IR scanners, thermovision). Princip formiranja termalne slike kod termovizije prikazan je na slici 1.

Infracrveni termometri su najjeftiniji, ali daju i najmanje informacija o temperaturi površi objekta (temperaturu jedne tačke). Da bi se dobio podatak o temperaturi druge tačke potrebno je izvršiti novo merenje. Termovizijski sistemi su najskuplji, ali i, prostorno posmatrano, daju najviše informacija (istovremeno daju podatak o temperaturnom stanju velikog broja tačaka površi objekta). Koji će se od ovih instrumenata odabrati zavisi ne samo od raspoloživih materijalnih sredstava već i od konkretne namene, odnosno od vrste problema koji se rešava.

Najprivlačnija je termovizija koja omogućava trenutnu vizuelizaciju, pa i merenje temperature hiljade tačaka površi nekog objekta. Kao što televizija formira sliku objekta na osnovu vidljive svetlosti, tako termovizijski uređaj formira termalnu sliku (termogram) objekta na osnovu toplotnog, odnosno infracrvenog zračenja. Pored vrednosti temperature svake tačke, termovizija omogućava prikazivanje profila temperature duž željene linije, raspodelu temperature i praćenje di-

namike promene temperature u realnom vremenu. To je omogućeno povezivanjem personalnog računara (PC) u termovizijski sistem i odgovarajućim softverom [5, 6, 7]. Prvi termovizijski uređaj firme AGA (danas AGEMA) pojavio se sredinom šezdesetih godina. Počeci primene IC zračenja, za analizu

grafije, posebno termovizije moguća je i već dokazana u raznim oblastima, kao što su upravljanje procesima, kontrola i obezbeđenje kvaliteta, industrijska merenja, ispitivanje bez razaranja, dijagnostika, preventivno održavanje (mali broj otkaza uređaja nastaje a da nema prethodnih znakova da će do ot-



Sl. 1 — Princip formiranja slike termovizijske kamere

problema čiji je ključ rešenja u toplotnim fenomenima, zapisani su krupnim slovima u svetu nauke. Korporacija AGA je prva proizvela komercijalni termovizijski sistem povezan sa PC, i softver posebno razvijen za dijagnostiku termograma. Danas je to slučaj sa skoro svim proizvođačima termovizijske opreme. Funkcije takvog softvera mogle bi se grubo svrstati u četiri grupe [8]:

- kvantitativno merenje (proračun) stvarne temperature objekta;
- detaljna obrada i dijagnostika termograma;
- zapis, skladištenje i korištenje zapisanih termograma;
- upoređivanje termograma.

Oblasti primene IC termografskih instrumenata

Poslednjih dvadesetak godina IC termografija svakodnevno doživljava nove primene [6]. Primena IC termo-

kaza doći, a temperatura je često jedan od parametara koji na to ukazuje, itd. Infracrvena termografija ima sve veću primenu u oblasti istraživanja i razvoja, jer je danas jedan od osnovnih zahteva merenje i snimanje stacionarnih i dinamičkih temperaturnih stanja u realnom vremenu. Ona je efikasan, pouzdan i isplativ metod otkrivanja potencijalnih izvora otkaza električnih postrojenja i sprečavanja neplaniranih isključenja i opravki, kao i kontrole kvaliteta u industriji (naročito automobilske i poluprovodničke). Pored toga, pomoću IC termografije otkrivaju se gubici toplotne energije u zagrevanim objektima i sistemima za distribuciju medija za zagrevanje, istražuju termička stanja komponenti i sklopova energetske elektronike i rešavaju određeni problemi hlađenja, verifikacija teoretskih proračuna temperaturnih stanja, i mnoštvo drugih problema.

Od izuzetne važnosti je primena IC termovizije u vojsci — za otkrivanje maskiranih objekata, vizuelizaciju objekata u noćnim uslovima, snimanje signature aviona, u vazduhoplovnoj industriji za rešavanje raznih problema u vezi sa temperaturnim stanjem, itd. Razvoj tehnologije poluprovodničkih IC detektora omogućio je da IC sistemi za vizuelizaciju objekata budu lakši i manjih dimenzija i time pogodniji za ugradnju na izviđačke letelice i druge vojne sisteme. Važno je napomenuti da su IC sistemi za vizuelizaciju objekata pasivni sistemi, tj. snimaju sliku objekta na osnovu njegovog zračenja, i ne otkrivaju svoju poziciju, za razliku od, na primer, radarskih uređaja. Termovizija može kompenzirati nedostatke radarskih uređaja u otkrivanju niskoletućih ciljeva.

Termička vizuelizacija objekata i merenje temperature

Pojedini IC instrumenti u stanju su da detektuju temperaturne promene, a neki i da mere temperaturu. Zahtevi koji se postavljaju pred ove instrumente međusobno se razlikuju i nije moguće koristiti instrument namenjen za detekciju temperaturnih promena za merenje temperature, što nedovoljno upućeni često previđaju. Zbog ove bitne razlike IC termografski instrumenti, zavisno od namene, ocenjuju se i različitim pokazateljima.

Infracrvena termografija razvija se u dva pravca: jedan je dobijanje termalne slike, gde je potrebno samo utvrditi da li su dve susedne tačke međusobno toplije ili hladnije, a drugi je merenje (tačnije rečeno određivanje, proračun) temperature, gde je potrebno kvantitativno odrediti vrednost temperature.

Primer primene IC senzora za merenje temperature je razvoj instrumenta za direktno merenje temperature lopatica turbine turbomlaznog moto-

ra. Naime, klasičan sistem upravljanja turbomlaznim motorom zasniva se na merenju temperature izduvnih gasova nizom termoparova, koja je u vezi sa temperaturom lopatica turbine kao kritičnim parametrom rada turbomlaznog motora. Nedostatak ove tehnike je, pre svega, u algoritmu koji povezuje temperaturu izduvnih gasova sa temperaturom lopatica turbine, a čija razlika iznosi i do 40°C. Tako velika greška nameće potrebu da se smanji maksimalna dozvoljena temperatura lopatica turbine kako bi se obezbedila sigurnost da ne dođe do pregrevanja lopatica turbine, ali time se smanjuju i maksimalne performanse motora. Infracrvenim termometrima bi se omogućilo direktno merenje temperature lopatica turbine kao kritičnog parametra i time izbegla greška zbog algoritma koji povezuje ovu temperaturu sa temperaturom izduvnih gasova.

Razvoj IC senzora, digitalne i mikrop procesorske, odnosno računarske tehnike omogućio je da IC termografija izade iz okvira detekcije toplo-hladno u oblast merenja temperatura i analize termičkih fenomena, tako da su savremeni IC termografski sistemi, u stvari, kombinacija sistema za merenje i sistema za analizu. No, bez obzira na savršenost računara, krajnji kvalitet informacije ipak je ograničen kvalitetom senzora i optičkog sistema, koji su prvi u lancu obrade informacije o temperaturi površi tela.

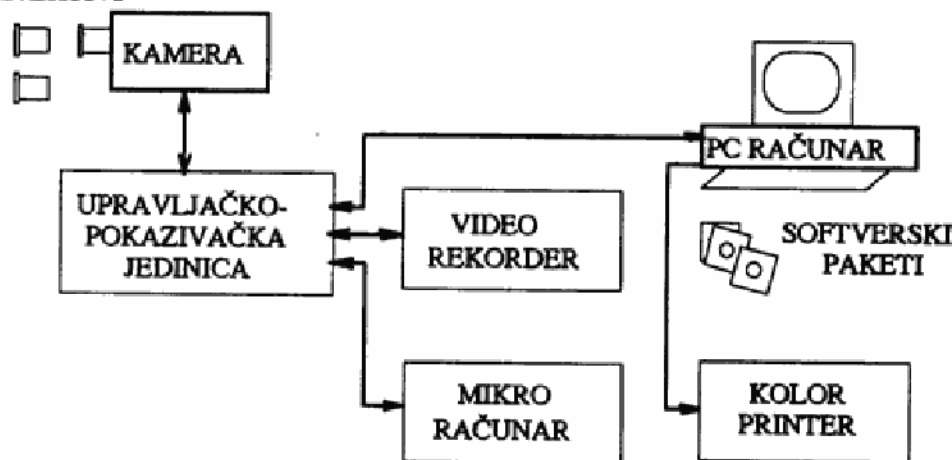
Savremeni termovizijski sistemi su modularne konstrukcije, što omogućava da se relativno jednostavno, polazeći od osnovne konfiguracije (kamera i pokazivačka jedinica), dodavanjem mikro ili personalnog računara, uređaja za video snimanje i štampanje, sistem dograđuje po potrebi, odnosno oformi fleksibilan sistem pogodan za primenu kao laboratorijska (stacionarna), pokretna ili prenosna konfiguracija (slika 2) [5].

U laboratorijskoj konfiguraciji sistem obuhvata IC kameru, upravljač-

ku i pokazivačku jedinicu, videorikorder, personalni računar i kolor štampač. U pokretnoj konfiguraciji obično obuhvata IC kameru, upravljačku i pokazivačku jedinicu, mikroračunar i videorikorder (ako je pokretna konfigu-

cioni termometri i termovizijske kamere ne pokazuju stvarnu već neku prividnu temperaturu, pa je jedan od ključnih problema radijacionih termometara kako odrediti stvarnu temperaturu tela. To znači da se do podata-

OBJEKTIVI



Sl. 2 — Blok-šema konfiguracije termovizijskog sistema

racija deo laboratorijske). Temperaturno stanje objekta može se direktno analizirati mikroračunarom, ili snimati na videotraku, a zatim u laboratoriji detaljno analizirati. Prenosna konfiguracija obuhvata IC kameru, upravljačku i pokazivačku jedinicu (mogu biti jedna celina) i mikroračunar. Predviđeno je da je korisnik nosi i na taj način koristi.

Indirektna i nekontaktna metoda merenja temperature i njene mogućnosti

Određivanje temperature površi materijala na osnovu merenja fluksa IC zračenja pripada grupi indirektnih metoda merenja temperature, pri čemu se koristi odgovarajući matematičko-fizički model za povezivanje temperature objekta sa direktno merenim veličinama u odgovarajućoj stvarnoj situaciji, odnosno, uslovima pri merenju fluksa zračenja. Zbog toga radija-

ka o temperaturi dolazi proračunom, a ne direktnim merenjem.

Određivanje temperature tela na osnovu posrednog merenja fluksa IC zračenja kompleksan je problem zbog uticaja više faktora kao što su: izvori zračenja (objekat, okolina, atmosfera), procesi (emisija, refleksija) na ukupno izmereni fluks, što otežava izdvajanje korisnog fluksa koji nosi informaciju o temperaturi površi objekta koja se određuje. Poseban uticaj ispoljava emisivnost objekta, koja je manja od jedinice i različita za različite materijale, pa je moguće da za dva različita materijala na istoj temperaturi termovizija pokazuje različite temperature. Problem pokušava da se reši i specijalnom konstrukcijom radijacionih termometara, što ne odgovara svim uslovima, posebno ne ako se merenje obavlja na objektu na terenu.

U mnogim primenama, i u vojsci, kao na primer pri otkrivanju maskiranih objekata, nije potrebno tačno iz-

meriti temperaturu neke tačke već je dovoljno samo utvrditi da li se temperature susednih tačaka na ispitivanoj površini razlikuju. Kod takvih primena nije od posebnog značaja što termovizija ne pokazuje prave vrednosti temperatura u pojedinim tačkama površi objekta. Međutim, ako je potrebno izmeriti stvarne vrednosti temperatura tačaka površi objekta, onda to postaje veoma važno i potrebno je rešiti znatno više problema da bi se došlo do stvarne temperature.

Jedan od značajnih problema primene IC senzora za merenje temperature jeste velika greška merenja, koja je posledica odabrane metode i instrumenta, kao i uslova i načina primene. Greška (ili tačnost) merenja koju navode proizvođači IC sistema odgovara situaciji koja se postiže pri kalibraciji uređaja pomoću crnog tela (emisivnost jednaka jedinici) u laboratorijskim uslovima. U neke IC termometre i kamere moguće je unositi podatke o emisivnosti materijala čija se temperatura meri i tako koriguje temperatura koju ona pokazuje, a neki IC sistemi imaju softver koji omogućava da se unesu i druge direktno merene veličine. Problem određivanja greške merenja temperature IC kamerom, matematički model greške i analiza određenih faktora može se videti u [1, 2]. Merenje temperature površi materijala objekta na niskim temperaturama ili temperaturama bliskim temperaturi okoline (ambijenta) najveći je izazov u IC termometriji, jer je IC signal veoma mali (blizak nuli) kada su temperature samog instrumenta i temperature objekta bliske ili jednake.

Međutim, bez obzira na to da li se radi o termičkoj vizuelizaciji objekta ili merenju temperature, javlja se niz praktičnih problema i grešaka koje često dovode do pogrešnih rezultata, pa se sumnja u mogućnosti IC instrumenata.

Praktični problemi primene termovizije

Prvi kontakt sa termovizijom fasciniira termogramima, koji prikazuju raspodelu temperature na površi nekog objekta, pri čemu je određenoj temperaturi (opsegu temperatura) dodeljena određena boja (ili nivo sivog, ako se radi o crnobelom termogramu), u skladu sa ukupnim opsegom temperatura na objektu i brojem boja i nijansi. Danas broj boja doseže 256 i više. Međutim, detaljniji uvid u rezultate ili upoređenje sa rezultatima dobijenim nekom komparativnom metodom može pokazati da se rezultati dobijeni termovizijom mogu veoma razlikovati od stvarnih temperatura na objektu koji se snima. To se veoma lako može uočiti ako se, na primer, snima lice čoveka, kada se lako primećuje da se temperatura koju pokazuje termovizija razlikuje od stvarne temperature, koja je u ovom slučaju dosta dobro poznata. Međutim, najčešće temperature koje se žele izmeriti nisu ni približno poznate, pa se takvi pogrešni rezultati (ako se ne koristi i neka komparativna metoda) ne mogu uočiti, i prihvataju se kao tačni, što može imati višestruke negativne posledice. Takvi rezultati često mogu da obeshrabre korisnike termovizije i navеду ga da posumnja u njene mogućnosti.

Osnovne greške pri primeni termovizije

Loši rezultati dobijeni primenom termovizije (rezultati ispod njenih stvarnih mogućnosti), bez obzira na to da li se radi o detekciji temperaturnih razlika ili o merenju temperature, najčešće nastaju greškom korisnika, dakle ljudskog faktora. Smatra se da do uzroka loših rezultata [10, 11] dolazi kada:

— operator, odnosno lice koje koristi termoviziju, ne poznaje i ne ra-

zume naučnu osnovu IC zračenja i IC termografije;

— operator ne poznaje dobro problem koji istražuje;

— operator pokušava da dođe do podataka (rezultata) koristeći opremu koja nije namenjena za dobijanje takvih podataka;

— operator uopšte ne razume problem, odnosno ne shvata do kakvih podataka treba da dođe;

— instrument je loše kalibrisan ili je istekao rok kalibracije.

To može dovesti do niza nekorisnih, pa i štetnih rezultata u izveštaju o istraživanju, kao što su [10]: netačni podaci, nerazumljivi podaci za korisnika ili samo deo podataka, pri čemu nedostaju bitni parametri.

Iskustva iz primene termovizije pokazuju da greške često dovode do toga da se za netačne i neupotrebljive rezultate okrivljuje instrument, odnosno najčešće tvrdi da je instrument neispravan.

Osnovni zahtevi za korisnike termovizije

Osnovni zahtevi koji se postavljaju pred korisnike termovizije za istraživanje i rešavanje problema, u bilo kojoj oblasti, jesu [10]:

— poznavanje fizičke osnove IC zračenja;

— poznavanje instrumenta i problema koji se rešava;

— odgovarajuće iskustvo u primeni termovizije u oblasti koja se istražuje;

— korišćenje instrumenta koji može dati željene podatke.

Osnovni zahtevi u pripremi za istraživanje primenom termovizije su [12]:

— kalibrisan instrument;

— dobro analizirana i definisana okolina objekta (izvori zračenja u okolini objekta) koji se istražuje;

— analiziran materijal površi objekta i okarakterisan podacima, odnosno emisivnošću;

— analizirani dosadašnji rezultati istraživanja problema koji se želi rešiti, ili sličnog problema.

Podaci o objektu, okolini i medijumu prostiranja IC zračenja moraju se uneti u odgovarajući fizičko-matematički model za proračun temperature. Takav matematički model, čija složenost, odnosno usklađenost sa stvarnom fizičkom situacijom utiče na tačnost proračunate vrednosti temperature, obično je »ugrađen« u instrument, a potrebni podaci se unose preko odgovarajuće komande ili tastature ako je sistem povezan sa računarom. Tačnost rezultata zavisi od tačnosti modela, kao i od tačnosti unetih podataka.

Praktične preporuke za korišćenje termovizije

Očigledno da, osim prethodne analize objekta koji se istražuje, postoje tri ključna problema:

— priprema termovizijskog, odnosno IC instrumenta;

— korišćenje instrumenta,

— interpretacija dobijenih rezultata.

Prema tome, potrebno je razviti standarde za kalibraciju termovizije, odnosno IC instrumenata, standarde za njihovo korišćenje i standarde za analizu rezultata koji se njima dobijaju. S obzirom na to da je i kod nas primena termovizije sve veća, ovi problemi postaju sve aktuelniji i moraju se rešavati na profesionalnom nivou.

Pri merenju temperature na osnovu IC zračenja [14] mogu se formulisati sledeće mere i praktične preporuke

koje treba preduzeti, odnosno imati u vidu:

— meriti na objektima koji su tamne boje u vidljivom opsegu;

— približiti senzor (kameru) što više objektu, kako bi zauzeo što više vidnog polja, odnosno ekrana na displeju pokazivačke jedinice, odnosno instrumenta, i fokusirati;

— merenje vršiti vertikalno u odnosu na površ objekta koji se snima (čija se temperatura meri);

— pomerati kameru radi uočavanja uticaja refleksija od objekata iz okoline;

— nije bitan materijal objekta, već površ objekta;

— meriti (snimati), po mogućnosti, u uslovima bez vetra;

— što je viša temperatura objekta u odnosu na okolinu, manja će biti greška merenja;

— izbegavati sunce, svetlost, spektralnu apsorpciju i zračenje.

Zaključak

Infracrveni termografski sistemi imaju veoma široku primenu u industriji, medicini, vojsci, i drugim specifičnim delatnostima. Instrumenti se

zasnivaju na savremenoj tehnologiji, a njihova upotreba je jednostavna, pa i nedovoljno osposobljen korisnik može dobiti određene rezultate, koji na žalost mogu biti pogrešni ili pogrešno interpretirani. Zbog nedovoljnog poznavanja mogućnosti instrumenta i problema koji se rešava postoji opasnost da rezultati budu predstavljeni kao ispravni, jer njihova neispravnost nije očigledna.

Zbog toga korisnik IC termografskih instrumenata, odnosno termovizije, mora veoma dobro da poznaje principe na kojima oni rade, teorijske osnove IC zračenja, kao i fizičke osnove problema koji se istražuje, kao što su karakteristike zračenja objekta (posebno emisivnost materijala, a ako se radi o propusnim materijalima onda su potrebni i drugi podaci), uslovi razmene temperature sa okolinom, karakteristike okoline, itd. Jedino na taj način mogu se postići rezultati koji imaju upotrebnu vrednost i profesionalni nivo.

Radi obezbeđenja profesionalnog nivoa primene termovizije potrebno je razviti standarde za kalibraciju IC instrumenata, standarde za njihovo korišćenje, i standarde za analizu rezultata.

Literatura:

- [1] Kriksunov, L. Z.: Spravočnik po osnovam infrakrasnoj tehnici, Sovetskoe radio, Moskva, 1978.
- [2] Pokorni, S.: Analiza greške određivanja temperature površi materijala primenom IC senzora, ETRAN'86, Zbornik radova, sveska IV, Budva, 4-7. juni 1986, str. 103-106.
- [3] Pokorni, S.: Analiza greške određivanja temperature površi čvrstih materijala IC kamerom, Vojnotehnički glasnik, 1/88, str. 75-86.
- [4] Madding, R.: Thermographic Instruments and Systems, University of Wisconsin - Extension, Department of Engineering and Applied Science, 1979.
- [5] Thermovision 870, Operating Manual, AGEMA Infrared Systems, 1981.
- [6] Fifth Biennial Infrared Information Exchange, Proceedings, book I, II, New Orleans, Louisiana, October 29-31, 1985, (IRIE '85).
- [7] Ravich, E. L.: Thermal Imaging: A Review, Laser Focus/Electro-Optics, pp 98-110, february 1986.
- [8] Kaplan, H.: Infrared Thermal Imaging Diagnostics - The New Software, Laser Focus/Electro-Optics, pp 150-157, novembar 1987.
- [9] David, C. Evans: »Positive Identification using infrared facial imager«, Defense & Security ELECTRONICS, Electronic Technologies And Applications For Government And Industry, Atlanta, USA, str. 24-25, Vol. 28, No. 3, mart 1986.
- [10] Baird, G. S.: Questions of quality in thermographic services, Thermosense VIII, SPIE, Vol. 591, 1986.
- [11] Roberts, C. C., Roberts, C.: The misuse of infrared thermography, Thermosense VIII, SPIE, Vol. 581, 1986.
- [12] Courville, G. E.: Current status of professionalism in commercial infrared sensing, An International Conference on Thermal Infrared Sensing for Diagnostics and Control (Thermosense VIII), September 17-20, 1985, Cambridge, Massachusetts, SPIE, Vol. 581, 1985.
- [13] Morrill, R. E. K.: The technologist as an expert witness, Thermosense VII, SPIE, vol. 520, p. 11-16, 1984.
- [14] Hughes Corp.: Probeye, Application Manual.

ODREĐIVANJE DOMETA RADIO-VEZE NA OSNOVU POZNATE VREDNOSTI JAČINE POLJA

UDC: 621.391.8:621.396

Rezime:

Određivanje dometa radio-veze i zone pokrivanja predajnika zahteva podatke o konfiguraciji zemljišta, njegovom sastavu, kao i poznavanje tehničkih karakteristika uređaja. U radu je prikazana mogućnost proračuna dometa na osnovu izmerenih vrednosti jačine polja jedne trase, i objašnjen postupak za definisanje zone pokrivanja. Merenje je vršeno na dve frekvencije, zbog upoređenja dometa kada predajnik menja radne kanale, radeći u režimu frekvencijskog skakanja ili multipleksa sa frekvencijskom raspodelom kanala.

Ključne reči: domet radio-veze, jačina električnog polja, mobilna veza, profil trase.

RADIO-LINK RANGE DETERMINATION BASED ON KNOWN FIELD INTENSITY

Summary:

Determination of a radio-link range and a transmitter covering zone requires data on terrain configuration and its composition as well as on performances of devices. This article presents a possibility to calculate a range on the basis of measured values of one trace field intensity and explains the procedure of covering zone defining. The measurement was carried out for two frequencies in order to compare the ranges when the transmitter switches channels, functioning in frequency hopping or frequency-multiplexing mode.

Key words: radio-link range, electric field intensity, mobile communication, trace profile.

Uvod

U poslednje vreme sve su brojniji komunikacijski sistemi koji omogućavaju vezu između jednog centra i korisnika koji se nalazi na proizvoljnoj lokaciji u određenoj zoni oko tog centra. Postoje jednosmerne i dvosmerne veze zasnovane po ovom principu. Jednosmerne služe za slanje poruka iz centra bilo kom korisniku. U ovu grupu, pre svega, spada radio-televizijska mreža, a novijeg datuma je mreža pejdžing sistema.

Dvosmerne veze služe za slanje poruka u oba smera. U poslednje vre-

me svakako je trend razvoja ovih veza da periferni primopredajnik bude mobilni i da se istovremeno, pored govora, prenose i podaci.

Trenutno se na svetskom tržištu, pored kvaliteta veze, zahteva i što lakša i minijaturija mobilna stanica.

Do sada su se ove veze uglavnom koristile za interne komunikacije radnih organizacija ili javnih službi kao, na primer, vojske, milicije, vatrogasaca, taksi službe, železnice, itd., kao i priključak na PTT mrežu radio-telefonom.

Kod oba tipa prenosa za kvalitetan prijem nužno je da se određeno

područje pokrije dovoljnom jačinom polja. To se postiže odabiranjem najpovoljnije lokacije baznog (čelijskog) primopredajnika, izborom snage predajnika i vrste antene, tako da se pokrije što veći procenat određene lokacije. Nikada se ne može zahtevati stopostotno pokrivanje, jer nije ekonomično, a nekada je i neizvodljivo.

U ovom radu je pokazan jedan od načina određivanja dometa, na osnovu izmerene jačine električnog polja, za radio-vezu ostvarenu u VVF opsegu na ravničarskom terenu. Podaci o jačini polja odnose se na vrednosti jedne realizacije, ali s obzirom na to da veličina polja zavisi od trenutne situacije u atmosferi, ona je statistička veličina većeg broja merenja, na čemu se u radu neće insistirati.

Određivanje dometa radio-veze

Domet radio-veze predstavlja rastojanje neke tačke od predajnika u kojoj je polje jednako ili prvi put manje od minimalno potrebnog polja za korektan rad prijemnika.

Polazeći od jačine električnog polja pri prostiranju elektromagnetskih talasa (EMT) u slobodnom prostoru, gustina snage na mestu prijema u smeru maksimalnog zračenja može se izraziti kao [1, 3]:

$$P = \frac{E^2}{120\pi} \quad (1)$$

gde je:

E — jačina električnog polja na mestu prijema u (mV/m).

Na osnovu poznate veličine gustine snage na mestu prijema, određuje se snaga na izlazu prijemne antene, odnosno na ulazu u prijemnik:

$$P_{pr} = P \cdot A_e \cdot k \quad (2)$$

gde je:

A_e — efektivna površina antene,

k — faktor iskorišćenja zbog gubitaka usled disipacije $k = R_z / (R_z + R_d)$, (u praksi je stepen iskorišćenja između 50% i 70%, ali je za određene frekvencije oko 100%),

R_z — otpor zračenja,

R_d — otpor gubitaka.

Radi jednostavnosti usvaja se da je $k=1$, odnosno da je antena uvek maksimalno prilagođena ulazu prijemnika.

Efektivna površina antene određena je izrazom:

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{pr} \quad (3)$$

gde je:

G_{pr} — dobitak prijemne antene u pravcu predajnika u odnosu na izotropni radijator,

λ — talasna dužina u metrima ($\lambda = c/f$).

Uz pretpostavku da postoji potpuno prilagođenje po snazi između antene i ulaza u prijemnik, snaga na ulazu prijemnika je:

$$P_{pr} = \frac{U_{ul}^2}{4R_i} \quad (4)$$

gde je:

R_i — ulazna impedansa prijemnika (Ω),

U_{ul} — napon na ulazu (μV).

Iz izraza (1, 2 i 3) sledi da je:

$$\begin{aligned} P_{pr} &= \frac{E^2}{120\pi} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G_{pr} = \\ &= \frac{c^2}{480\pi^2} \cdot \frac{E^2}{f^2} \cdot G_{pr} \end{aligned} \quad (5)$$

gde je:

c — brzina prostiranja elektromagnetskih talasa u vakuumu ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s),

f — frekvencija (Hz).

Izračunavanjem konstantnih veličina i upotrebom drugih mernih jedinica dobija se izraz:

$$P_{pr}(\text{pW}) = 19 G_{pr} \frac{E^2(\mu\text{V/m})}{f^2(\text{MHz})} \quad (6)$$

$$E^2(\mu\text{V}) = \frac{1}{19} \frac{f^2}{G_{pr}} P_{pr}$$

Iz (4) i (6) sledi:

$$\begin{aligned} E^2 &= \frac{1}{4} \frac{U_{ul}^2}{R_t} \frac{1}{19} \frac{f^2}{G_{pr}} = \\ &= \frac{1}{76} \frac{U_{ul}^2}{R_t} \frac{f^2}{D_{pr}} \end{aligned} \quad (7)$$

Kod mobilnih veza koje se zasnivaju na pokrivanju određene zone oko centralne stanice nije zanimljivo samo električno polje u smeru maksimalnog zračenja već i u svim uglovima po azimutu od 0° do 360° ili unutar nekog većeg sektora. Kada se odabere lokacija centralne stanice snime se profili terena, na primer svakih 30° po azimutu, što daje 12 radijalnih profila. Za preciznije proračune broj profila može se povećati, a za grubu procenu broj se može i smanjiti. U radu je obrađen jedan profil pravca, a po istoj analogiji proračunava se domet i za ostale pravce unutar posmatrane zone.

Pri određivanju minimalnog polja koje se zahteva za ostvarivanje radio-veze treba dodati i zahtevani odnos signal/šum (S/N) koji se definiše formulom:

$$\begin{aligned} E_{min}(\text{dB}) &= -10 \log 76 + 20 \log U_{ul} + \\ &+ 10 \log R_t + 20 \log f - \\ &- 10 \log G_{pr} + 10 \log S/N \end{aligned} \quad (8)$$

gde je:

R_t — ulazna impedansa prijemnika (Ω),

U_{ul} — napon na ulazu prijemnika pri kojem se dostiže prag osetljivosti prijemnika (μV),

f — frekvencija predajnika (MHz),

G_{pr} — dobitak prijemne antene u pravcu predajnika u odnosu na izotropni radijator (dB),

S/N — odnos signal-šum potreban za postizanje odgovarajuće verovatnoće greške (dB).

Rezultati proračuna dometa na osnovu izmerenih vrednosti jačine polja

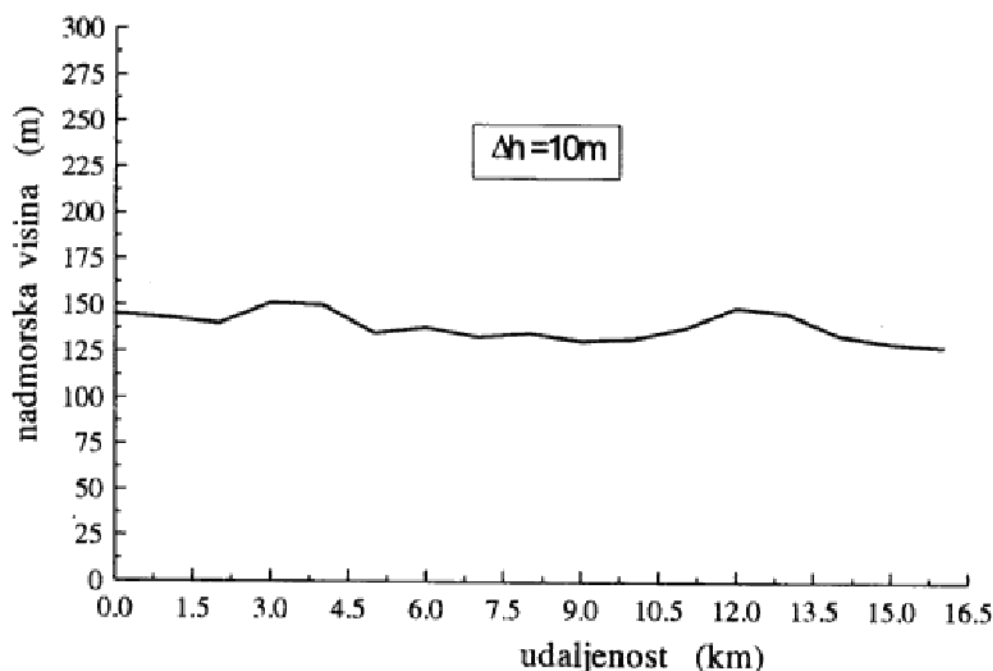
Proračun dometa zasniva se na izmerenim vrednostima jačine polja jedne realizacije, kada je veza ostvarena radio-uređajem RUP-12 na frekvencijama 30 MHz i 60 MHz.

Metod proračuna dometa i određivanje zone pokrivanja kod mobilne telefonije je isti, samo se jačina polja razlikuje zbog višeg opsega frekvencija od 450 MHz (NMT-450), 900 MHz (GSM) ili 1,8 GHz (DCS 1800).

Teren je bio ravničarski a uglavnom je dominiralo obradivo zemljište, sa ponekom nižom seoskom građevinom. Merenje je obavljano u jesen, kada je većina useva bila uklonjena sa polja.

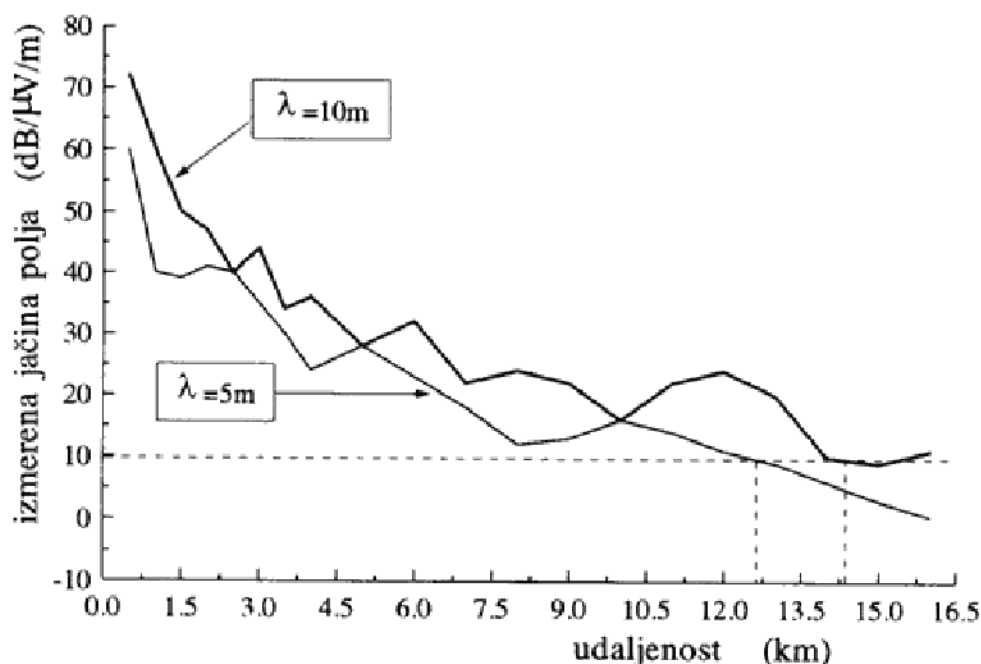
Osnovna pozicija predajne antene bila je na 145 m nadmorske visine (1,5 m iznad zemljišta). Predajnik je zračio nemodulisan nosilac, a za merenje je korišćen merač ML 518A ANRITSU, japanske proizvodnje. Prijemna antena bila je kalibrisani $\lambda/2$ dipol, montiran na drvenom stalku sa visinom centra 3,56 m od površine zemlje, shodno [7].

Profil odabranog radio-pravca prikazan je na slici 1.



Sl. 1 — Profil trase za merenje

Izmerene vrednosti jačine polja za 30 MHz i 60 MHz prikazane su na slici 2.



Sl. 2 — Određivanje dometa radio-veze za ravničarski teren prema izmerenim podacima jačine polja

Za proračun prema izrazu (8) uzeti su podaci koji se odnose na radio-uređaj RUP-12, i to [2, 6]:

$$U_{ai} = 1,2 \text{ } \mu\text{V},$$

$$R_i = 50 \text{ } \Omega,$$

$$f = 30 \text{ MHz}, 60 \text{ MHz},$$

$$G_{pr} = 5,15 \text{ dB, duga štap-antena,}$$

$$S/N = 20 \text{ dB.}$$

Kada se ove vrednosti uvrste u izraz (8) dobija se vrednost $E_{min}=10,23$ dB, ali se, radi jednostavnosti postupka, usvaja vrednost od 10 dB, na osnovu koje se i određuje domet prema slici 2 [5].

Iz prikazanog dijagrama se vidi da domet na frekvenciji 30 MHz iznosi 14,45 km, a na 60 MHz domet je 12,65 km, što je u skladu sa osnovnim tehničkim podacima.

Za brdske krajeve, usled postojanja senki, pogodnije je korišćenje proračuna za verovatni domet, gde se sa zadatom verovatnoćom može garantovati zahtevani kvalitet prijema.

Da su ovi rezultati merenja ostvareni na trasi duž brdovitog terena, verovatni domet bi iznosio 16 km, jer bi zahtevani kvalitet prijema od 90% bio ostvaren duž trase dužine 14,4 km, kao u navedenom primeru, a na 1,6 km trase ne bi se mogao garantovati zahtevani kvalitet.

Proračunom verovatnog dometa za najmanje 12 radijalnih profila od cen-

tralne stanice dolazi se do grafičkog prikaza zone pokrivanja, što ujedno treba da predstavlja granicu jedne ćelije. Van ovih granica bira se lokacija druge centralne stanice.

Očigledno da ove granice ne smeju biti stroge, zbog varijacije polja u zavisnosti od frekvencije, pa se po ivicama ćelije najčešće preklapaju. U zoni preklapanja mobilna stanica komunicira preko ćelijske bazne stanice koja nudi najjači signal na njejoj trenutnoj lokaciji.

Zaključak

U radu je na konkretnom primeru pokazan postupak za određivanje dometa radio-veze za dve frekvencije u VVF opsegu. Primenom izraza (8) i dijagrama o jačini polja duž odabranih trasa, za konkretan uređaj, teren i frekvenciju, određena je zona pokrivanja. Podatak o jačini elektromagnetskog polja može se dobiti merenjem, kao u konkretnom primeru, (slika 2), ili proračunom po nekoj od poznatih metoda. Proračun nivoa elektromagnetskog polja najčešće se dobija primenom osnovne CCIR metode, ili njenom modifikacijom sa korekcijom ugla prokrćenosti.

Očito je da se pri upotrebi mobilne telefonije može očekivati različit kvalitet signala, ne samo zbog promene same lokacije već i zbog promene radnog kanala (noseće frekvencije).

Literatura:

- [1] Zentner, E.: Radio-komunikacije, Školska knjiga, Zagreb, 1980.
- [2] SSNO., Priručnik za antene, VIZ, Beograd, 1981.
- [3] Šunjevarić, M.: Radio-goniometrija, VINC, Beograd, 1981.
- [4] Paroški, M.: Proračun dometa i verovatnog dometa radio-veza, ETRAN, Beograd, 1997.

- [5] Stefanović, R.: Otpornost na smetnje i mogućnost ometanja radio-komunikacijskih sistema s FS, magistarski rad, VTA, Beograd, 1994.
- [6] SSNO., Radio-uređaj RUP-12, TU, Beograd, 1971.
- [7] Anritsu Electronic, User's manual ML 518A, Tokyo, Japan.

Dr Vlado Radić,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnički Institut VJ,
Beograd

UTICAJ ZAKRIVLJENOSTI CEVI NA OSLOBAĐANJE ENERGIJE U ZONI SPOJA PRI ZAVARIVANJU EKSPLOZIJOM

UDC: 621.791.1.051

Rezime:

Zavarivanje eksplozijom osnosimetričnih komponenti, generalno u cevastom cilindričnom obliku, varira od mono i višemetalnih dupleks ili tripleks cilindara, preko ostalih sistema do sofisticiranih kompozita u pogledu materijala i geometrije. Te komponente se primenjuju od antikorozivnih i termički otpornih sistema koji se koriste u hemijskoj i petrohemijskoj industriji, nuklearnim postrojenjima, u avioindustriji, do lakih i čvrstih izmenjivača toplote, kontejnera pritiska, itd.

Ključne reči: zavarivanje eksplozijom, cevi, energija, spoj.

INFLUENCE OF TUBES CURVE ON ENERGY DELIVERING IN BONDING REGION DURING EXPLOSIVE WELDING

Summary:

Explosively welded axisymmetric components generally in the tubular cylindrical form, vary from mono- and multi-metallic duplex and triplex cylinders, through other systems, to materially and geometrically sophisticated composites. Applications of these components range from anti-corrosive and heat resisting systems used in chemical industry, oil installations and nuclear plants, to light and strong heat exchangers and pressure containers.

Key words: explosive welding, tubes, energy, bond.

Uvod

Zahtevi za materijalima koji mogu da podnesu visoke pritiske, temperature i izuzetno visoka dinamička opterećenja opredelili su primenu mnogih novih tehnologija, a među njima i zavarivanja eksplozijom. Ovom tehnologijom moguće je ostvariti spojeve skoro svih vrsta materijala, i ostvariti takve kombinacije koje će adekvatno odgovoriti nameni za koju su specificirane. To se posebno odnosi na bimetalne i višeslojne kompozicije aluminijuma, bakra, titana i ostalih metala sa čelikom.

Zavarivanje eksplozijom može se uslovno svrstati u dve grupe — zava-

rivanje ravanskih elemenata (ploča) i zavarivanje cilindričnih priprema (cevi). Obe grupe zasnivaju se na primeni eksplozije u spajanju dve ili više metalnih površina, koriste se isti zakoni i matematičke formule za proračun konkretnih veličina (napon, deformacije, pritisci, temperature, brzine), ali je konfiguracija priprema vrlo značajan činilac uspešnosti tehnologije. U ravanskoj konfiguraciji metalna ploča se, pod uticajem generisanih produkata detonacije, ubrzava i (ili) odbacuje prema drugoj nepokretnoj ploči, dovodeći dva metalna elementa u dinamičko stanje kontakta i sudara. Spajanje se ostvaruje u formi talasa konkretnih parametara — amplitude i

dužine. Dobijeni spojevi ploča ograničeni su samo količinom potrebnog eksploziva za ostvarenje spajanja. U slučaju zavarivanja cevi cilindrična konfiguracija priprema unosi određena ograničenja, i postupak spajanja nije potpuno istovetan kao kod ploča. Naime, koaksijalnost elemenata vrlo je bitna, jer u slučaju razlika u zazoru između dve cevi dolazi i do neregularnih stanja pri zavarivanju. Inicijacija mora da se ostvari osnosimetrično u odnosu na pripreme, bez obzira na prečnike. Ograničavajući faktor pri zavarivanju cevi je, svakako, prečnik cevi koje treba zavariti. On je ograničavajući kako sa aspekta količine eksploziva koji se može smestiti između dve cevi, tako i energije koju može preneti na spoljne i unutrašnje zidove cevi (u zavisnosti koja se cev ubrzava ili odbacuje). Radi toga priprema postupka je detaljnija, a ostvareni rezultati samo potvrđuju celishodnost primene tehnologije.

Analiza oslobađanja energije u zoni spoja

Pri zavarivanju eksplozijom bimetallnih cevi i ploča, sa jednakim brzinama sudara V_c i brzinama kontakta V_k , u zoni spoja cevi primećuju se znatno veće dimenzije talasa i količina otopljenog metala nego u pločama. Tome doprinose različiti energetski uslovi formiranja zavarenog spoja [1]. Jedan od činilaca koji doprinosi pojaviti tih razlika može biti zakrivljenost cevi.

Istraživanja su izvršena upoređivanjem oslobađanja energije u zoni spoja cevi različite zakrivljenosti i ploča, pri čemu su ploče razmatrane kao granični slučaj cevi sa nultom zakrivljenošću. Debljina koaksijalnih i ravnih elemenata iznosila je 4 mm. Identičnost uslova kočenja cevi koja se ubrzava i (ili) odbacuje eksplozijom i ploča pri zavarivanju obezbeđena je korišćenjem nepokretne ploče debljine 60 mm. Upoređujući izrazi podeljeni su

na parove cev — ploča. Pri zavarivanju svakog para uzoraka, kinetičke energije elemenata koji se ubrzavaju, u trenutku sudara, bile su jednake, što je obezbeđeno jednakošću:

— brzina detonacije eksploziva (što je obezbeđivalo jednake brzine V_k pri zavarivanju cevi i ploča);

— odnosa masa eksploziva i elemenata koji se ubrzava;

— odnosa pomeranja kontaktne površine sa produktima detonacije prema visini eksploziva h/H .

Uslovi pri kojima su izvršeni eksperimenti dati su u tabelama 1 i 2.

Odnos mase eksploziva i elemenata koji se ubrzavaju, kako pri zavarivanju cevi, tako i pri zavarivanju ploča, u svim eksperimentima iznosio je 1,734. Prečnik cevi koja se ubrzavala iznosio je 105 mm.

U drugoj seriji cev koja se ubrzavala imala je spoljni prečnik 32 mm. U svim serijama odnos mase eksploziva i elemenata koji se ubrzavaju iznosio je 1,434.

Oslobađanje energije pri zavarivanju koaksijalnih i ravnih spojeva određuje se na osnovu amplitude generisanog talasa.

$$a = K \frac{W_2}{\rho V_k^2} = 4,75 \left(1 - \frac{2\sigma_v}{\rho V_s^2} \right) \frac{\delta_1 \delta_2}{\delta_1 + \delta_2} \frac{V_s^2}{C^2} \left(\frac{C^2}{V_k^2} - 1 \right) \quad (1)$$

gde je:

- a — amplituda generisanog talasa u zoni spoja (mm),
- W_2 — energija koja se utroši na plastičnu deformaciju pri zavarivanju eksplozijom (MJ/m^2),
- σ_v — statička granica na kidanje metala koji se zavaruju (MPa),
- ρ — gustina metala koji se zavaruje (g/cm^3),
- δ_1 i δ_2 — odgovarajuće debljine elemenata koji se ubrzavaju i (ili)

odbacuju i nepokretnog ele- C — brzina zvuka u metalima koji
menta (mm), se zavaruju (m/s).

Tabela 1.

Tehnološki i kinematski parametri režima zavarivanja eksplozijom bimetalnih cilindara i ploča od čelika Č.7400 + Č.0361

Broj uzorka	1	2	3	4	5	6
Ploče						
Zazor h (mm)	0,7	2,7	3,3	4,7	5,3	7,3
Visina eksploziva H_e (mm)	60	60	60	60	60	60
Odnos h/H_e	0,012	0,045	0,055	0,078	0,088	0,122
Brzina kontakta V_k (m/s)	2520	2520	2520	2490	2500	2510
Brzina odbacivanja V_u (m/s)	320	473	502	542	555	590
Bimetalni cilindri						
Pomeranje spoljne površine cevi koja se odbacuje h_i (mm)	0,46	1,85	2,30	3,22	3,70	5,03
Visina eksploziva H_e (mm)	41,5	41,5	41,5	41,5	41,5	41,5
Odnos h_i/H_e	0,011	0,045	0,055	0,078	0,089	0,121
Brzina kontakta V_k (m/s)	2540	2520	2550	2570	2550	2540

Tabela 2

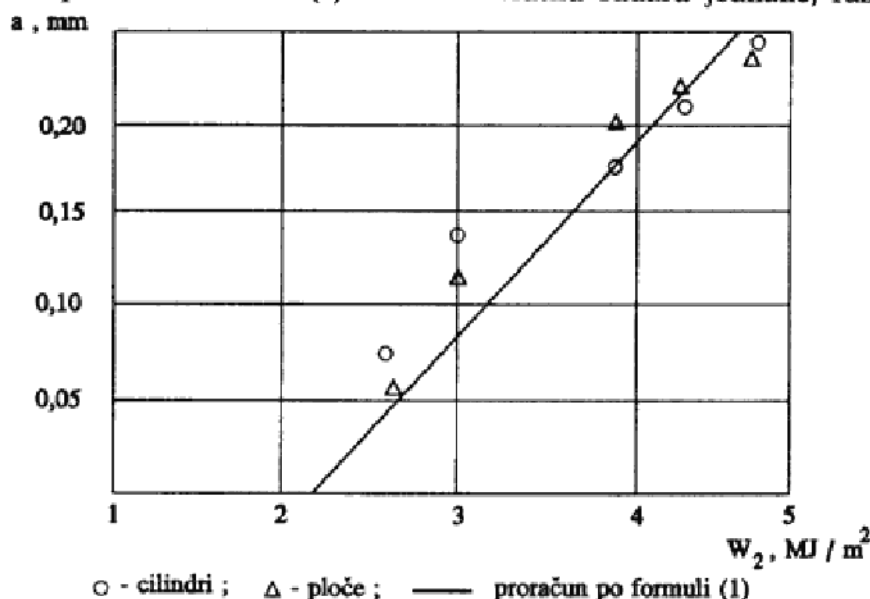
Tehnološki i kinematski parametri zavarivanja eksplozijom bimetalnih cilindara i ploča Č.4580 + Č.1330

Broj uzorka	1	2	3	4	5
Ploče					
Zazor h (mm)	1,0	2,0	3,1	4,1	6,1
Visina eksploziva H_e (mm)	51	51	51	51	51
Odnos h/H_e	0,0196	0,0392	0,0608	0,0804	0,1196
Brzina kontakta V_k (m/s)	2650	2610	2640	2680	2670
Brzina odbacivanja V_u (m/s)	360	444	493	530	572
Bimetalni cilindri					
Pomeranje spoljne površine cevi koja se odbacuje h_i (mm)	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Visina eksploziva H_e (mm)	25	25	25	25	25
Odnos h_i/H_e	0,02	0,04	0,06	0,08	0,12
Brzina kontakta V_k (m/s)	2600	2640	2630	2630	2670

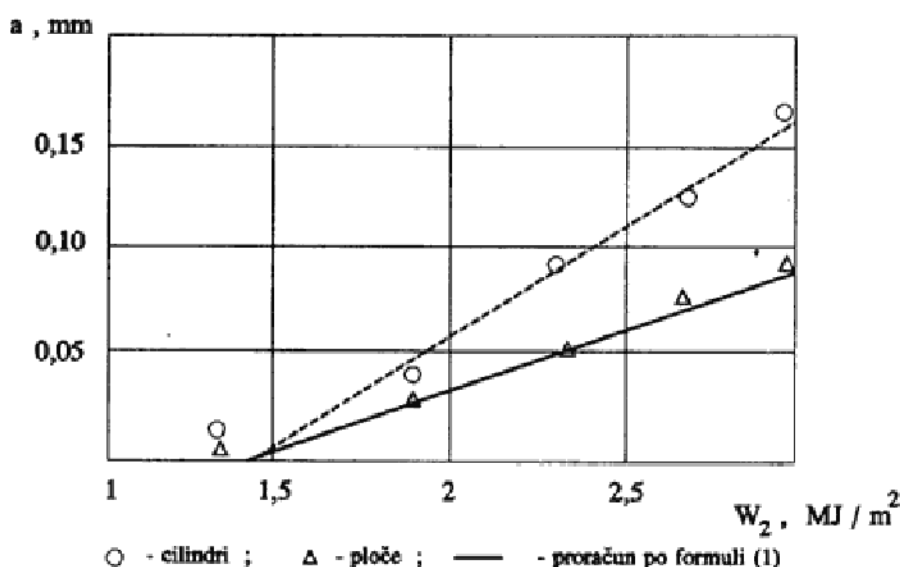
Rezultati eksperimenata predstavljani su na slikama 1 i 2.

Očigledno je da su rezultati zavarivanja u identičnim uslovima bimetalnih cevi prečnika 105 mm i ploče u zadovoljavajućoj saglasnosti sa proračunom talasa prema zavisnosti (1).

Pri zavarivanju druge serije, gde je prečnik cevi koja se ubrzava 32 mm, slična saglasnost se ne opaža. Amplituda talasa, kao i odgovarajuća energija W_2 pri zavarivanju cevi, pokazala se znatno većom nego pri zavarivanju ploča. Ukoliko su kinetičke energije u trenutku sudara jednake, razlog uo-



Sl. 1 — Zavisnost amplitude talasa u zoni spoja bimetalnih cilindara prečnika 105 mm i ploča od energije plastične deformacije



Sl. 2 — Zavisnost amplitude talasa u zoni spoja bimetalnih cilindara prečnika 32 mm i ploča od energije plastične deformacije

čenih razlika mora se tražiti u uticaju kinetičke energije na plastičnu deformaciju pri zavarivanju koaksijalnih i ravanskih spojeva. Jedini parametar koji se menjao u drugoj seriji eksperimenata, bio je naglo povećanje zakrivljenosti cevi koja se ubrzava. Razmotriće se uticaj zakrivljenosti cevi na rezultate zavarivanja.

Pri zavarivanju ploča, kada je zakrivljenost površina koje se spajaju nulta, kinetička energija u trenutku sudara utiče na plastičnu deformaciju na površini koja je jednaka početnoj površini ploče. Pri zavarivanju cevi ta ista kinetička energija utiče na plastičnu deformaciju na površini jednakoj bočnoj površini plakirajuće cevi ili unutrašnjoj površini cevi koja se ubrzava u trenutku sudara. Odnos površina ploče i širine koja je jednaka dužini omotača srednjeg prečnika cevi F'_{pl} i plakirane cevi F'_c , izražen preko polaznog unutrašnjeg poluprečnika cevi R_{10} , debljine njenog zida δ_0 i zazoru h_0 , moguće je napisati u obliku:

$$\frac{F'_{pl}}{F'_c} = \frac{2R_{10} + \delta_0}{2(R_{10} - h_0)} \quad (2)$$

Pri tome razmatra se površina elemenata koji se zavaruju sa jedinačnom dužinom u pravcu zavarivanja. Prema tome, specifična energija sudara pri zavarivanju cevi uvek je veća nego pri zavarivanju ploča. Odnos među njima moguće je napisati u obliku:

$$\frac{W_{kc}}{W_{kpl}} = \frac{F'_{pl}}{F'_c} = \frac{2R_{10} + \delta_0}{2(R_{10} - h_0)} \quad (3)$$

gde je:

W_{kc}, W_{kpl} — energije koje se odnose na jedinicu površine sudara pri zavarivanju cevi i ploča.

Prema tome, za obezbeđenje istih vrednosti specifičnih kinetičkih energija pri sudaru cevi i ploča treba povećati debljinu ploče koja se ubrzava

δ_{pl} , dok brzina sudara V_c ostaje nepromenjena. Debljina ploče koja se ubrzava je:

$$\delta_{pl} = \delta_0 \frac{2R_{10} + \delta_0}{2(R_{10} - h_0)} \quad (4)$$

Radi provere izvršeni su eksperimenti sa zavarivanjem ploča. Nepokretne ploče izrađene su od čelika i imale su debljinu 60 mm, a ploče koje se ubrzavaju izrađene su, takođe, od čelika. Ako se rezultati zavarivanja eksperimentalne serije uporede sa rezultatima zavarivanja cevi prečnika 32 mm, debljine ploča koje se ubrzavaju proračunavaju se na osnovu podataka iz eksperimenata sa zavarivanjem cevi (tabela 2) i korišćenjem zavisnosti (4).

Pri izboru identičnih kinematskih parametara ubrzavanja ispunjeni su uslovi:

$$r_c = r_{pl} ; \frac{h_1}{H_c} = \frac{h}{H_{pl}} ; D_c = D_{pl} \quad (5)$$

gde su:

r_c, r_{pl} — odgovarajući odnosi mase eksploziva i mase elementa koji se ubrzava pri zavarivanju cevi i ploča,

D_c, D_{pl} — brzine detonacije odgovarajućih eksplozivnih punjenja.

Ispunjenje uslova (5), polazeći od zavisnosti jednomernog ubrzavanja tela produktima detonacije [4], obezbeđuje jednake kinematske parametre sudara upoređivanih uzoraka. Uslovi izvršenja eksperimenata dati su u tabeli 3.

Odnos mase eksploziva i mase elemenata koji se ubrzavaju u svim eksperimentima bio je u granicama 1,423—1,434. Na taj način, brzine kretanja ploča u eksperimentima praktično su identične brzinama navedenim u tabeli 2.

Rezultati eksperimenata, prikazani na slici 3, svedoče o podudarnosti energetskih uslova formiranja zavare-

na energetske uslove obrazovanja zavarenog spoja pri zavarivanju eksplozijom.

Tabela 3

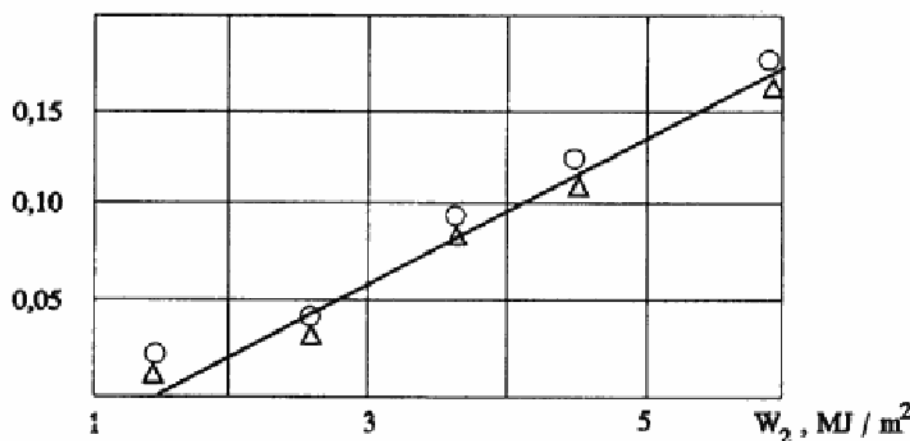
Tehnološki i kinematski parametri zavarivanja ploča

Broj uzorka	1	2	3	4	5
Debljina ploče koja se ubrzava (mm)	4,9	5,3	5,7	6,1	8,0
Zazor h (mm)	1,25	2,7	4,3	6,2	12,2
Visina eksploziva H_e (mm)	62	67	72	78	102
Odnos h/H_e	0,0202	0,0403	0,0597	0,0795	0,120
Brzina kontakta V_k (m/s)	2700	2640	2640	2610	2670
Brzina odbacivanja V_{Δ} (m/s)	366	445	495	520	575

nog spoja pri zavarivanju bimetalnih cevi serije 2, i ploča ekvivalentnih po specifičnoj kinetičkoj energiji na jedinicu površine sudara (tabela 3).

Na osnovu izvršenih ispitivanja razrađena je metodologija proračuna optimalnih režima zavarivanja eksplozijom bimetalnih koaksijalnih spojeva.

a , mm



○ - cilindri ; Δ - ploče ; — - proračun po formuli (1)

Sl. 3 — Zavisnost amplitude talasa u zoni spoja ekvivalentnog po W_{ekv} bimetalnih cilindara prečnika 32 mm i ploča od energije plastične deformacije

Na taj način, eksperimentalno je dokazana pravilnost izvedene analize uticaja zakrivljenosti zavarenih cevi

Polazni podaci za proračun obično su spoljni, unutrašnji i srednji prečnici zavarenih cevni priprema, kao i kombinacija metala koji se zavaruju.

U prvoj etapi proračuna određuje se brzina V_c koja obezbeđuje dobijanje čvrstog spoja. To je moguće uraditi po metodologiji opisanoj u literaturi [5—8], kao i na osnovu eksperimentalnih podataka. Treba imati u vidu da, pri savijanju cevi, brzina odbacivanja predstavlja brzinu unutrašnje površine cevi koja se odbacuje, u trenutku sudara sa plakirajućom cevi.

Brzina kontakta V_k bira se u granicama koje iznose 0,2—0,35 od najmanje brzine zvuka u metalima koji se zavaruju. U drugoj etapi proračuna, posle određivanja vrednosti V_c , određuje se kinetička energija cevi sa jediničnom dužinom:

$$W'_{ke} = \pi \rho R_u^2 V_u^2 \ln \left(1 + \frac{\delta_k}{R_u} \right) \quad (6)$$

gde je:

ρ — gustina materijala cevi (g/cm^3),

R_u — unutrašnji prečnik cevi u trenutku sudara (mm),

V_u — brzina unutrašnje površine cevi koja se odbacuje u trenutku sudara (jednaka V_c) (m/s),

δ_k — debljina zida cevi koja se odbacuje u trenutku sudara (mm).

Nakon određivanja vrednosti W'_{ke} određuje se energija plastične deformacije W_2 pri zavarivanju ploča:

$$W_2 = \frac{W'_{ke}}{\pi(2R_{10} + \delta_0)} \eta_e \quad (7)$$

gde je:

η_e — energetska koeficijent [9].

Pri tome vrednost W_2 mora biti veća ili jednaka kritičnoj vrednosti koja obezbeđuje jednaku čvrstoću spoja osnovnog metala [10]:

$$W_{2kr} = 0,606 + 0,184 \ln \frac{H}{\delta} \quad (8)$$

Četvrta etapa proračuna jeste određivanje brzine odbacivanja ploča V_c :

$$V_c = V_e \sqrt{\frac{2R_u^2 \ln(1 + \delta_k/R_u)}{\delta_k(2R_u + \delta_k)}} \quad (9)$$

ili

$$V_c = \sqrt{\frac{W'_{ke}}{\pi \rho_{pl} \delta_{pl} (2R_u + \delta_k)}} \quad (10)$$

gde je:

W'_{ke} — kinetička energija cevi određena u drugoj etapi.

Peta etapa proračuna jeste određivanje tehnoloških parametara zavarivanja eksplozijom ploča i odgovarajućih cevni priprema:

$$\frac{h_1}{H_{uc}} = \frac{h}{H_{upl}} ; r_c = r_{pl} ; D_c = D_{pl} \quad (11)$$

gde se indeksi c i pl odnose na cevi i ploče.

Pri tome, potrebno je uzeti u obzir promenu debljine zidova cevi pri njenom naprezanju eksplozijom (zavisnost 12), i karakteristike proračuna odnosa r pri zavarivanju cevi (zavisnost 13) [2]:

$$h_1 = R_0 - \sqrt{R_u^2 + \frac{F}{\pi}} \quad (12)$$

gde je:

R_0 — polazni spoljni prečnik cevi (mm),

$$r_c = \frac{\rho_u H_u}{\rho_c \delta_0} = \frac{2R_0 + H_u}{2R_0 - \delta_0} \quad (13)$$

δ_0 — polazna debljina zidova cevi (mm)

ρ_c i ρ_u — gustine materijala cevi i eksploziva (g/cm^3).

U šestoj etapi proračuna izvodi se određivanje pretpostavljenih svojstava koaksijalnih spojeva prema rezultati-

ma zavarivanja ploča. Uslovi ekvivalentnosti rezultata su sledeći:

— masa nepokretne ploče je višestruko veća od mase ploče koja se ubrzava i(ili) odbacuje, što pri istoj brzini kontakta V_k obezbeđuje približno jednake vrednosti η_e pri zavarivanju cevi i ploča;

— brzina kontakta V_k pri zavarivanju ploča jednaka je brzini kontakta V_k pri zavarivanju cevi;

— brzina sudara V_c pri zavarivanju ploča jednaka je brzini sudara V_c pri zavarivanju cevi;

— vrednosti energije W_{sud} pri zavarivanju cevi i ploča međusobno su jednake.

Zajedničko ispunjenje poslednja dva uslova ekvivalentnosti obezbeđeno je time što se koristi ploča koja se ubrzava i(ili) odbacuje sa debljinom proračunatom prema zavisnosti (4).

Na taj način, rezultati zavarivanja bimetalnih cevi mogu se odrediti na osnovu poznatih parametara za zavarivanje ploča ili eksperimentalnim putem. Pri nedovoljnoj čvrstoći spoja (veća količina ostataka otopljenog metala) potrebno je preći na slojevito plakiranje sa smanjenjem debljine svakog plakiranog sloja.

Provera predložene metodologije proračuna izvršena na bimetalnim cevima kombinacija metala, kao što su čelik — cirkonijum, čelik — titan, čelik — čelik, čelik — aluminijum, čelik — mesing, pri poluprečnicima cevi 32—480 mm, debljinama zidova do 14 mm, govori o njenoj visokoj pouzdanosti.

Zaključak

Energija koja se troši na plastičnu deformaciju pri zavarivanju cevi eksplozijom proporcionalna je specifičnoj kinetičkoj energiji sudara. Veličina specifične kinetičke energije sudara, pri konstantnim tehnološkim parametrima, zavisi od zakrivljenosti cevi (smanjuje se sa smanjenjem zakrivljenosti) i približava se vrednosti kao pri zavarivanju ploča. Obezbeđenje identičnih energetskih uslova za formiranje zavarenog spoja pri zavarivanju cevi i ploča može se postići povećanjem debljine ploče koja se ubrzava i(ili) odbacuje bez promene brzine odbacivanja. Razrađena metodologija proračuna optimalnih režima zavarivanja cevi eksplozijom omogućava da se sa visokom tačnošću prognoziraju svojstva koaksijalnih spojeva, prema poznatim podacima za ravanske spojeve istih metala.

Literatura:

- [1] Busalae, I. D.: Nekotore osobenosti svarki trub, Volgograd, Znanie, 1979, s. 24—25.
- [2] Kotov, V. A.: Račun skorosti dviženija trubnih oboloček metaemijih naružnim koljcevim zarjadom, Volgograd, Znanie, 1976, s. 61—67.
- [3] Tehnologija proizvodstva svarnih i pajalnih konstrukcij, Mežvuzovski tematičeski sbornik trudov, Kujbišev, 1980, s. 66—75.
- [4] Baum, F. A., Orlenko, L. P., Stanjukovič, K. P., Čelišev, V. P., Sehter, B. I.: Fizika vzriva, Moskva, Nauka, 1975.
- [5] Volčkov, V. M., Pavlov, A. I., Paškov, P. O.: Ob odnom slučaju realizacii teoretičeskoj pročnosti, Volgograd, Znanie, 1965, s. 319—323.
- [6] Deribas, A. A., Zaharenko, I. D.: Fizika gorenia i vzriva, 1975, T. 10, s. 409—421.
- [7] Kudinov, V. M., Koroteev, A. Ja.: Svarka vzrivom u metalurgiji, Moskva, Metalurgija, 1976.
- [8] Ionov, V. M., Ogibalov, P. M.: Naprjaženija u telah pri impulsivnom nagraženii, Moskva, Visšaja škola, 1975.
- [9] Busalae, I. D., Sedjih, V. S., Smeljanski, V. Ja.: Puti ocenki toplovjdelenia u zone soedinenia metallov pri svarki vzrivom, Volgograd, Znanie, 1980.

TENDENCIJE RAZVOJA BRIZANTNIH EKSPLOZIVA

UDC: 662.21/.22.001

Rezime:

Nova eksplozivna jedinjenja mogu se dobiti kondenzacijom manjih molekula u veće ili povećanjem broja aktivnih grupa, kao što su nitraminske. Heksogen sadrži tri grupe, oktofen četiri, a najnoviji policiklični nitramin CL-20 šest. Kao regulatori energetske karakteristika u eksplozivne sastave se dodaju fluoro-nitro formali. Oni smanjuju osetljivost na mehaničke uticaje, doprinose povećanju energetske karakteristika, a sami su, kao i njihovi produkti detonacije, izuzetno toksični. U radu je prikazan novi policiklični nitramin, CL-20, sintetisan 1991. godine.

Ključne reči: brizantni eksplozivi, nitroalifatični eksplozivi, ciklični nitramini, fluoro-nitro formali, CL-20.

TENDENCY OF DEVELOPMENT OF HIGH EXPLOSIVES

Summary:

New explosive compounds can be made by association of small molecules or connection (linkages) of chemicals groups, like nitramine groups. The molecule of hexogen has 3 nitramine groups, octogen has 4 groups, but CL-20, a new explosive, has 6 groups. Explosives can be prepared by adding high-energy materials, fluoro-nitro compounds, as regulators of energy performances of explosives. These fluoro-nitro compounds reduce sensitivity to mechanical influences and increase energy properties, being extremely toxic like products of their detonation. In this paper a polycyclic nitramine a new high explosive synthesized in 1991, was presented.

Key words: high explosives, nitroaliphatic explosives, nitroaromatic explosives, cyclo-nitramines, fluoro-nitro compounds, CL-20.

Uvod

Većina eksplozivnih punjenja bojnih projektila velikih kalibara sadrži uglavnom konvencionalne eksplozive: trotil, heksogen, oktofen, pentrit. To su eksplozivi čije su fizičko-hemijske i eksplozivne karakteristike dobro poznate.

Kao eksplozivno punjenje najviše se, ipak, koristi trotil, i to: presovan, liven ili u kombinaciji sa pentritom, heksogenom ili oktofenom. To mu obe-

zbeđuje niska cena i relativno laka primenljivost. Međutim, za neke posebne namene, kao što su program svemirskih istraživanja ili radovi na velikim dubinama (naftne bušotine), koriste se eksplozivi posebnih karakteristika, pre svega dobrih termičkih i visokih energetskih svojstava.

Za primenu eksploziva u vojne svrhe postoje strogo definisani zahtevi: da budu sigurni za rukovanje, da, po mogućnosti nisu higroskopni, da su hemijski postojani, da imaju veliku br-

zinu detonacije, visok pritisak detonacije, dobru termičku stabilnost, visoke temperature topljenja i da (po mogućnosti) nisu skupi. Naravno, kada su u pitanju specijalne namene, cena nije presudna.

Uopšteno može se reći da su tendencije razvoja novih eksploziva u svetu usmerene ka:

— uvođenju nitro grupe u pogodne molekule;

— uvođenju fluora na mesto vodonika u molekule tipa CHNO jedinjenja;

— aglomeraciji manjih molekula eksplozivnih jedinjenja ili aktivnih hemijskih grupa, radikala, u jedinjenja većih molekula koja imaju bolje energetske osobine od polaznih komponenta.

Eksplozofore — nosioci eksplozivnih karakteristika u molekulu

Sva eksplozivna jedinjenja u svom molekulu sadrže određene molekulске grupe, koje su nosioci eksplozivnih karakteristika. Još je Van't Hoff, [1], zapazio njihov uticaj na eksplozivne karakteristike. Nazvao ih je eksplozoforima i svrstao prema jedinjenjima u kojima se nalaze:

— NO_2 , $-\text{NO}_2$, $=\text{C}=\text{N}-\text{NO}_2$, nitro jedinjenja, nitrati i nitramini,

— $-\text{O}-\text{Cl}_2$, $-\text{O}-\text{Cl}$, hlorati i perhlorati,

— $-\text{O}-\text{O}-$, $-\text{O}-\text{O}-\text{O}-$, peroksidi i ozonidi,

— $-\text{N}=\text{N}-$, $-\text{N}=\text{N}_2-$, diazo i triazo jedinjenja,

$\text{N}=\text{C}-$, jedinjenja fulminske kiseline,

— $-\text{C}=\text{C}-$ jedinjenja acetilena,

— $-\text{N}=\text{C}-$, cijanidi.

Uvođenjem ovih grupa, a posebno nitro grupe kao jake eksplozofore, u

neki pogodan molekul, može se dobiti jedinjenje koje ispoljava eksplozivne karakteristike. Nitro grupa, zbog svoje specifične energije veze u molekulu [2, 3], pod uticajem određenog impulsa, omogućuje brzo razlaganje molekula, uz oslobađanje velike količine energije. Oslobođena energija se raspoređuje po ostalim molekulima u eksplozivu, čime se izaziva lančana reakcija koja dovodi do hemijskog razlaganja, odnosno do eksplozije.

Svi sekundarni eksplozivi, koji se primenjuju u vojne svrhe, sadrže nitro grupu kao eksplozoforu u svom molekulu [1, 4, 5, 6].

Nitroalifatična jedinjenja

Nitro grupe mogu se uvesti u alkane (alifatične ugljovodonike), čime se dobijaju nova jedinjenja eksplozivnih karakteristika. Broj nitro grupa koje se uvode u molekul nekog alkana može biti jednak broju vodonikovih atoma u molekulu, jer se nitro grupa vezuje na mesto vodonika (primer tetranitrometan). Međutim, i za uvođenje nitro grupa u veći molekul alkana postoje ograničenja. Veći broj nitro grupa dovodi do poboljšanja eksplozivnih karakteristika i, u isto vreme, dovodi do destabilizacije molekula, koji je tada sklon spontanoj termičkoj dekompoziciji. Nitro grupa je zapreminski veća od atoma vodonika, na čije se mesto u molekulu vezuje, i ispoljava delta negativno naelektrisanje. Zbog toga se nitro grupe međusobno odbijaju, ukoliko su smeštene blizu jedna drugoj u molekulu.

Poznata eksplozivna jedinjenja na bazi alkana su: metilnitrat, etilnitrat, nitroetan, propilnitrat, heksanitroetan, trinitrometan, tetranitrometan [5]. Sva ova jedinjenja su u tečnom stanju, isparljiva i otrovna. Sa kiseonikom iz vazduha stvaraju eksplozivnu smešu i lako ih iniciraju alkalni metali [4].

Nitrovani polimeri

Sekundarni eksplozivni uglavnom spadaju u organska jedinjenja, pa je uvođenje nitro grupe u organsko jedinjenje (alkan) postao opšti princip za dobijanje novih eksplozivnih sastava. Uvođenjem nitro grupe u bilo koji organski molekul, pogodan za nitraciju, može se dobiti jedinjenje koje ispoljava eksplozivne karakteristike. Dobijanje velikog broja eksplozivnih polimera, njenim uvođenjem na mesto vodonika u makromolekul pokazano je u [7]. Tako su, polazeći od polistirena, polivinila, poliuretana, poliestera, uvođenjem nitro grupe u molekul, dobijeni nitropolimeri sa karakteristikama eksploziva.

Nitropolimeri su malo osetljivi na mehaničke uticaje, ali imaju određene eksplozivne karakteristike (brzina detonacije oko 3500 m/s), pa se mogu koristiti kao slabi eksplozivi. Takođe, mogu se koristiti kao dodaci visokobrizantnim eksplozivima (kao flegmatizatori), kako bi smanjili njihovu osetljivost pri manipulaciji, ali ne i njihove eksplozivne performanse. Najčešće se, ipak, koriste kao komponente u dvobaznim gorivima.

Uvođenjem nitro grupe u polimere tipa polifenilena dobijen je amorfni nitropolimer-polinitropolifenilen, koji ima karakteristike eksploziva i dobru termičku stabilnost. Koristi se kao dodatak inicijalnim eksplozivima [13].

Fluoro-nitro jedinjenja

Ideja da se neko eksplozivno jedinjenje hemijski desenzibilizuje novijeg je datuma [8, 9, 10].

U radu [9] prikazano je dobijanje mono- i tri-nitrozo derivata heksogena, zamenom nitro grupe u molekul, nitrozo grupom. Isto tako, prikazan je i amino-trotil, u kojem je atom vodo-

nika zamenjen amino grupom. Dobijeni derivati manje su osetljivi na mehanički impuls, a brizantnost im je znatno smanjena. U [10] je prikazana zamena atoma vodonika deuterijumom u molekul oktogena, kako bi se detaljnije ispitao mehanizam gorenja, odnosno detonacije.

Povećanje stabilnosti jedinjenja, ne samo hemijske, moguće je postići uvođenjem jakog elektronegativnog agensa u molekul na mesto vodonika. Najpovoljniji takav agens je fluor. On spada u najelektronegativnije elemente, sa velikom sklonošću ka elektronu, a uvođenje fluora u molekul doprinosi povećanju unutrašnje energije veze i opštoj stabilnosti molekula. Na taj način dobija se jedinjenje koje je slabo osetljivo na mehanička dejstva i može da se koristi kao eksploziv bez flegmatizacije.

Radovi na sintezi jedinjenja koja u sebi sadrže fluor, a imaju povećana energetska svojstva, dugo su bili nedostupni javnosti. Šezdesetih godina se intenzivno radilo na ispitivanju mogućnosti uvođenja fluora u visokoenergetska jedinjenja, kao što su: nitramini, urea, cijanamid, nitroalkoholi, nitroalifatična jedinjenja. Cilj je bio da se dobije jedinjenje koje će biti hemijski desenzibilisano, a istovremeno imati eksplozivne karakteristike.

U izveštaju Vojnotehničke informativne agencije iz Arlingtona, Virdžinija [11], nalaze se prikazane sinteze velikog broja jedinjenja u kojima je vodonik zamenjen fluorom. Očigledno je da se težilo dobijanju što većeg broja jedinjenja koja u sebi sadrže atome azota i fluora. Ova kombinacija elemenata u molekul daje veoma dobra energetska, ali istovremeno i toksična svojstva. Ispitivanja su obuhvatila i fluorovanje jedinjenja tipa formalna. Istraživanja su prvobitno bila usmerena ka dobijanju novih energetskih komponenti, kao dodatak čvrstom raketnom gorivu. Iz velikog broja jedi-

njenja sa kojima se eksperimentisalo izdvajao se FEFO i njegov fluorovani derivat DFF. Neke karakteristike ova dva tečna jedinjenja prikazane su u tabeli 1 [8].

Tabela 1

Karakteristike FEFO i DFF

Karakteristike	FEFO Bis (2, 2, 2-fluorodinitro- etil) formal [FC(NO ₂) ₂ CH ₂ O] ₂ CH ₂	DFF Bis (2, 2, 2-fluorodinitro- etil) difluoro- formal [FC(NO ₂) ₂ CH ₂ O] ₂ CF ₂
Molekul- ska masa	320,1	356,1
Tempera- tura klju- ćanja (°C)	110	70
Tempera- tura top- ljenja (°C)	+14	- 17
Gustina na T(°C) (g/cm ³)	1,59 (25)	1,67 (27)
Brzina de- tonacije (m/s)	7272	6849
Pritisak detonacije (kbar)	229	213

Uvođenjem još dva atoma fluora u molekul FEFO dobio se eksploziv DFF, jedinjenje koje je slabo osetljivo na mehaničke impulse, kao i na inicijaciju, pogotovu ako se iniciranje vrši eksplozivom male brzine detonacije [8].

Pored uvođenja fluora u molekule formala radilo se i na ispitivanju desenzibilizacije eksploziva tipa nitramina, npr. heksogena, kako bi se dobio eksploziv koji bi već u kristalnom obliku bio »flegmatizovan« [8].

Fluorovana jedinjenja dobijena laboratorijski detaljno su okarakterisana. Ispitana su i definisana njihova fizičko-hemijska svojstva: pritisak pare, gustina, temperatura topljenja, termička stabilnost i osetljivost na inicijaciju koja je određivana u namenskim laboratorijama. Takođe, ispitane su toplote formiranja, kompresibilnost, brzine detonacije i pritisak detonacije.

Zamena vodonika fluorom u molekulu doprinosi povećanju energetskih svojstava polaznog jedinjenja (eksploziva), dovodi do povećanja gustine i do smanjenja čvrste faze (ugljenika) u produktima detonacije, odnosno, doprinosi potpunijoj oksidaciji.

Treba naglasiti da su ova jedinjenja vrlo otrovna (a posebno fluorodinitrometil jedinjenja) i izazivaju jake opekotine u kontaktu sa kožom. Svi gasoviti reaktanti i produkti fluorovanja izuzetno su toksični. Takođe, veoma su otrovni i produkti razlaganja (detonacije) ovih visokoenergetskih jedinjenja. Rukovanje ovim materijalima zahteva izuzetne mere predostrožnosti [8].

Nitroaromatična jedinjenja

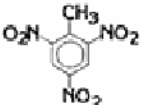
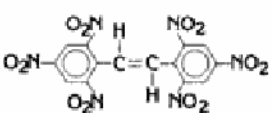
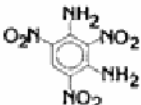
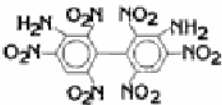
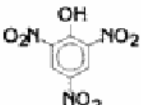
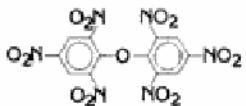
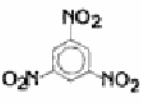
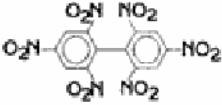
Za praktičnu primenu su mnogo interesantnija jedinjenja sa benzenskom grupom (aromatična jedinjenja) u koja može da se uvodi nitro grupa. Polazeći od benzena, zamenjujući jedan ili više vodonika različitim atomskim grupama, radikalima, dobijaju se: benzoeva kiselina, fenol, toluen, ksilen, krezol, i druga. Ova jedinjenja su polazne supstance za nitrovanje. Uvođenjem nitro grupe u aromatični molekul dobijaju se stabilna eksplozivna jedinjenja. Tokom sinteze nekog nitrojedinjenja postupak se vodi tako da broj uvedenih nitro grupa u molekulu bude što veći, a da u isto vreme ne destabiliše molekul. Najčešći broj nitro grupa u molekulu je tri, a sa povećanjem broja nitro grupa molekul

postaje nestabilan. Primer je heksanitrobenzen, koji sadrži šest nitro grupa, dakle, svi atomi vodonika u benzenu su zamenjeni nitro grupama. Heksanitrobenzen je sekundarni eksplo-

ziv visoke gustine i velike brzine detonacije, ali veoma osetljiv na hidrolizu, jer ima izražen kiseo karakter i nije našao primenu kao eksploziv [14].

Tabela 2

Osobine nekih nitroaromatičnih eksploziva

Nº	Eksploziv	Hemijski naziv	Formule		Temp. toplj. (°C)	Gustina (g/cm³)	Brzina detonacije (m/s)
			Bruto	Struktura			
1	TNT Trotil	2,4,6-trinitrotoluen	C ₇ H ₅ N ₃ O ₆		80,9	1,654	6930, za gustinu 1,64 g/cm³
1.1	HNS Heksanitro- stilben	2,2',4,4',6,6'-heksanitro- stilben	C ₁₄ H ₆ N ₆ O ₁₂		316	1,74	7000, za gustinu 1,70 g/cm³
2	DATB	2,4,6-trinitro- 1,3-benzen- diamin	C ₆ H ₅ N ₅ O ₆		286	1,837	7520, za gustinu 1,79 g/cm³
2.1	DIPAM	3,3'-diamino- 2,2',4,4',6,6'- heksanitro- difenil	C ₁₂ H ₆ N ₈ O ₁₂		304	1,79	7400, za gustinu 1,76 g/cm³
3	Melinit	2,4,6-trinitrofenil	C ₆ H ₅ N ₃ O ₇		122,5	1,76	7300, za gustinu 1,63 g/cm³
3.1	Heksa- nitrodi- fenilok- sid	2,2',4,4',6,6'- heksanitrodi- feniloksid	C ₁₂ H ₄ N ₆ O ₁₃		269	1,70	7180, za gustinu 1,70 g/cm³
4	TNB Trinitro- benzen	1,3,5-trinitrobenzen	C ₆ H ₃ N ₃ O ₆		123	1,76	7300, za gustinu 1,76 g/cm³
4.1	Heksa- nitrodi- fenil	2,2',4,4',6,6'- heksanitro- difenil	C ₁₂ H ₄ N ₆ O ₁₂		263	1,6	7200, za gustinu 1,60 g/cm³

Najnovija istraživanja ukazuju na to da se pažnja i dalje posvećuje uvođenju nitro grupe u aromatični molekul, tačnije u molekul tipa naftalena. Tako je vršeno nitrovanje metilnaftalena [12]. U polazni molekul, metilnaftalen, uvedene su jedna, dve i tri nitro grupe i ispitivane eksplozivne karakteristike dobijenih nitronaftalena. Utvrđeno je da nova jedinjenja imaju eksplozivne karakteristike slične eksplozivu heksanitrostilbenu (HNS).

Nitroaromatična jedinjenja, koja se primenjuju kao eksplozivi, predstavljaju stabilne eksplozive zahvaljujući benzenskoj grupi, koja doprinosi stabilnosti celog molekula. Stabilnost nitroaromata opada sa povećanjem broja benzenskih grupa u molekulu, a najčešće sadrže dve benzenske grupe.

Najviše se koristi trotil, jer je njegova cena najniža i najlakše se prerađuje. Viši homolog trotila — HNS veoma je skup proizvod zbog izuzetno skupih reagensa u toku sinteze. Prime-nu je našao, uglavnom, kao dodatak trotilu u rastopljenom stanju, kako bi se poboljšao kvalitet livenog TNT u košuljici bojnog artikla. Dodaje se u veoma malom procentu mase i u rastopljenom trotilu ima ulogu stvaranja jezgara kristalizacije [14, 15].

Nekoliko primera aromatičnih eksploziva (u paru sa prostim i složenim molekulom) prikazano je u tabeli 2 [3, 6, 14].

Ciklični nitramini

Veoma snažni eksplozivi, ciklični nitramini, heksogen i oktogen [1, 5, 14, 15] novijeg su datuma. Heksogen je počeo da se primenjuje u toku Drugog svetskog rata, a oktogen pedesetih godina. Oktogen je pronađen slučajno kao nečistoća u proizvodnji heksogena. Kada se »nečistoća« ispitata, ispostavilo se da je to eksploziv sličan heksogenu. Određivanjem hemijske for-

mule videlo se da je on viši homolog heksogena, čemu se pripisuju njegove izuzetne fizičko-hemijske i detonacione karakteristike.

Oba eksploziva spadaju u veoma snažne sekundarne eksplozive i koriste se u konvencionalnom naoružanju svih armija sveta. Primenuju se ili u smeši sa trotilom ili flegmatizovani. Ukoliko se flegmatizuju (postupak kojim se smanjuje osetljivost na mehaničke uticaje, čime se olakšava manipulacija), mogu biti u granulisanom obliku (praškasti), u vidu plastelina ili elastičnog materijala, što zavisi od pregrade i namene.

Heksogen i oktogen sastoje se od više metilnitraminskih grupa (radikala) CH_2NNO_2 . Heksogen sadrži tri grupe: $(\text{CH}_2\text{NNO}_2)_3$, a oktogen četiri: $(\text{CH}_2\text{NNO}_2)_4$.

Imajući u vidu podatke iz tabele 2 gde se može zapaziti da se spajanjem (sintezom) nižih jedinjenja dobijaju viši homolozi aromatičnih nitrojedinjenja, pretpostavlja se da se može dobiti novi nitraminski sastav povećanjem broja metilnitraminskih grupa u molekulu. To se potvrdilo dobijanjem novog eksploziva, nazvanog CL-20, koji sadrži čak šest metilnitraminskih grupa u molekulu: $(\text{CHNNO}_2)_6$.

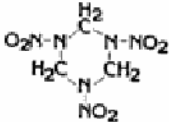
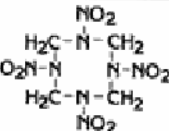
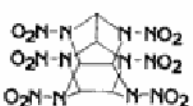
Neke karakteristike cikličnih nitramina, heksogena i oktogena, kao i novog CL-20 [16] prikazane su u tabeli 3.

Policiklični nitramin CL-20

Najmlađi član porodice ciklonitraminskih jedinjenja je CL-20. To je policiklično jedinjenje (2, 4, 6, 8, 10, 12-heksanitro-2, 4, 6, 8, 10, 12-heksaazoizovürcitan, nazivan i HNIW, prema podvučenim slovima iz hemijskog naziva, bruto formule $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_{12}\text{O}_{12}$.

Eksploziv CL-20 prvi je sintetizovao A. Nielsen i objavio 1991. godine [17].

Neke karakteristike cikličnih nitramina

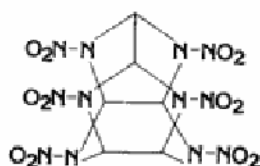
N°	Eksploziv	Formula		Temp. toplj. (°C)	Gustina (g/cm³)	Brzina detonacije (m/s)
		Bruto	Strukturna			
1	* heksogen (RDX)	$C_3H_6N_6O_6$ $(CH_2NNO_2)_3$		204	1,82	8520, za gustinu 1,71 g/cm³
1.1	* Oktogen (HMX)	$C_4H_8N_8O_8$ $(CH_2NNO_2)_4$		280	1,91	9100, za gustinu 1,84 g/cm³
2	** CL-20 (HNIW)	$C_6H_6N_{12}O_{12}$ $(CHNNO_2)_6$		240	1,96– 2,044	–

* /3/

** /16/

Osobine eksploziva CL-20

CL-20 je eksploziv čiji se molekul sastoji od dva molekula heksogena, prostorno povezana preko ugljenika, tako da predstavlja policiklično jedinjenje dobrog kiseoničnog balansa. Njegova strukturna formula je:



To je kristalno jedinjenje, koje se javlja u četiri kristalne forme — alfa, beta, epsilon i gama. U literaturi su prikazani rezultati ispitivanja koji se, uglavnom, odnose na epsilon formu, nešto malo na beta formu, dok o alfa i gama formama nema mnogo informacija. Pretpostavlja se da se prve dve jedino i koriste, zbog svojih fizičko-

-hemijskih karakteristika, a moguće je da su alfa i gama forme nestabilne.

CL-20 je eksploziv velike gustine, koja u zavisnosti od kristalne forme varira od 1,96 g/cm³, za epsilon formu, i od 1,985 do 2,044 g/cm³ za beta formu. Temperatura topljenja iznosi 240°C. Upoređivanjem ovih vrednosti sa vrednostima za oktozen, može se uočiti da je gustina CL-20 veća od gustine HMX, a temperatura topljenja niža.

Podatak o brzini detonacije čistog CL-20 nije dat u literaturi; iz njegovih flegmatizovanih sastava može se zaključiti da je velika, čak veća od one za oktozen.

Osetljivost na mehanička dejstva ispitivana je za beta i epsilon formu CL-20 i upoređena sa osetljivošću kristalnog HMX i PETN. Uporedni rezultati za navedene kristalne eksplozive, kao i za neke flegmatizovane sastave, prikazani su u tabeli 4 [16].

Tabela 4

Osetljivost na udar i trenje

Eksplodiv	Udar (cm)	Trenje (kg)
β -CL-20	14	6,4
ϵ -CL-20*	12—16	6,4—7,2
ϵ -CL-20*	17	6,4
ϵ -CL-20*	21	6,2
RX-39-AA	65	na
RX-39-AB	34	9—10,8
LX-19	40	11,2—14,4
PBXC-19	38	14,4
RX-49-AE	38—48	na
PETN	13—16	8,0
HMX	32	11,6
LX-14	53	na

* Dobijen u različitim laboratorijama.

Iz tabele se vidi da je osetljivost na udar beta i epsilon faze slična kao kod PETN, ali je osetljivost na trenje obeju formi (i beta i epsilon) niža od osetljivih PETN.

Osetljivost na udar ispitivana je padom tega od 2,5 kg na tabletiran u-zorak od 35 mg, a osetljivost na trenje Julius-Peters-Berlin 12, uređajem za trenje.

Flegmatizovani sastavi na bazi CL-20

Eksplodiv CL-20 veoma je osetljiv na mehaničke uticaje i da bi se mogao primeniti osetljivost mu se mora smanjiti. Smanjenje osetljivosti na mehanička dejstva postiže se prekrivanjem kristala CL-20 polimerima na bazi estana (analogno kao kod sastava LX-14, na bazi HMX i estana), etil-vi-

Tabela 5

Flegmatizovani sastavi na bazi eksploziva CL-20 i oktogena

N°	Oznaka eksploziva	Flegmatizator — sadržaj (% m/m)	Eksplodiv — sadržaj (% m/m)
1	RX-39-AA	estan 5702-P 4,5	beta CL-20 95,5
2	RX-39-AB	estan 5702-P 4,2	epsilon CL-20 95,8
3	LX-19	estan 5702-P 4,5	epsilon CL-20
4	PBX-19	EVA 5	CL-20 95
5	RX-49-AE	FEFO 9,77 + FM-1 9,77 (smeša formalala)	CL-20 78,67
6	LX-14	estan 5701-F 4,5	oktogen 95,5
7	LX-09-0	FEFO 2,4 pDNPA 4,6	oktogen 93
8	LX-09-1	FEFO 2,3 pDNPA 4,4	oktogen 93,3

Brzine detonacije flegmatizovanog CL-20 i oktogena

N°	Eksplziv	Gustina (g/cm ³)	TMG* (%)	Brzina detonacije (m/s)
1	RX-39-AB	1,942	97,9	9208
2	PBX-19	1,896	97,5	9083
3	LX-14 [6]	1,831	99,0	8785
4	LX-09-0 [6]	1,837	98,4	8100

* Teorijska maksimalna gustina.

nil-acetata (EVA) i mešanjem sa određenim vrstama nitroformala: FEFO i FM-1 (smeša formala).

Neke karakteristike flegmatizovanih sastava eksploziva CL-20 u poređenju sa sastavima na bazi HMX (LX-14, i LX-09-0 i LX-09-1 [6], prikazani su u tabeli 5 [16].

Brzina detonacije flegmatizovanih eksploziva na bazi CL-20 i eksploziva na bazi HMX (analognih sastava), prikazana je u tabeli 6.

U dostupnoj literaturi nisu prikazane vrednosti za brzinu detonacije livenog RX-49-AE eksploziva, ali se može pretpostaviti da je nešto niža od granuliranih sastava, imajući u vidu analogne sastave na bazi oktogena prikazane u tabeli 6 (N° 3 i 4).

Eksplzivni na bazi HMX imaju manju brzinu detonacije u odnosu na eksplozive na bazi CL-20. Gustina presovanog eksploziva takođe je veća kod eksploziva na bazi CL-20.

Rezultati za eksploziv RX-39-AB mogu se prihvatiti kao rezultati za

RX-39-AA i LX-19, pošto imaju skoro isti maseni sastav komponenata.

Zaključak

Tendencije razvoja novih, brizantnih eksploziva u svetu, usmerene su ka dobijanju stabilnih, energetski bogatih jedinjenja koja, pored ostalog, mogu da se dobiju kondenzacijom molekula već poznatih jedinjenja ili hemijskih grupa, radikala. Na taj način dobijen je novi kristalni eksploziv CL-20, dobrih fizičko-hemijskih i detonacionih karakteristika.

Različitim hemijskim postupcima obavlja se intervencija u molekulu jedinjenja eksploziva, čime se dobija novo hemijski desenzibilisano jedinjenje.

Novi eksplozivi u svetu, osim povećanih energetskih (razornih) svojstava, istovremeno ispoljavaju i toksična dejstva, jer u svom sastavu sadrže fluoro-nitro formale, regulatore energetskih karakteristika, čiji su produkti detonacije veoma otrovni.

Literatura:

- [1] Calzia, J.: Les Substances Explosives et leurs Nuisances, Dunod Paris, 1969.
- [2] Delpuech, A. i dr.: Relation entre la Structure Electronique et la Sensibilité au Choc des Explosifs Secondaires Nitrés. Critère Moléculaire de Sensibilité II. Cas des esters nitriques, Propellants and explosives 4, 121—128, 1979.
- [3] M. Anđelković-Lukić i dr.: Određivanje stepena prekrivenosti flegmatizovanog pentrita metodom početne brzine rastvaranja, Naučno-tehnički pregled, Vol. XXXV, br. 7—8, 36—38, 1985.
- [4] Meyer, R.: Explosives, Verlag Chemie, Weinheim, New York, 1977.
- [5] Orlova E.: Himija i tehnologija brizantnih vzrivičjatih vešćestv, Himija, Leningrad 1981.
- [6] Dobratz, B. M.: LLNL Explosives Handbook, UCRL 52997, Livermore, 1981.
- [7] Urbanski, T.: Chemistry and Technology of Explosives, volume 4, Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [8] Guimont, J. M. i dr.: Desensitization of Explosives Materials, ADA.058487, Arlington, USA, 1978.
- [9] Iyer, S.: Explosive Desensitization Studies via Chemical Group Modification. Nitrozo-Derivatives of RDX and 3-Amino-TNT Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 7, 37—39, 1982.
- [10] Shlackelford, S. A. i dr.: Deuterium Isotope Effects during HMX Combustion: Chemical Kinetic Burn Rate Control Mechanism Verified, Propellants, Explosives, Pyrotechnics 14, 93—102, 1989.
- [11] Baum, K. i dr.: Research in Fluoro-Nitro Compounds, AD 321447, US Navy, 1961.
- [12] Bergman, J. S. i dr.: Studies on 2, 4, 6-Trinitrophenyl Substituted Naphthalenes. Part III: Synthesis of Nitro- and Polynitro-1-Methyl-4-(2, 4, 6-Trinitrophenyl) naphthalenes, Propellants, Explosives, Pyrotechnics 22, 301—305, 1997.
- [13] Redecker, K. H. i dr.: Polynitrophenylene, a High-Temperature Resistant, Non-Crystalline Explosive, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 12, 196—201, 1987.
- [14] Hristovski, M.: Eksplozivne materije, Novinsko-izdavačka ustanova Vojska, Beograd, 1994.
- [15] Maksimović, P.: Eksplozivne materije, Vojno-izdavački zavod, Beograd, 1987.
- [16] Simpson, R. I. i dr.: CL-20 Performance Exceeds That and its Sensitivity is Moderate, Propellants, Explosives, Pyrotechnics 22, 249—255, 1997.
- [17] Nielsen, A.: Polycyclic Amine Chemistry in G.A. Olah, R.R. Squire, Chemistry of Energetic Materials, Academic Press, San Diego, 85—124, 1981.
- [18] M. Anđelković-Lukić: Prilog proučavanju fizičkih, hemijskih i eksplozivnih karakteristika flegmatizovanog oktogen, doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fak. Beograd, 1994.
- [19] M. Anđelković-Lukić i dr.: Oktogen flegmatizovan polikarbonatom, XV Simpozijum o eksplozivnim materijama, Užice, 1984.

BUKA NA BRODOVIMA

UDC: 629.12.011.5:534.831

Rezime:

U radu su opisani neki izvori buke na brodu i efekti primene specifičnih mera za njeno smanjenje. Objašnjene su i dodatne mere akustičkih obrada boravišnih prostorija na brodu, kao i kriterijumi buke primenjeni na boravišni prostor na inostranim patrolnim brodovima, obrada prostora i postignuti nivo smanjenja buke.

Ključne reči: buka, strukturna buka, vibraciona buka, zvučna izolacija, vibracije, fleksioni talasi, smanjenje buke, elastično postavljanje.

NOIS ON SHIP'S

Summary:

This paper discusses sources of shipboard noise. Effects of some specific measures of shipboard noise control such as stern wells are described. Some additional measures of ship compartments acoustical treatment are explained as well as the noise criteria applied to accommodation areas on a patrol boat, noise control approaches, treatments and achieved levels.

Key words: noise, structure-born noise, vibration noise, sound isolation, vibration, flexural waves, shipboard noise (control), elastic mounting.

Uvod

U mašinskim prostorima broda nalazi se veći broj motora i uređaja čiji nivo buke prelazi 100 dBA, tako da se ukupni nivo buke kreće između 110 i 115 dBA. Inače, u svetskim okvirima dozvoljeni nivo buke u brodskim prostorijama (koje su nekada udaljene samo 5 do 6 metara od mašinskog prostora) iznosi za veće brodove do 60 dBA i do 45 dBA za putničke brodove. U poslednje vreme vrlo su zaoštreni kriterijumi dozvoljenog nivoa buke na brodovima. To se posebno odnosi na ruske propise, prema kojima su brodovi razvrstani u četiri kategorije [12]. Za najnižu, 4. kategoriju brodova, dozvoljeni ukupni

nivo buke za kabine iznosi 60 dBA, a u kabinama i bolničkim prostorima brodova 1. kategorije dozvoljeno je samo 45 dBA. To predstavlja bitan zaokret u tretmanu buke na brodovima u odnosu na kriterijume i preporuke koje su doskora bile na snazi.

Brodaska konstrukcija se sastoji od čeličnih limova, pregrada koje mogu biti i od stakloplastike, profila i okvira koji su veoma dobri provodnici zvučnih vibracija. Pred projektante brodske akustike postavljaju se veoma složeni problemi — kako na veoma malom prostoru, uz malu masu izolacionih materijala, postići visoki stepen redukcije buke. U ratnoj brodogradnji taj problem je još naglašeniji, jer je potrebno *akustičko polje*

broda¹ smanjiti na najmanju moguću meru i, na taj način zaštititi brod od akustičkih morskih mina.² Rešavanje ovih problema moguće je, prvenstveno, redukcijom buke na samim izvorima, dok akustička obrada prostora i broskog trupa (oplate) ima dodatne efekte u smanjenju buke. Za ova rešenja potrebno je veliko teoretsko znanje iz akustike i praktično iskustvo (veliki broj merenja na već postojećim brodovima i ispitivanja novih vrsta materijala za gradnju broda).

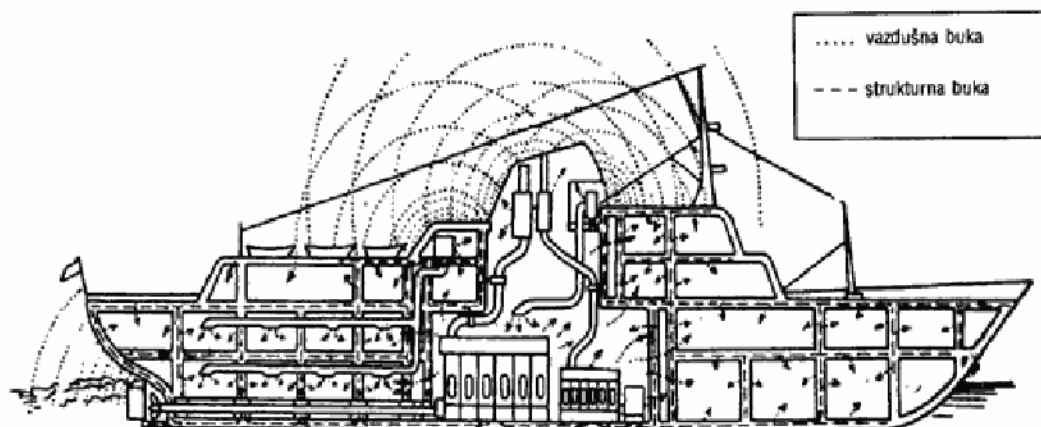
Izvori buke na brodovima

Na brodovima i podmornicama koncentrisane su brojne mašine i uređaji velike snage. Kod gotovo svih fizičko-mehaničkih, aero, hidromehaničkih i elektromagnetskih procesa koji se dešavaju u tim mašinama, kao

— vazduh i vodu. Deo zvuka koji se prenosi kroz vazduh predstavlja nepoželjnu pojavu za čoveka i predstavlja buku.

Glavni izvor zvučnih vibracija su brodske dizel motore. Vibracije mogu biti prouzrokovane neuravnoteženim inercijalnim silama, neuravnoteženim momentima inercijalnih sila, neravnomernim obrtnim momentom, neujednačenošću radnog procesa i vibriranjem sistema i uređaja na motoru. Vibracije glavnih motora prenose se na brodske strukturu prvenstveno preko postolja motora, koji su po klasičnim metodama kruto montirani pobuđujući, na taj način, vibriranje elemenata brodske konstrukcije.

Mehaničke vibracije elemenata motora pobuđuju akustičke vibracije okolnog vazduha, koje deluju na organe sluha. Dejstvo preterane buke za-



Sl. 1 — Prostiranje zvuka kroz brodske konstrukciju

nusprodukt nastaju elastične oscilacije, koje se šire u okolinu kao zvuk.

Zvučna energija se od izvora u okolni prostor širi direktno i preko strukture broda kroz dva različita medija

mara organe sluha i izaziva njihovo slabljenje. Pored toga, intenzivna buka smanjuje oštrinu vida i sposobnost raspoznavanja boja, izaziva glavobolju, vrtoglavicu, razdražljivost, uzrok je brzog zamaranja i smanjenja radne sposobnosti [6].

Koristeći činjenicu da karakter i nivo buke i vibracija motora zavise od podešenosti uređaja i istrošenosti taručkih površina, razrađene su meto-

¹ Oblast vodenog prostranstva u kojoj se može registrovati ili izmeriti akustički pritisak koji stvara brod svojim prisustvom.

² Mornaričke mine koje imaju paljbeni uređaj koji radi na principu pasivne detekcije akustičkog polja broda.

de dijagnostike motora, bez njihovog rasklapanja [4].

Izduvni cevovodi motora su, takođe, veliki prenosioci zvučnih vibracija, zbog neujednačenog impulsnog rada motora i prolaza gasova. Zadatak da se ova komponenta strukturne buke redukuje i ne prenosi na brodske prostorije veoma je složen i težak, zbog složenosti dinamičkih odnosa postolja motora i izduvnih cevovoda (čija se dužina kreće od 10 do 30 m) i »valjanja« broda u toku plovidbe. Pored toga, slabljenje strukturnog zvuka u brodskim konstrukcijama je veoma malo, jer je brodska struktura sačinjena od čeličnih profila, nosača i debelih limova [13].

Za redukciju industrijske buke (i buke brodskih glavnih motora i turbine) razvijena je familija prigušivača buke raznih tipova, i to: apsorpcijski, rezonantni, reaktivno-rezonantni, reaktivno-apsorpcijski i rezonantno-apsorpcijski. Redukcija buke ovim prigušivačima kreće se u rasponu od 18 do 45 dB, a primenjuju se za redukciju buke kod: usisa klipnih i centrifugalnih kompresora, izduvnih cevovoda dizel i oto motora, manjih gasnih turbine, usisa i ispusta ventilacionih klima-uređaja. Pored toga, pogodni su za ugrađivanje u cevovode za vazduh, gas i ventilacione kanale.

Mere za smanjenje buke na izvorima

U brodogradnji je posvećivana velika pažnja problemu redukcije strukturne buke. Smanjenje vibracione buke postiže se njenim anuliranjem na mestu nastanka, što se obezbeđuje uvođenjem zvučne izolacije i postavljanjem amortizera na sredstva i uređaje koji predstavljaju osnovne izvore, tj. nizom mera konstruktivnog, eksploatacionog i tehnološkog karaktera. Konstruktivne mere smanjenja vibracione buke su: smanjenje veličine vibracionih sila konstrukcijom i u-

gradnjom mehanizama za smanjenje vibracija, odstranjenje rezonantnih frekvencija sopstvenih vibracija delova mehanizama, izmena elastičnosti određenih delova (promena debljine određenih delova, postavljanje ojačavajućih rebara, gradnja dvotrupnih brodova sa jačom brodskom oplatom, itd.), primena vibroizolacionih materijala u konstrukciji mehanizama, i sl. U tehnološke mere smanjenja vibracione buke spada bolje balansiranje, tačnija izrada i montaža mehanizama [13].

Ukoliko su motori kruto oslonjeni, nikakve metode akustičke obrade prostorija i trupa broda ne mogu dati značajnije rezultate. Razlozi neefikasnosti su u tome što su plivajući podovi, plivajuće obloge i apsorpcioni materijali najnedelotvorniji na niskim frekvencijama od 63 do 125 Hz, a to su upravo područja u kojima dominiraju osnovne frekvencije motora i nekoliko njihovih prvih harmonika i poluharmonika. Da bi se ovaj problem mogao uspešno rešiti neophodno je primeniti postavljanje dizel motora na elastična postolja.

Elastično postavljanje motora najefikasnije je izvesti tako da se antivibracioni elementi postave ispod osnove motora, pod uglom od 45°. Ovakvim načinom elastičnog postavljanja dolazi do uklinjenja motora i osiguranja od eventualnih pomaka usled »valjanja broda«, pri čemu brod ima šest stepeni slobode kretanja.

Jedno od rešenja zaštite od vibracije, udara i buke je ugradnja zavojnih amortizera od čeličnih užadi. Ovi amortizeri poseduju jedinstvene osobine u sistemu aktivne i pasivne zaštite od istovremenog dejstva vibracija, potresa, udara i strukturne buke. Visoko unutrašnje prigušenje, usled trenja tankih čeličnih žica u užetu, omogućuje apsorpciju i znatno ujednačenje rasipanje energije po celom području deformacije, bez obzira na to koliko brzo deluje opterećenje, bilo da se radi o niskofrekventnim ili viso-

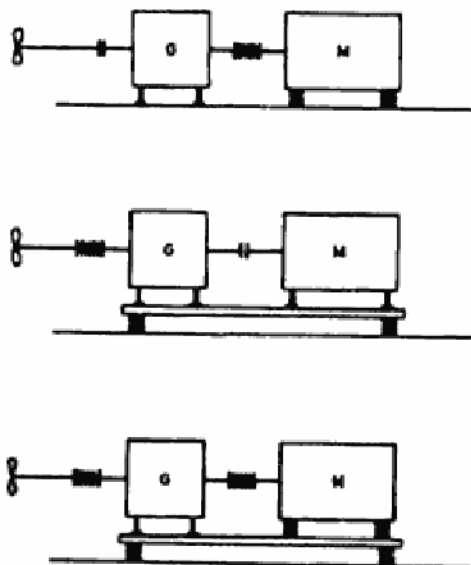
kofrekventnim vibracijama, a velika deformacija pri dinamičkom opterećenju ublažava teške udare. Kako se amplituda pobude povećava, zavojni amortizer postaje progresivno elastičniji udaljavajući rezonantnu od pobudne frekvencije, što poboljšava ukupni efekat stepena izolacije.

Izbor i raspored antivibracionih elemenata određuje se računski na osnovu: vlastite frekvencije motora i brodske strukture, mase, rasporeda težišta i neuravnoteženih masa motora i stepena redukcije antivibracionih elemenata [14].

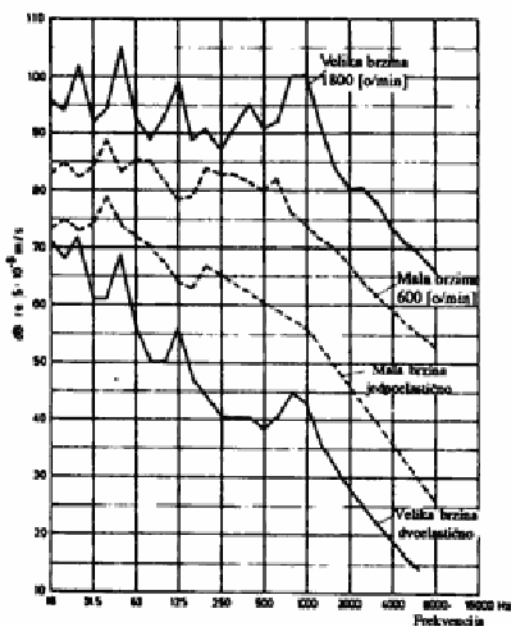
Elastični elementi treba da zadovolje mehaničke uslove, kao što su: duži vek trajanja, otpornost na ulja, nafu, morskou vodu i temperaturu do 80°C. Smanjenje vibracionog šuma, koji stvaraju glavni i pomoćni motori na brodu, postiže se njihovim postavljanjem na specijalne amortizere u verzijama *jednoelastičnih i dvoelastičnih*³ (slika 2). Na taj način smanjuju se vibracije koje se prenose sa motora i mehanizama preko fundamenta (strukture broda — strukturna buka) na oplatu broda i dalje u vodu. Osim toga, amortizeri štite motore i mehanizme od naglih udara i potresa koji nastaju u procesu eksploatacije broda. Na slici 3 prikazani su efekti ugrađivanja jednoelastične verzije amortizera i dvoelastične verzije amortizera, radi smanjenja zvučnog pritiska na celom frekventnom području. Praktična merenja pokazuju veoma dobre rezultate koji se, u proseku, kreću oko 20 dBA u celom frekventnom području.

Amortizeri i zvučna izolacija ne neutrališu u potpunosti vibracionu komponentu akustičkog polja broda, jer se deo energije predaje preko amortizera na telo broda, i preko njega u vodu. Smanjenje veličine vibra-

cije fundamenta i tela broda postiže se vibroapsorpcionim sredstvima [11, 9], u koja spadaju različiti materijali od kojih se izrađuje brodska oplata. Tako, na primer, oplata od dr-



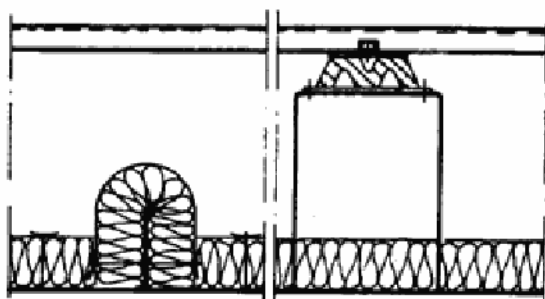
Sl. 2 — Jednoelastično i dvoelastično postavljanje motora



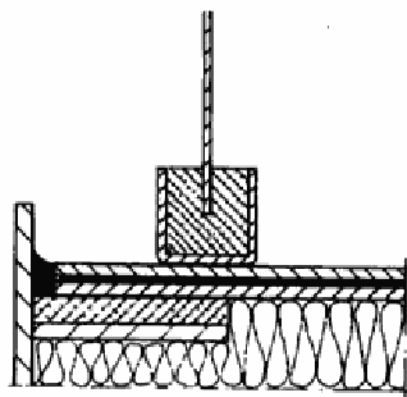
Sl. 3 — Spektri buke za male i velike brzine kao i za jednoelastično i dvoelastično postavljanje motora

³ Jednoelastično postavljanje motora izvedeno je sa jednim slojem antivibracionog materijala ili nosača, dok je dvoelastično postavljanje motora izvedeno sa dva sloja ili dva nivoa antivibracionih nosača.

veća i stakloplastike obezbeđuje znatno bolju apsorpciju zvuka. Sendvič-višeslojni sistemi gradnje brodske oplate, kako kod stakloplastičnih, tako



Sl. 4 — Sendvič konstrukcija zidova za smanjenje strukturne buke u kabinama



Sl. 5 — Elastično montirani plivajući podovi u kabinama

i kod železnih brodova, takođe znatno utiču na smanjenje intenziteta vibracija i smanjenje strukturne buke. Primer takvog rešenja prikazan je na slici 4. Iskustva sa plivajućim podovima prenesena su na brodogradnju, a jedno od rešenja elastične montaže ovih podova prikazano je na slici 5.

Posebna pažnja posvećuje se redukciji veoma važne komponente *strukturne buke*⁴ motora, koja nastaje

zbog neujednačenog impulsnog sistema rada motora i neujednačenog toka gasova koji se šire izduvnim cevovodima. Izduvni cevovodi prolaze kroz grotlo mašinskog prostora u neposrednoj blizini kabina, i drugih »osetljivih« brodskih prostorija, tako da je njihov akustički uticaj znatno veći od uticaja postavljanja motora. Temperatura izduvnih gasova u cevovodima kreće se između 300 i 400°C, pa različiti elementi moraju biti, pored ostalih navedenih karakteristika, i otporni na visoke temperature (nezapaljivi). Izbor elastičnih elemenata, tip, broj, »radno opterećenje« i karakteristika priгуšenja vrši se, takođe, proračunskim putem.

Redukcija strukturne buke propelera ne zavisi od prenošene snage, već od brzine propelera i zazora u njegovim ležajevima. Te razlike mogu se kretati i preko 10 dB. Redukcija zvučnih vibracija krmene strukture može se postići povećanjem mase oplata iznad propelera i nanošenjem zaštitnog sloja na unutrašnju stranu oplata u površini 1,5 do 2,0 prečnika propelera. Ta masa može biti od asfalta, betona ili elastičnih veštačkih masa. Masom koja je 4 do 5 puta veća od mase oplata može se postići redukcija buke za 3 do 6 dB.

Druga metoda za redukciju strukturne buke propelera sastoji se u izradi šahtova ili bunara iznad propelera. U ove šahtove mogu se ugraditi gume, dijafragme ili odušnici koji ublažavaju hidraulične sile usled rada propelera [11]. Na ovaj način nivo buke može se smanjiti za 6 do 8 dB.

Brodske stambene prostorije najčešće su udaljene od krme. Vlastite frekvencije propelera i tih prostorija u praksi se ne podudaraju, tako da se ove metode redukcije strukturne buke veoma retko primenjuju.

Najefikasniji način redukcije strukturne buke kompresora, pumpi (posebno balastnih), ventilatora, klima-

⁴ Strukturna buka je ona koja nastaje u brodskoj konstrukciji i kroz nju se prostire.

centrala i drugih uređaja postiže se korišćenjem antivibracionih materijala.

Najbolji rezultati postižu se primenom antivibracionih tepiha ispod osnove motora i antivibracionih elastičnih spojnika na cevovodima pumpe, kompresora, i sl. Antivibraciono postavljanje ovih uređaja preporučuje se jer ne zahteva visoke troškove ugradnje, a postignuti efekti su značajni i izražavaju se u:

— sprečavanju prenosa strukturnih vibracija i izbegavanju mogućnosti pojave rezonancije u nekoj pregradi ili palubi prostorija broda;

— smanjenju dodatnog opterećenja brodske konstrukcije i pojave pucanja varova zbog opterećenja mašina i temperaturnih razlika;

— mirnom radu mašina i produženju veka trajanja za 25 do 35%, što je potvrđeno u praksi za vreme redovnog održavanja broda.

Zvučna izolacija brodskih pregrada

Akustičke karakteristike brodskih pregrada definisane su koeficijentom apsorpcije zvuka i koeficijentom propustljivosti zvuka.

Energija zvuka koji udara u brodsku pregradu delom se upija u nju, a delom izlazi iz pregrade u prostor iza nje, što znači da je faktor zvučne izolacije manji od faktora zvučne apsorpcije pregrade. On se definiše odnosom intenziteta zvuka neposredno iza i ispred pregrade:

$$\tau = \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$$

Recipročna vrednost ove veličine u logaritamskom odnosu naziva se izolaciona moć R:

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad (2)$$

Za pregradu od dva panela važi da je

$$\frac{1}{\tau} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^2 \quad (3)$$

gde su p_1 i p_2 akustički pritisci ispred i iza pregrada.

Kod takvih panela obe strane se kreću zajedno, pri čemu je V_1 brzina površine prema izvoru buke, a V_2 brzina na drugoj strani, pa je $V_1 = V_2 = \omega$. Ovaj uslov je, najčešće, ispunjen kod pregrada od istog materijala i debljine panela koja je manja od $1/6$ talasne dužine fleksionog talasa u panelu [3, 6, 7].

U čvrstim materijalima javljaju se longitudinalni talasi, čiji je pravac oscilovanja čestica isti kao i pravac širenja. Ravni normalne na pravac širenja pomeraju se tako da se menja i njihova relativna udaljenost.

Srednji modul elastičnosti je po definiciji:

$$E_z = \frac{E}{1 - \mu^2} \quad (4)$$

gde je:

μ — Poasonov broj;

E — modul elastičnosti.

Za brzinu longitudinalnih talasa u štapu važi jednačina:

$$c_1 = \sqrt{\frac{E_z}{\rho}} \quad (5)$$

Uvođenjem izraza (4) u (5) dobija se brzina longitudinalnih talasa u ploči:

$$c_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho(1 - \mu^2)}} \quad (6)$$

Za širenje talasa u pregradi debljine h talasni broj k određen je odnosom kružne frekvencije ω i brzine

širenja talasa, odnosno brzine fleksionih talasa, koja se označava kao c_0 :

$$k = \frac{\omega}{c_0} \quad (7)$$

Brzina fleksionih talasa može se izraziti kao:

$$c_0 = \sqrt{\omega} \sqrt{\frac{(hc_1)^2}{12}} = \sqrt{1,8 fhc_1} \quad (8)$$

Iz formule (8) vidi se da je brzina fleksionih talasa proporcionalna drugom korenu frekvencije f . Fleksioni talasi viših frekvencija širiće se brže od talasa nižih frekvencija. Kao posledica toga menjaće se i određeni oblik prolazećeg talasa, koji se javlja u smislu Furijeove sinteze usled superpozicija talasa raznih frekvencija. Kod svake ploče konačnih dimenzija, od kojih se praktično sastoji brodska konstrukcija, postoji veliki broj frekvencija (kao posledica longitudinalnih i fleksionih talasa) kod kojih često dolazi do pojave rezonancije. Za svaku rezonantnu frekvenciju raspored maksimalnog otklona je drugačiji. Ova oscilujuća područja emituju zvučne talase, a intenzitet emisije zavisi od pobudne snage. Ovi nivoi buke često mogu biti znatno jači od intenziteta pobuda, pa je u brodskim konstrukcijama potrebno, pre svega, redukovati zvučne vibracije na samim izvorima i sprečiti njihov prenos sa brodske strukture na oblogu kabine.

Programi smanjenja buke na ratnim brodovima

Programi smanjenja buke na ratnim brodovima morali su da pođu od akustičke stvarnosti, a to je da buku treba svesti na nivo ispod 90 dBA u prostorima za odmor. Pored toga, programi su morali obuhvatiti i sva ograničenja vezana za masu upotrebljenih materijala, ograničeni prostor i cenu.

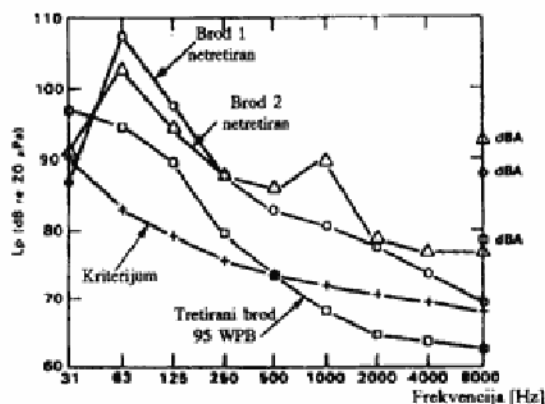
Nivo buke od 90 dBA direktno je primenjiv na industrijske radnike koji su 8 sati izloženi visokom nivou buke i 16 sati niskom nivou buke. To nije slučaj sa posadom operativnih ratnih brodova, koji često provode više dana na plovidbi [5].

Nivo buke u kabinama za odmor na brodu tipa 95 WPB iznosi od 76 do 94 dBA u punoj brzini, pri čemu dizel pogon i propeleri predstavljaju dominantni izvor buke. Propeleri indukuju strukturnu buku dominantnu na niskim frekvencijama koja se prenosi po celoj konstrukciji broda.

Pregled izmerenih vrednosti buke u određenim karakterističnim brodskim prostorima (reprezentativnim mestima) za brod tipa 95 WPB prikazan je u tabeli 2, a za sličan brod, ali nešto većih dimenzija, tipa 110 WPB, u tabeli 3.

Spektar buke za krmene kabine za odmor prikazan je na slici 6. Zapis najvišeg nivoa buke nalazi se na frekvencijama od 58 do 63 Hz.

Za apsorpciju niskofrekventne buke u vazduhu, kod ovih brodova, primenjeni su sistemi obloga debljine 5 inča (12,5 cm ploče od stakloplastike)



Sl. 6 — Nivo buke u kabini za odmor na krmu broda 95 WPB

koje su instalirane u mašinskom prostoru po zidovima i po tavanicama. ApSORBUJUĆI materijal u ovako »akustič-

Osnovne karakteristike brodova

Tip broda	Dužina (m)	Širina (m)	Gaz (m)	Deplasman (t)	Materijal	Posada (članova)	Brzina (čv)	Pogon (kW)	Broj okretaja motora (o/min)
95 WPB	31,5	6,5	1,5	105	čelik	15	24	1285	1800
110 WPB	36,5	7	3	165	čelik	18	26	3000	1500

Tabela 2

Izmerene vrednosti buke

Centralne frekvencije oktava (Hz)									
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Ukupna buka
Remontovani brodovi bez tretmana za smanjenje buke									
Krmena kabina za posadu									dBA
91	103	95	88	86	90	79	77	77	93
Pramčana kabina za posadu									
83	88	82	77	72	72	67	57	49	76
Most									
94	93	80	100	73	71	70	62	57	90
Mašinski prostor									
88	101	101	106	110	110	106	100	98	112
Remontovani brodovi sa tretmanom za smanjenje buke									
Krmena kabina za posadu									dBA
96	95	90	80	74	69	65	64	63	79
Pramčana kabina za posadu									
85	87	75	74	70	67	63	59	55	72
Most									
95	83	75	75	72	62	58	56	57	72

Brod 95 WPB — nivo buke na reprezentativnim mestima.

Maksimum nivoa zvučnog pritiska, L_p dB re $20 \mu Pa$.

U uslovima punog opterećenja (maksimalna brzina vožnje).

ki teškom« prostoru je u stanju da redukuje, preko vremena reverberacije, nivo buke na niskim frekvencijama oko 3 dB i na višim frekvencijama oko 7 dB. Ovakav način izolacije prostorija nije efikasan u zonama bliskim izvorima ili buci koju stvaraju mašine, pa se ne primenjuje često.

Za smanjenje buke u kabinama i drugim prostorima koriste se obloge koje redukuju značenje sa njihovih površina. Najčešće se pribegava sendvič-kompozitnom tretmanu prostorija, koji se sastoji od ploča stakloplastike punjenih vinilom. Ovaj sistem je primenjen i u kabinama za odmor, a obezbeđuje redukciju buke za 5 do 12 dB, u zavisnosti od karakteristika prostora i okoline. Na sličan način tretiraju se i poprečne pregrade broda, kao i palubne površine. Tretman smanje-

nja buke obezbeđuje redukciju buke za 16 dB na frekvencijama iznad 250 Hz. Rezultati pokazuju da je buka smanjena za 10 do 20 dB u zavisnosti od frekvencije. Rezultujući nivo buke u operativnim prostorijama i kabinama za odmor sveden je na nivo od 71 do 79 dB.

Jedan od najuspešnijih sistema za smanjenje buke, u kabinama za odmor i operativnim prostorijama, jeste instalacija »plivajućih soba«, koja je u stanju da sa istom efikasnošću smanjuje i strukturnu buku i buku koja se prenosi vazduhom. Primer »plivajućih soba« prikazan je na slici 7.

Paluba i obloge kabina sastavljene su antivibracionom montažom sa osnovnom nosećom konstrukcijom broda. Plafoni su, takođe, elastično

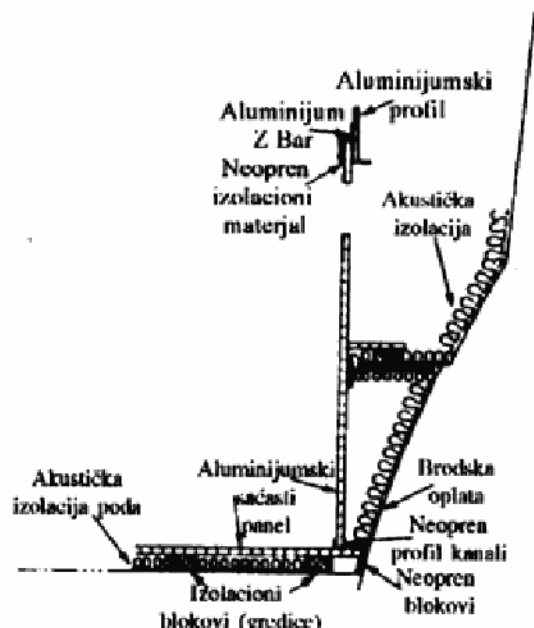
Tabela 3

Izmerene vrednosti buke

Centralne frekvencije oktava (Hz)										
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Ukupna buka
110 matični brod										
Krmena kabina za posadu (dBA)										
	105	106	98	92	88	87	79	74	65	92
110 WPB										
Krmena kabina za posadu										
	85	93	93	89	83	75	71	68	61	86
Pramčana kabina za posadu										
	85	87	81	76	69	63	63	55	47	73
Most										
	79	86	78	68	63	57	50	46	42	68
Skladište										
	89	87	83	80	76	70	66	62	57	78
Mašinski prostor	—	—	—	—	—	—	—	—	—	119

Brod 110 WPB — nivo buke na reprezentativnim mestima. Maksimum nivoa zvučnog pritiska, L_p dB re 20 μ Pa. U uslovima punog opterećenja (maksimalna brzina vožnje).

montirani ili se sastoje od visokoap-sorbujućih materijala. Na slici 7 vidi se da su za pregrade korišćeni laki sa-



Sl. 7 — Plivajuća kabina na brodu — po-gled na sekcije

časti paneli od aluminijuma, koji po svojim izolacionim svojstvima nisu ta-ko dobri kao krute ploče, ali je to us-tupak koji je vezan za ograničenje ma-se broda. Instalacioni detalji su speci-fični (izolacioni blokovi, neoprenski blokovi, neoprenski linijski kanali, alu-minijumski sačasti paneli, aluminijum-ski »Z« barovi i aluminijumski nosači)

i sjedinjeni u brodogradilištu. Konkretna rešenja realizuju se u konstrukcio-nim biroima brodogradilišta, uz oba-vezno konsultativno učešće akustičara.

Zaključak

Uzimajući u obzir teoretske postu-pke, razvijene metode redukcije zvučnih vibracija i praktična merenja na novim brodovima, može se zaključiti da sistemi dizel motora i izduvnih ce-vovoda, ukoliko se elastično ugrade na brodsku konstrukciju, neće prouz-rokovati prekomerne nivoe buke u prostorima brodske posade. Adekvat-no smanjenje strukturne buke lakše je kod visokih nego kod niskih frekven-cija, zbog toga što se sporohodne mašine mogu montirati jedino kao jedno-elastične, dok brzohodne dozvoljavaju, bez teškoća, upotrebu dvoelastične montaže, a samim tim i znatno veće izolacione vrednosti.

Borba protiv buke, posebno na ra-nim brodovima, ima veliki značaj, jer se sa smanjenjem buke smanjuje i a-kustičko polje broda, a na taj način brod postaje manje primetljiv kao cilj za pasivne hidroakustičke detekcione sisteme. S obzirom na to da akustič-ke morske mine rade sa pasivnim hi-droakustičkim sistemima za detekciju broda, smanjenjem njegovog akustič-kog polja (tj. smanjenjem buke na bro-du) smanjuje se i mogućnost otkriva-nja, odnosno uništenja.

Literatura:

- [1] Purchase, M.: Effective signature control; Naval Forces, No 4, 1989.
- [2] Gelcke, K.: Acoustic Planning in Naval Ship-building, HDW Naval Division, 1/1990.
- [3] Bošnjaković, R.: Praktične metode sprječava-nja prenosa zvučnih vibracija sa brodske struk-ture na oblogu kabina, Elektrotehnika 40, br. 3—4, 1991.
- [4] Živković, C. M.: Motori sa unutrašnjim sago-revanjem I deo, Mašinski fakultet, Beograd, 1985.
- [5] Fischer, R.: Patrol boat habitability noise con-trol, Naval Engineers Journal, may, 1988.
- [6] Simonović, M., Kalić, D., Pravica, P.: Buks, Institut zaštite na radu Edvard Kardelj, Niš, 1982.

- [7] Kurtović, S. H.: Osnovi tehničke akustike, Na-učna knjiga, Beograd, 1982.
- [8] Izveštaj Brodarskog instituta Zagreb, Ispiti-vanje vibracija, buke i podvodnog šuma na podmornicama, Zagreb, 1988.
- [9] Vraneš, B.: Akustičko polje broda, Mornarič-ki školski centar, Split, 1973.
- [10] Hrnjez, Z.: Akustičko polje broda, ETRAN 97, Zlatibor, 1997.
- [11] Juras, K.: Utjecaj nekih specifičnih mjera na smanjenje buke na brodovima, Brodogradnja, 36 (1988) 5—6.
- [12] Sanitarna pravila za pomorske brodove SSSR, Moskva, 1984.
- [13] Zaimčenko, V. I., Zaharov, V. K.: Sniženie šu-ma na sudah, Sudostroenie, Leningrad, 1968.
- [14] Zavojni amortizeri od čeličnih užadi, Novka-bel — Novi Sad i Ivo Lola Ribar — Beograd, 1996.

TESTOVI IZDRŽLJIVOSTI KOMPONENATA VAZDUHOPLOVNE OPREME PRIMENOM MATEMATIČKE STATISTIKE

UDC: 629.7.01/.02.001.573

Rezime:

Korišćenjem metode matematičke statistike analizirani su rezultati testa izdržljivosti dve karakteristične komponente turbomlaznog motora. Prvi se odnosi na dugotrajna ispitivanja pumpe za gorivo, a drugi na ispitivanja mikropumpi za podmazivanje ležajeva motora. Ispitivanja su obavljena u laboratorijskim uslovima primenom metode simulacije režima rada komponenti u trajanju od 1000 časova.

Ključne reči: turbomlazni motor, sistem za gorivo, pumpa za gorivo, mikropumpa, test izdržljivosti.

THE ENDURANCE TESTS OF THE AERONAUTICAL EQUIPMENT COMPONENTS BY MATHEMATICAL STATISTICS APPLICATION

Summary:

The endurance test results of two representative components of turbojet engine are analysed using methods of mathematical statistics. The first test is related to endurance of the fuel pump, and the second one to the micropumps investigations. Researches have been performed in laboratory conditions simulating working regime of presented components during the period of 1000 hours.

Key words: Turbojet engine, fuel system, fuel pump, micropump, endurance test.

Uvod

Komponente vazduhoplovnih tehničkih sistema podvrgavaju se testovima izdržljivosti, odnosno ispitivanjima na trajnost u skladu sa definisanim standardima. Ta ispitivanja se realizuju u odgovarajućim fazama opremanja (završna ispitivanja, usvajanje i osvajanje) naoružanjem i vojnom opremom (NVO). Uslove i dužinu trajanja ispitivanja i spektar opterećenja izdržljivosti (ispitivanja se obično obavljaju do pojave stanja »u otkazu« ili do dostizanja određenog broja ekvivalentnih ciklusa, unapred definisanih programom ispitivanja) određuje projektant tehničkog sistema.

U ovom radu je, korišćenjem metode matematičke statistike, izvršena analiza rezultata testa izdržljivosti pumpe za gorivo i mikropumpi sistema za podmazivanje ležajeva motora. Navedene komponente vazduhoplovnih motora, razvijene su i proizvedene u saradnji Vojnotehničkog instituta Vojске Jugoslavije (VTI VJ) i naše namenske proizvodnje. Pumpa za gorivo predstavlja jednu od najvažnijih komponenti sistema za napajanje gorivom čije stanje »u otkazu« dovodi do gubitka radne sposobnosti vazduhoplova. Pumpa za gorivo se po konstruktivnim i tehnološkim osobinama bitno razlikuje od do sada proizvedenih pumpi, jer su novim konstruktivnim tehnolo-

loškim rešenjima zadovoljeni svi tehnički zahtevi, posebno pitanje regulacije i rada sa lako zapaljivim fluidom (kerozinom), koji ne poseduje maziva svojstva. Po svojim funkcionalnim karakteristikama može u potpunosti da zameni pumpu poznatog inostranog proizvođača »Lucas« čiji su proizvodi široko zastupljeni na našim vazduhoplovima. Osnovne konstruktivno-tehnološke karakteristike, kao i problematika razvojnih ispitivanja pumpe dati su u [8]. Mikropumpe su namenjene za podmazivanje srednjeg i zadnjeg ležaja turbomlaznog motora VIPER. Smeštene su na uljnoj pumpi koja dobija pogon preko kućišta pogonskog agregata motora. Količina ulja koja se ubrizgava je u tačno određenim granicama, a stepen pouzdanosti mikropumpi mora biti veoma visok. Ukoliko je količina ulja ispod minimuma može doći do »zaribavanja« ležajeva, a ukoliko je iznad maksimuma dolazi do taloženja čvrstog ugljenika na disku prvog stepena turbine. Povećano taloženje ugljenika dovodi do neravnomernog hlađenja diska, njegove deformacije i pojave stanja »u otkazu«.

Ispitivanja izdržljivosti obavljena su u laboratorijskim uslovima primenom metode simulacije režima rada pumpi na ispitnim uređajima, u trajanju od 1000 časova.

Statistička obrada rezultata dobijenih eksperimentima

Radi statističke obrade rezultata dobijenih eksperimentima, izmerene vrednosti relevantnih parametara za vreme trajanja testa izdržljivosti označene su sa: $x_1, x_2, \dots, x_n$, a frekvencije njihovog pojavljivanja sa $f_1, f_2, \dots, f_n$, pri čemu je:

$$N = f_1 + f_2 + \dots + f_n. \quad (1)$$

Kod pumpe za gorivo to su vrednosti obrtnog momenta na pogonskom vra-

tilu (M) gde je N — broj merenja, a kod mikropumpi vrednosti protoka (Q).

Parametri koji reprezentuju centar rasturanja su srednja vrednost ($\bar{x}$), empirijska disperzija (s^2) i standardno odstupanje (σ) čiji izrazi imaju sledeće matematičke oblike:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i f_i \quad (2)$$

$$s^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_i (x_i - \bar{x})^2 \quad (3)$$

Pozitivan kvadratni koren iz disperzije, poznat je kao standardno odstupanje σ (za velike vrednosti N, prema zakonu velikih brojeva, s se malo razlikuje od σ).

Za detaljniji opis raspodele učestanosti pogonskog momenta i protoka uvedeni su, prema [11], koeficijent asimetrije $\bar{K}_A$ i koeficijent spljoštenosti (ekscesa) $\bar{K}_E$ u obliku:

$$\bar{K}_A = \frac{\mu_3}{s^3} \quad (4)$$

$$\bar{K}_E = \frac{\mu_4}{s^4} - 3 \quad (5)$$

gde su $\mu_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_i (x_i - \bar{x})^r$, ($r=3, 4$)

centralni momenti višeg reda.

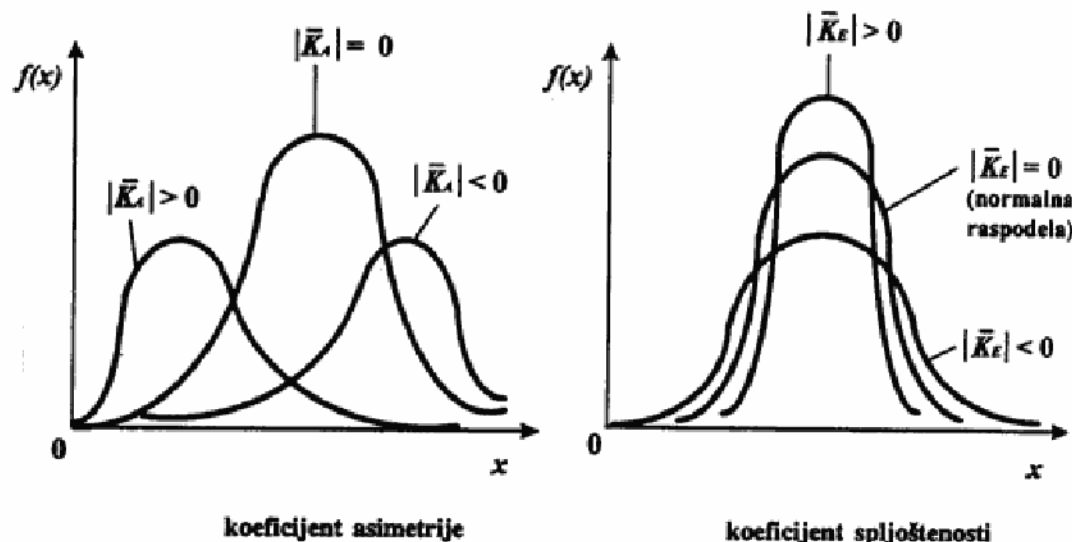
Za upoređivanje disperzija različitih statističkih skupova uveden je koeficijent varijacije $\bar{K}_v$ kao relativna karakteristika disperzije, u obliku:

$$\bar{K}_v = \frac{s}{\bar{x}} = 100 \frac{s}{\bar{x}} \% \quad (6)$$

Radi lakšeg praćenja i tumačenja rezultata ispitivanja, na slici 1 dat je

grafički prikaz koeficijentata $\bar{K}_A$ i $\bar{K}_E$. Kod simetrične raspodele je $\bar{K}_A=0$. Ukoliko je $\bar{K}_A<0$ asimetrija je negativna, odnosno raspodela je asimetrična

kom za spoljašnje (daljinsko) upravljanje. Šematski prikaz sastavnih elemenata i principa rada pumpe ilustriran je na slici 2.



Sl. 1 — Koeficijenti asimetrije $\bar{K}_A$ i spljoštenosti $\bar{K}_E$

nalevo. Ako je $\bar{K}_A>0$, tada je asimetrija pozitivna, odnosno raspodela je asimetrična nadesno. Očigledno, raspodela je više asimetrična, ukoliko je koeficijent asimetrije veći po apsolutnoj vrednosti. Ako je

$0<|\bar{K}_A|<0,1$, nema asimetrije,

$0,1<|\bar{K}_A|<0,25$, asimetrija je mala,

$0,25<|\bar{K}_A|<0,5$, asimetrija je srednja,

$0,5<|\bar{K}_A|$, asimetrija je izrazita, jaka. (7)

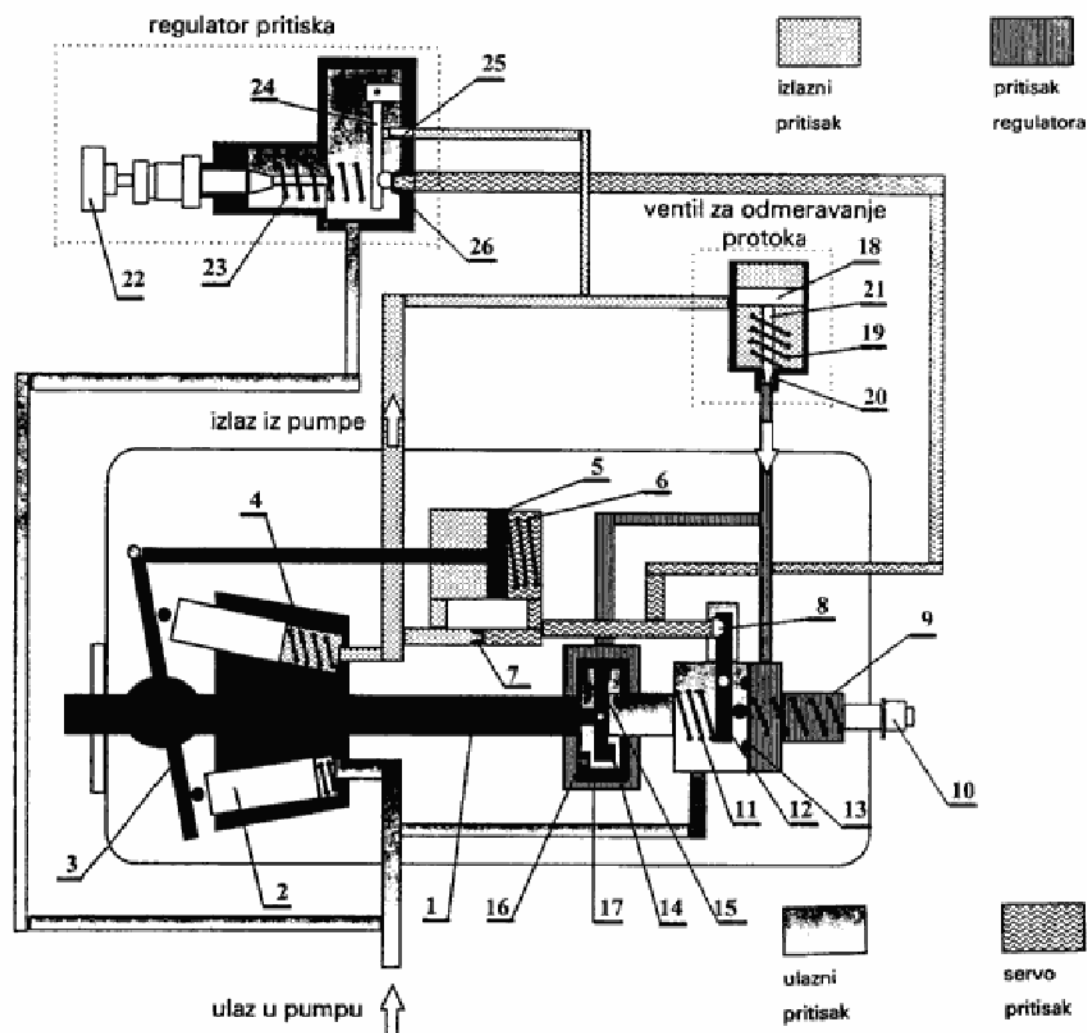
Opis rada pumpe za gorivo

Pumpa za gorivo je klipno-aksijalnog tipa, promenljive radne zapremine (promenljivog protoka) upravljana po pritisku i broju obrtaja, sa priključ-

kom za spoljašnje (daljinsko) upravljanje. Protok pumpe zavisi od broja obrtaja vratila (1) i ugla nagibne ploče (3), odnosno od položaja servoklipa (5) sa kojim je ploča, preko poluge, mehanički spojena. Kada je ugao nagibne ploče (ugao između ravni ploče i ravni upravne na osu obrtanja) veći, hod klipova (2) takođe je veći i pumpa usisava veću količinu goriva. Do usisavanja goriva dolazi dejstvom sile opruge klipa (4) i pritiskom koji vlada na usisu u pumpu. Sila opruge i centrifugalna sila stalno deluju na klip, pa pumpa može da radi i u uslovima potpritiska na usisnom vodu. Na servoklip deluje, sa jedne strane, sila opruge (6) i sila servopritiska, a sa druge, sila izlaznog pritiska goriva. Razlika sila, odnosno pad pritiska na prigušnici (7) dovodi do pomeranja klipa. Pad pritiska se postiže spajanjem servokomore klipa, preko poluloptastog (prelivnog) ventila (8), sa usisnim vodom pumpe. Kada je prelivni ventil zatvoren, priti-

sak goriva sa obe strane servoklipa se izjednačava. Sila opruge i dodatna sila pritiska goriva (usled razlika površina

napušta komoru servoklipa i menja razliku pritiska sa jedne i druge strane servoklipa. Usled toga, servoklip se



Sl. 2 — Sematski prikaz sastavnih elemenata i principa rada pumpe za gorivo:

1 — vratilo pumpe, 2 — klip, 3 — nagibna ploča, 4 — opruga klipa, 5 — servoklip, 6 — opruga servoklipa, 7 — servoprigušnica, 8 — poluloptasti ventil, 9 — opruga regulatora, 10 — regulator prekoračenja maksimalnog broja obrtaja, 11 — opruga klackalice, 12 — klackalica, 13 — membrana regulatora, 14 — centrifugalni teg, 15 — poluga hidromehaničkog regulatora, 16 — prigušnica, 17 — rotor hidromehaničkog regulatora, 18 — klip, 19 — opruga, 20 — prigušnica, 21 — klipnjača, 22 — birać protoka, 23 — opruga regulatora pritiska, 24 — poluga regulatora, 25 — prigušnica

sa jedne i druge strane servoklipa), pomera servoklip u položaj koji obezbeđuje maksimalni ugao nagibne ploče. Otvaranjem prelivnog ventila gorivo

pomera nasuprot opterećenju opruge (6), i smanjuje se ugao nagibne ploče.

Kod stacionarnog rada prelivni ventil je otvoren i propušta količinu

goriva koja obezbeđuje da se servoklip ne pomera, tj. tada su sile, koje deluju na servoklip, uravnotežene. Neravnotežu tih sila može izazvati: porast broja obrtaja vratila pumpe (upravljanje po broju obrtaja), porast pritiska na izlazu iz pumpe (upravljanje po pritisku) i promena protoka, bez obzira na režim rada pumpe (željeni spoljašnji poremećaj).

Principi upravljanja pumpom za gorivo

Upravljanje po broju obrtaja

Pod dejstvom izlaznog pritiska gorivo dolazi do ventila za odmeravanje protoka. S jedne strane klipa (18) deluje sila opruge (19) i sila pritiska na izlazu iz pumpe, a sa druge sila izlaznog pritiska goriva. Usled razlike površina klipa, rezultujuća sila pritiska pomera klip ventila prema promenljivoj prigušnici (20), čime se smanjuje protočni otvor prigušnice. Kada se pritisak na izlazu iz pumpe smanji, rezultujuća sila, koja deluje na klip (18), pomera klip od prigušnice, odnosno ka prigušnici ukoliko se pritisak poveća. Specijalno profilisani kraj klipnjače (21) klipa obezbeđuje da protočni otvor prigušnice (20) ostane nepromenjen. To omogućava da gorivo ulazi u komoru rotora hidromehaničkog regulatora (17) pumpe sa konstantnim protokom. Iz komore hidromehaničkog regulatora gorivo prolazi kroz promenljivu prigušnicu (16) u rotoru regulatora i vraća se do ulaznog otvora pumpe. Protok kroz promenljivu prigušnicu kontroliše poluga (15) i centrifugalni teg (14). Poluga je, u svom centru, spojena sa malom membranom (nije naznačena na slici 2) koja reaguje na pad pritiska kroz prigušnicu, suprotstavljajući se komponenti centrifugalne sile te ga. Sa promenom broja obrtaja vratila pumpe (regulatora) menja se centrifugalna sila, a pad pritiska kroz pri-

gušnicu registruje se kao »signalni pritisak« broja obrtaja. Taj pritisak prima membrana (13) regulatora preko račenja broja obrtaja (10). Kada se dostigne prethodno podešen broj obrtaja, signalni pritisak savlada opterećenje opruge (9), i ugiba membranu (13). Preko klackalice (12) otvara se prelivni ventil (8) i gorivo napušta komoru servoklipa (5). Na taj način servoklip se pomera, smanjujući ugao nagibne ploče, a time i protok, pri svim veličinama izlaznog pritiska.

Upravljanje po pritisku

Kada pritisak na izlazu iz pumpe poraste do vrednosti da servopritisak savlada oprugu (11) klackalice, otvara se prelivni ventil (8) i gorivo napušta komoru servoklipa (5). Servoklip se pomera, ugao nagibne ploče se smanjuje i onemogućava povećanje maksimalnog izlaznog pritiska, pri svim veličinama brojeva obrtaja.

Daljinsko upravljanje protokom pumpe

Promena protoka pumpe može se ostvariti daljinskom promenom servoprotoka, odnosno servopritiska. Simulacija spoljašnjeg uticaja na promenu protoka vrši se regulatorom pritiska, koji simulira pilotovo pokretanje ručice »gasa«. Unošenje poremećaja obavlja se preko birača protoka (22), podešavanjem sile opruge (23) regulatora. Na polugu (24), sa jedne strane, deluje sila opruge (23), a sa druge sila servopritiska i sila klipa (25) (izlazni pritisak pumpe). Kada su ove sile jednake, gorivo prolazi kroz promenljivu prigušnicu (26), tako da se postigne ravnoteža sila na servoklipu (5), odnosno mirovanje klipa, što ima za posledicu da su protok i pritisak konstantni. Kada se preko birača protoka (22) poveća sila opruge (23) dolazi do povećanja protoka, što odgovara pokreta-

nju ručice »gasa« u smeru »napred«. Smanjenje protoka dobija se okretanjem birača protoka (22) u suprotnom smeru, što odgovara pokretanju ručice »gasa« »nazad«. Povećanjem ili smanjenjem sile opruge (23) protok pumpe se može menjati, po želji, pri svim brojevima obrtaja i izlaznim pritiscima.

Test izdržljivosti pumpe za gorivo

Primer

Program ispitivanja realizovan je na bazi »profila leta« aviona, a obuhvatio je simulaciju režima rada pumpe za tri karakteristične misije: »nisko-nisko«, »visoko-nisko« i »trenažnu misiju« [1]. Ispitivanje je obavljeno u etapama, u trajanju od po 150 časova. Svaka etapa ispitivanja obuhvatila je proveru karakteristika funkcionalnosti pumpe, ispitivanje izdržljivosti, rasklapanje pumpe i merenje funkcionalnih dimenzija na karakterističnim mestima, sklapanje i pripremu za nastavak ispitivanja. U radu su prikazani i analizirani samo rezultati ispitivanja izdržljivosti. Prvih 500 časova činilo je prvu, a narednih 500 drugu fazu ispitivanja.

Ispitivanje izdržljivosti realizovano je metodom simulacije režima rada pumpe sa podešenim vrednostima: broja obrtaja pogonskog vratila, izlaznog pritiska, protoka i vremena trajanja režima, za svaku od navedenih misija. Pored navedenih parametara, u određenim granicama, održavane su vrednosti ulaznog pritiska u pumpu i temperature radnog fluida.

Podešavanje broja obrtaja obavljeno je ručno, preko potenciometra, smeštenog na komandnom pultu ispitnog uređaja. Preko regulatora pritiska simulirano je pokretanje ručice »gasa« koje u realnim uslovima eksploatacije vazduhoplova izvodi pilot.

Ukupno vreme trajanja režima, za sve tri misije, predstavljalo je jedan ciklus. Posle svakog ciklusa registrovane su vrednosti obrtnog momenta na pogonskom vratilu i proveravana zapreminska efikasnost pumpe. To su parametri koji su odabrani kao najpouzdaniji za praćenje stanja »u radu« pumpe za vreme ispitivanja, i najjednostavniji za merenje. Rezultati ispitivanja su sistematizovani u posebno pripremljene liste. Primera radi, prikazani su samo poligon raspodele obrtnog momenta na pogonskom vratilu pumpe (slika 3) i parametri koji definišu njegovu raspodelu. Ispitivanje je trajalo oko 6 meseci, sa svim neophodnim prekidima zbog izvesnih tehničkih problema.

Statistička obrada rezultata ispitivanja

Izmerene vrednosti obrtnog momenta podeljene su na klase. U tabeli 1 prikazane su vrednosti obrtnog momenta (M) i frekvencije pojavljivanja (f) za obe faze ispitivanja.

Proračunati pokazatelji centra rasturanja, za obe faze ispitivanja, prikazani su u tabeli 2.

Analiza rezultata ispitivanja

Uočena je asimetrija krive raspodele vrednosti obrtnog momenta (M). Očigledno je da se radi o jakoj, izrazitoj asimetriji, jer je prema [11] koeficijent ($|K_A| > 0,5$). Asimetrija je znatno veća u drugoj fazi ($|K_A| = 1,79$), nego u prvoj ($|K_A| = 1,76$). Koeficijent »ekscesa« je pozitivan (za obe faze ispitivanja), a to znači da je spljoštenost krive raspodele momenta manja nego kod normalne (Gausove) raspodele. Koeficijent »ekscesa« u prvoj fazi $\bar{K}_E = 1,07$ je manji nego u drugoj

Obrtni moment na pogonskom vratilu pumpe i frekvencija pojavljivanja

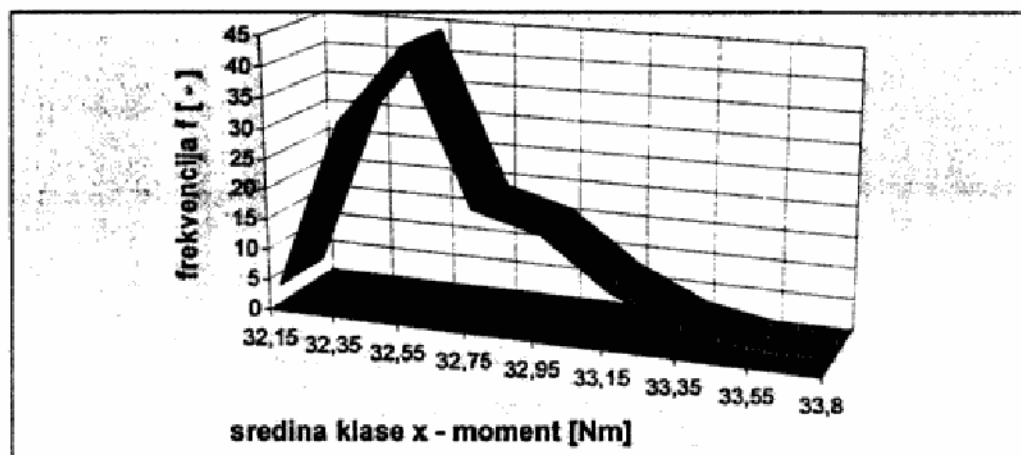
Prva faza ispitivanja (0—500 h)			Druga faza ispitivanja (500—1000 h)		
Moment M (Nm)	Sredina klase x_i (Nm)	Frekvencije f_i (—)	Moment M (Nm)	Sredina klase x_i (Nm)	Frekvencije f_i (—)
32,1—32,2	32,15	3	31,3—31,4	31,35	2
32,3—32,4	32,35	31	31,5—31,6	31,55	5
32,5—32,6	32,55	44	31,7—31,75	31,725	5
32,7—32,8	32,75	19	31,8—31,85	31,825	15
32,9—33,0	32,95	16	31,9—31,95	31,925	15
33,1—33,2	33,15	8	32,0—32,05	32,025	36
33,3—33,4	33,35	3	32,1—32,15	32,125	34
33,5—33,6	33,55	1	32,2—32,3	32,25	9
33,7—33,9	33,8	1	32,4—32,6	32,50	3
		$\Sigma = 126$			$\Sigma = 124$

Tabela 2

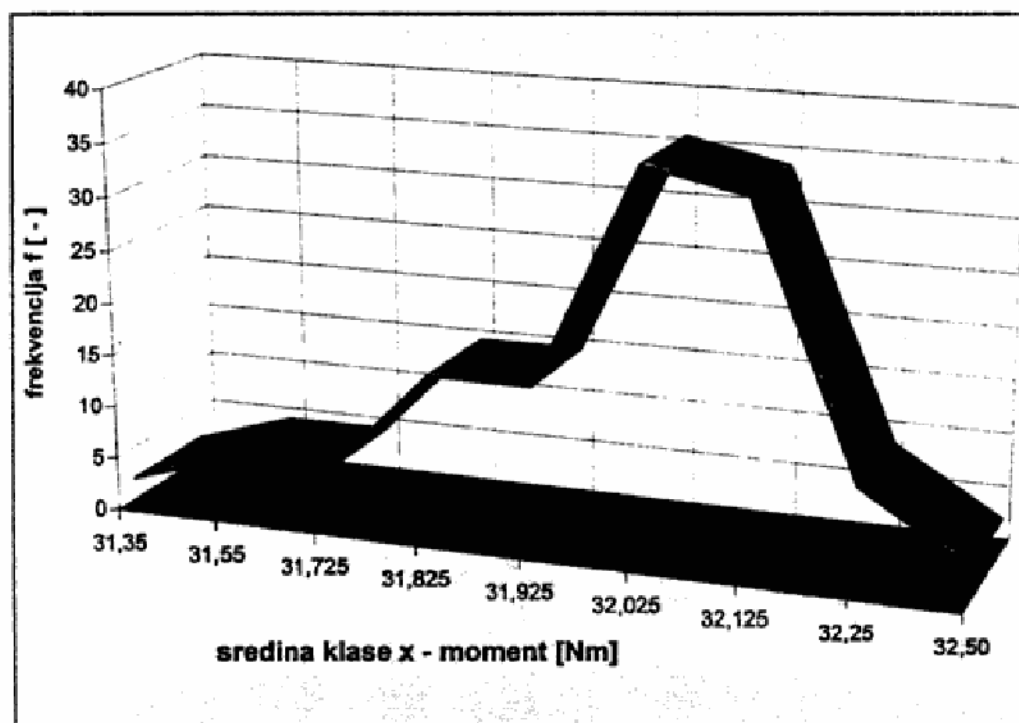
Pokazatelji centra rasturanja

Pokazatelji centra rasturanja	Prva faza ispitivanja (0—500 h)	Druga faza ispitivanja (500—1000 h)
Srednja vrednost $\bar{x}$	32,65	32,00
Empirijska disperzija s^2	0,09	0,04
Standardno odstupanje σ	0,3	0,2
Koeficijent asimetrije $\bar{K}_a$	1,76	1,79
Koeficijent spljoštenosti $\bar{K}_t$	1,07	1,21
Koeficijent varijacije $\bar{K}_v$	0,92	0,62

PRVA FAZA ISPITIVANJA (0-500h)



DRUGA FAZA ISPITIVANJA (500-1000h)



Sl. 3 — Poligon empirijske raspodele obrtnog momenta (M) na pogonskom vratilu pumpe

($\bar{K}_E=1,21$), što znači da je i kriva momenta u prvoj fazi bliža normalnoj raspodeli kod koje je $\bar{K}_E=0$. Na osnovu vrednosti koeficijenta varijacije $\bar{K}_v$ može se zaključiti da je u drugoj fazi ispitivanja uočena veća homogenost vrednosti obrtnog momenta ($\bar{K}_v=0,62$), nego u prvoj fazi ($\bar{K}_v=0,92$). Raspodela obrtnog momenta najpotpunije odgovara Erlangovoj raspodeli [11] koja predstavlja poseban slučaj eksponencijalne raspodele.

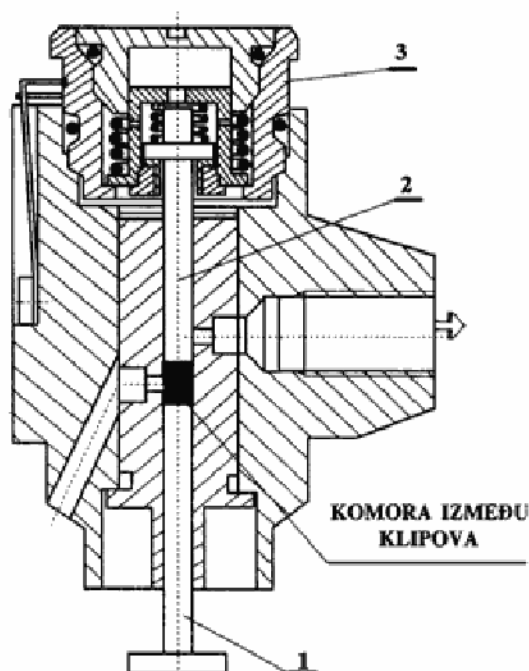
Test izdržljivosti mikropumpi

Primer

Mikropumpa predstavlja osnovnu komponentu sistema za podmazivanje. Par mikropumpi ugrađuje se u sklop uljne pumpe, koja još sadrži potisnu i crpnu pumpu. Pogon pumpi je mehanički, preko kulisnog mehanizma koji izvodi ugaono-oscilatorno kretanje. Kretanjem donjeg klipa-plunžera (1) (slika 4) »nadole«, otvara se ulazni otvor mikropumpe i ulje popunjava komoru između klipova. Kretanjem istog klipa »nagore«, potiskuje se gornji klip (2), i sabijena zapremina ulja se istiskuje kroz izlazni otvor. Nakon pražnjenja ulja iz komore, gornji klip potisnut povratnim oprugama vraća se »nadole«, i ceo postupak se ponavlja.

Ispitivanje izdržljivosti je obavljeno u dve etape, u trajanju od po 500 časova, na dve pumpe, odabrane metodom slučajnog uzorka. Ispitivanje mikropumpi svodilo se na simulaciju režima rada sa podešenim vrednostima broja obrtaja vratila uljne pumpe, pritiska na ulazu i izlazu iz mikropumpi, i vremena trajanja režima za svaku od navedenih misija. Ukupno trajanje režima za sve tri misije predstavljalo je jedan ciklus. Provera protoka izvršena je posle svakih 10 ciklusa, nakon

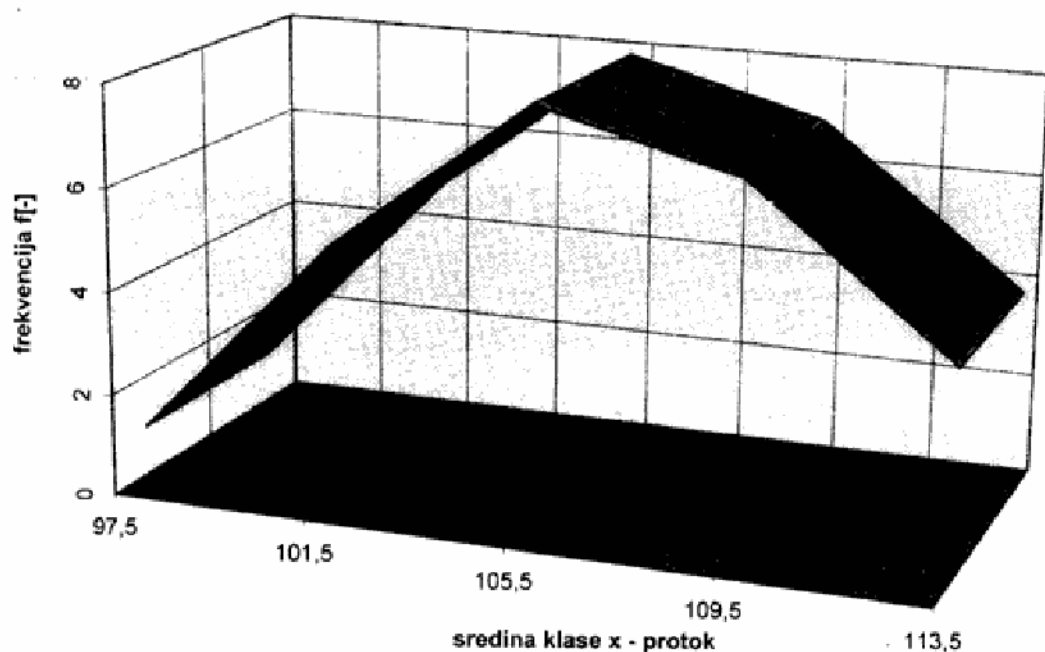
prve etape od 500 časova, zatim pre početka druge etape i na kraju ispitivanja (posle druge etape). Posebno se vodilo računa da tokom ispitivanja ne dođe do »curenja« ulja na spoljnim



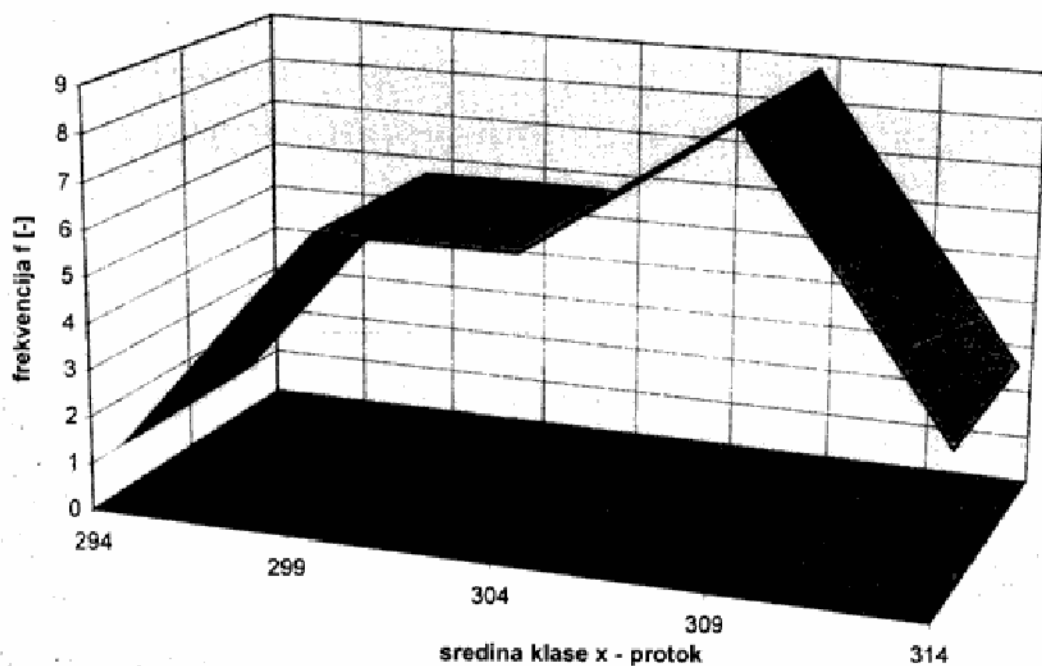
Sl. 4 — Uzdužni preseki mikropumpe:
1 — donji klip-plunžer, 2 — gornji klip,
3 — telo cilindra

površinama. Vrednosti pritiska na izlazu iz mikropumpe održavane su u granicama $3 \pm 0,5$ bar, a na ulazu 2,07 bar. Temperatura radnog fluida iznosila je $65 \pm 5^\circ\text{C}$. Programom ispitivanja definisana je dimenziona kontrola pojedinih sastavnih elemenata mikropumpi nakon dostizanja određenog broja ciklusa. Ova kontrola obuhvatila je delimično rasklapanje mikropumpi i merenje karakterističnih dimenzija pojedinih pozicija i elemenata. Detaljnija funkcionalna zavisnost protoka i ostvareni radni zazori nisu razmatrani u ovom radu. Takva specifična analiza mogla bi da bude predmet posebnih istraživanja.

broj obrtaja $n=1860\text{min}^{-1}$

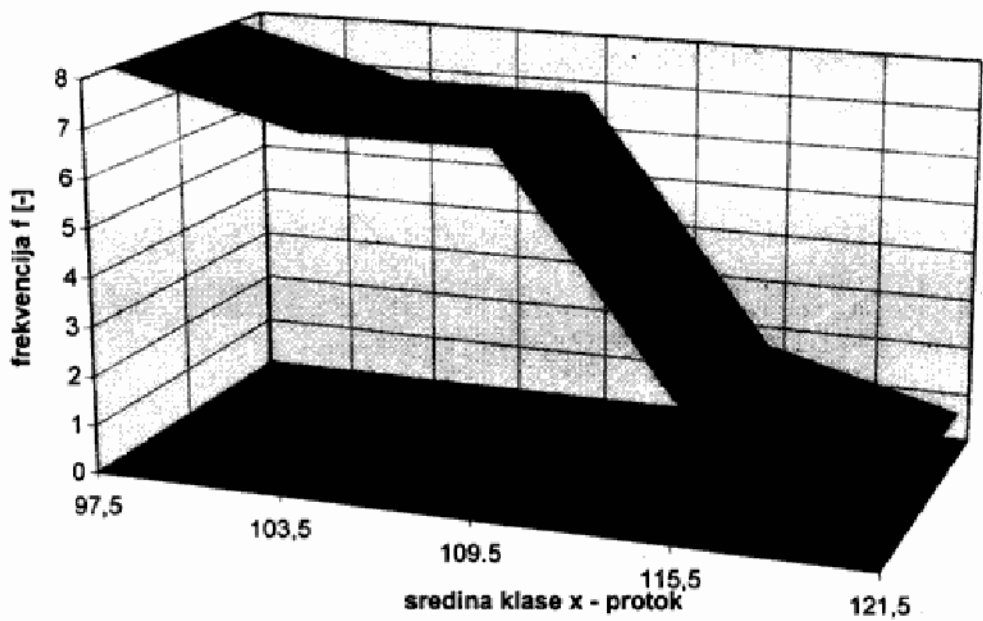


broj obrtaja $n=5000\text{min}^{-1}$

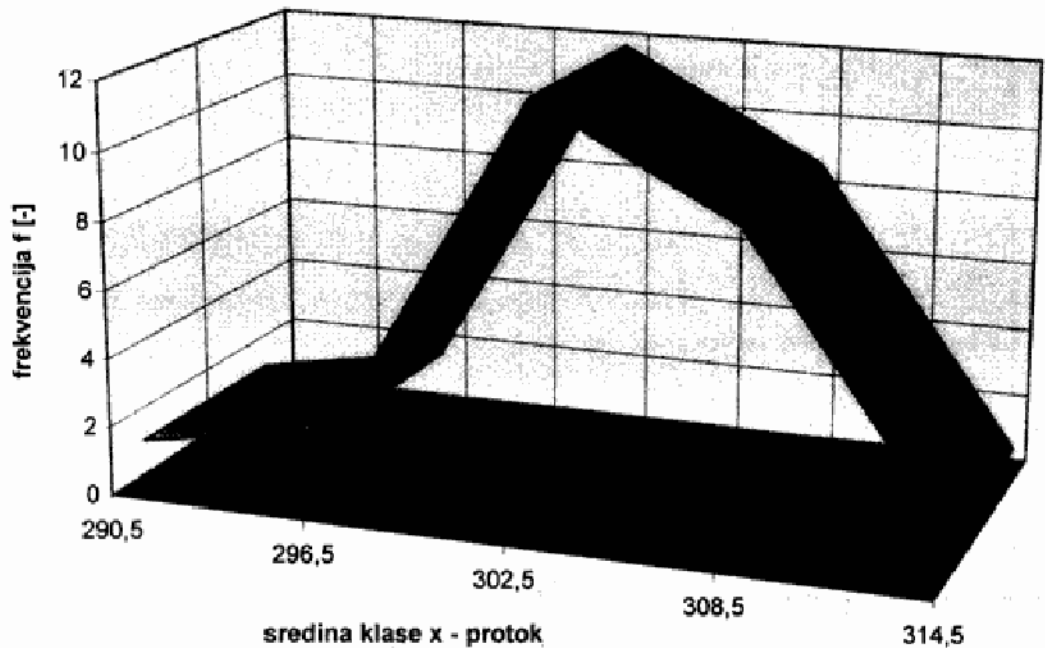


Sl. 5 — Poligon empirijske raspodele protoka (Q) mikropumpe br. 1

broj obrtaja $n = 1860 \text{ min}^{-1}$



broj obrtaja $n = 5000 \text{ min}^{-1}$



Sl. 6 — Poligon empirijske raspodele protoka (Q) mikropumpe br. 2

Protok i frekvencija pojavljivanja

Pumpa br. 1			Pumpa br. 2		
protok Q (cm ³ /h)	sredina klase x_i (cm ³ /h)	frekvencija f_i (—)	protok Q (cm ³ /h)	sredina klase x_i (cm ³ /h)	frekvencija f_i (—)
Broj obrtaja $n=1860$ min ⁻¹					
96—99	97,5	1	95—100	97,5	8
100—103	101,5	5	101—106	103,5	7
104—107	105,5	8	107—112	109,5	7
108—111	109,5	7	113—118	115,5	2
112—115	113,5	4	119—124	121,5	1
Broj obrtaja $n=5000$ min ⁻¹					
292—296	294	1	288—293	290,5	1
297—301	299	6	294—299	296,5	2
302—306	304	6	300—305	302,5	12
307—311	309	9	306—311	308,5	9
312—316	314	3	312—317	314,5	1

Tabela 4

Pokazatelji centra rasturanja

Pokazatelji centra rasturanja	Pumpa br. 1		Pumpa br. 2	
	$n=1860$ min ⁻¹	$n=5000$ min ⁻¹	$n=1860$ min ⁻¹	$n=5000$ min ⁻¹
Srednja vrednost $\bar{x}$	106,78	305,40	104,94	304,58
Empirijska disperzija s^2	18,84	29,04	44,00	17,43
Standardno odstupanje σ	4,34	5,39	6,63	4,17
Koeficijent asimetrije $\bar{K}_1$	1,42	2,00	1,49	1,52
Koeficijent spljoštenosti $\bar{K}_2$	-0,76	-0,87	-0,36	-0,24
Koeficijent varijacije $\bar{K}_v$	4,06	1,76	6,32	1,37

Najpouzdaniji pokazatelj stanja »u radu« pumpe za vreme ispitivanja, bio je protok. Praćenjem tog parametra, uz dimenzionu kontrolu pojedinih elemenata, posle određenog broja ciklusa, kontrolisan je ceo proces ispitivanja. Ovde su, radi sticanja uvida u tok ispitivanja, dati samo poligon raspodele vrednosti protoka (slike 5 i 6) i parametri koji definišu njegovu raspodelu.

Statistička obrada rezultata ispitivanja

Kao i u prethodnom slučaju, izmerene vrednosti protoka (Q) podeljene su na klase. U tabeli 3 date su vrednosti protoka i frekvencije pojavljivanja za dva karakteristična broja obrtaja $n=1860 \text{ min}^{-1}$ i $n=5000 \text{ min}^{-1}$.

Proračunati pokazatelji centra rasturanja, za obe faze ispitivanja, dati su u tabeli 4.

Analiza rezultata ispitivanja

Kod obe ispitivane mikropumpe uočena je »jaka« asimetrija krive protoka, jer je koeficijent ($|\bar{K}_A| > 0,5$). Asimetrija je veća kod pumpe br. 1 ($|\bar{K}_A| = 2,00$) nego kod pumpe br. 2 ($|\bar{K}_A| = 1,52$), i to pri broju obrtaja $n=5000 \text{ min}^{-1}$. Kod obe pumpe koeficijent »ekscesa« je negativan, što znači da je kriva pro-

toka spljoštena. Kod pumpe br. 2 koeficijent $\bar{K}_E$ je manji, po apsolutnoj vrednosti, nego kod pumpe br. 1, što znači da je kriva bliža normalnoj raspodeli kod koje je $\bar{K}_E=0$. Na osnovu koeficijenta varijacije $\bar{K}_V$ može se zaključiti da je pri većim brojevima obrtaja ($n=5000^{-1}$), kod obe pumpe, uočena veća homogenost vrednosti protoka ($\bar{K}_V=1,76$ i $1,37$) nego što je to pri manjim brojevima ($n=1860 \text{ min}^{-1}$), ($\bar{K}_V=4,06$ i $6,32$).

Zaključak

Korišćenjem metode matematičke statistike proračunati su osnovni parametri koji karakterišu raspodelu obrtnog momenta (M) na pogonskom vratilu pumpe i protoka (Q) mikropumpi. Dobijene raspodele najpotpunije odgovaraju Erlangovoj raspodeli, koja predstavlja poseban slučaj eksponencijalne raspodele. Određivanje koeficijenata ove raspodele, prema [11], može se izvršiti na osnovu daljih ispitivanja komponentata po navedenoj proceduri do njihovog stanja »u otkazu« ili na osnovu podataka o broju njihovih stanja »u otkazu« u toku korišćenja. Kod pumpe za gorivo uočena je veća homogenost vrednosti obrtnog momenta ($K_V=0,92$ i $0,62$) nego što je homogenost vrednosti protoka kod mikropumpi.

Literatura:

- [1] Vujić, D.: Program ispitivanja izdržljivosti pumpe goriva, Izveštaj V5-902-I-M, int. dok. VTI VJ, Beograd, 1990.
- [2] Vujić, D.: Program ispitivanja izdržljivosti mikropumpi, Izveštaj V5-1128-O-M, int. dok. VTI VJ, Beograd, 1993.
- [3] Vujić, D.: Prilog razvojnim ispitivanjima domaće pumpe goriva za turbomlazne motore, Naučno-stručni skup, Vazduhoplovstvo '93, Zbornik radova br. 2, Sava Centar — Beograd, 9—10. decembar, Beograd, 1993.
- [4] Vujić, D.: Ispitivanje izdržljivosti pumpe goriva, Zbornik radova sa X kongresa Jugoslovenskog vazduhoplovnog društva Vazduhoplovstvo '95, Sava Centar — Beograd, 14. i 15. decembar 1995.
- [5] Vujić, D.: Izveštaj o ispitivanju izdržljivosti pumpe goriva, V5-1129-O-023, int. dok. VTI VJ, Beograd, 1994.
- [6] Vujić, D.: Test izdržljivosti mikropumpi, Naučno-tehnički pregled, Vol. XLVI, br. 4—5, str. 98—102, 1996.
- [7] Vujić, D.: Izveštaj o 150 časovnom ispitivanju mikropumpi, Izveštaj V5-1037-O-M, int. dok. VTI VJ, Beograd, 1989.
- [8] Vujić, D., Pečić, G., Đurđević: Razvoj domaće pumpe za gorivo turbomlaznih motora, Naučno-tehnički pregled, Vol. XLIII, br. 6, str. 33—36, 1993.
- [9] Đurđević, Z.: Izveštaj o homologacionim ispitivanjima na izdržljivost gorivne pumpe ABM-PG-1, int. dok. Prva petoletka, Trstenik, 1991.
- [10] Lekić, A.: Izveštaj o ispitivanju izdržljivosti mikropumpi, III-ABM-MP-12, int. dok. Prva petoletka, Trstenik, 1993.
- [11] Vukadinović, S.: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1973.

RASPODELA TAČKASTE OCENE DONJEG KVANTILA DVOPARAMETARSKE VEJBULOVE RASPODELE

UDC: 519.218.5:519.246

Rezime:

U radu je izveden izraz za funkciju gustine raspodele tačkaste ocene donjeg kvantila dvoparametarske Vejbulove raspodele. Predložena metoda njegovog intervalnog ocenjivanja, upoređena je sa odgovarajućom metodom datom u međunarodnom standardu IEC 61649:1997. Izvedeni analitički izrazi i predložena metoda ilustrovani su sa dva primera.

Ključne reči: dvoparametarska Vejbulova raspodela, donji kvantil, tačkasta ocena, metoda.

DISTRIBUTION OF THE LOWER QUANTILE POINT ESTIMATE IN THE TWO-PARAMETER WEIBULL DISTRIBUTION

Summary:

The expression for the distribution density function of the lower quantile point estimate in the two-parameter Weibull distribution has been derived. A method of lower quantile interval estimation has been proposed and then compared to the corresponding method given in the IEC 61649:1997 international standard. Two examples have been given to illustrate the derived analytical expression and the proposed method.

Key words: two-parameter Weibull distribution, lower quantile, point estimate, method.

Uvod

Tačkasta ocena t_p donjeg kvantila dvoparametarske Vejbulove raspodele, kao slučajna promenljiva, ima zakon raspodele koji se može izraziti funkcijom gustine raspodele $f(t_p)$. Vrednost tačkaste ocene t_p zavisi od parametara Vejbulove raspodele: parametra razmene — b i parametra oblika — k , kao i od usvojene vrednosti za red kvantila p koji predstavlja vrednost funkcije raspodele za $t=t_p$, tj. $p=F(t_p)$. Na osnovu vrednosti slučajno promenljive $t: t_1, t_2, \dots, t_N$, određuju se tačkaste

ocene parametara b i k : $\hat{b}$ i $\hat{k}$, respektivno. Kada se skup od N vrednosti za t uredi u rastućem poretku, tako da je $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_N$, tada se tačkasta ocena t_p može odrediti kao statistika, čiji je rang $[Np]$ ili kao srednja vrednost od dve statistike sa rangovima $[Np]$ i $[Np]+1$, gde $[Np]$ označava celobrojnu vrednost od Np . Iako se za p unapred usvaja vrednost, ona se može izračunati iz izraza za funkciju raspodele $F(t)$, unošenjem vrednosti za $\hat{b}$, $\hat{k}$ i t_p . Na taj način dobija se tačkasta ocena $\hat{p}$ za p .

Za tačkastu ocenu $\hat{p}$ pretpostavljena je beta raspodela u intervalu (0,1) sa parametrima A i B, čije se tačkaste ocene određuju na osnovu srednje vrednosti i standardne devijacije za $\hat{p}$. Pošto je u nizu provera na pseudoslučajnim brojevima potvrđena opravdanost navedene pretpostavke, na osnovu veze između $\hat{p}$ i t_p određena je funkcija gustine raspodele $f(\hat{t}_p)$, kojom se izražava zakon raspodele tačkaste ocene donjeg kvantila dvoparametarske Vejbulove raspodele. Pored određivanja tačkaste ocene $\hat{t}_p$ i njene funkcije gustine raspodele $f(\hat{t}_p)$, predložen je i postupak intervalne ocene za t_p , a dobijeni rezultati su upoređeni sa odgovarajućim rezultatima navedenim u međunarodnom standardu IEC 61649 [1]. Opravdanost navedene pretpostavke i primene predložene metode potvrđena je konkretnim primerima.

Upotrebljene oznake

A, B	— parametri beta raspodele,
$\hat{A}, \hat{B}$	— tačkaste ocene za A i B, respektivno,
N	— ukupan broj vrednosti slučajne promenljive (velečina populacije),
$n=[N/2]$	— broj na slučajan način izdvojenih vrednosti iz skupa od N vrednosti slučajne promenljive (velečina potpopulacije),
N_i	— broj provera (broj ponavljanja izdvajanja potpopulacije),
t_p	— kvantil reda p dvoparametarske Vejbulove raspodele,

$\hat{t}_p$	— tačkasta ocena za t_p ,
b, k	— parametar razmere, oblika Vejbulove raspodele, respektivno,
$\hat{b}, \hat{k}$	— tačkaste ocene za b i k, respektivno,
$f(\hat{t}_p)$	— funkcija gustine raspodele tačkaste ocene $\hat{t}_p$,
$p=F(t_p)$	— funkcija raspodele za $t=t_p$,
$\hat{p}=F(\hat{t}_p)$	— tačkasta ocena za p,
$f(\hat{p})$	— funkcija gustine raspodele za $\hat{p}$,
$[p_1, p_2]$	— interval poverenja za p,
$[t_{p1}, t_{p2}]$	— interval poverenja za t_p ,
$\bar{p}, \bar{s}_p$	— srednja vrednost i varijansa za $\hat{p}$, respektivno,
B(A, B)	— beta funkcija sa parametrima A i B,
$x_{v1, v2, \gamma}$	— gornji kvantil beta raspodele; v_1, v_2 — parametri raspodele, γ — gornji kvant (rizik),
α_1, α_2	— donji, gornji rizik,
$\alpha=\alpha_1+\alpha_2$	— ukupan rizik,
$P=1-\alpha$	— poverenje,
[Q]	— celobrojna vrednost od Q.

Teorijske postavke

Donji kvantil dvoparametarske Vejbulove raspodele definisan je izrazom:

$$p=F(t_p)=1-\exp\left[-\left(\frac{t_p}{b}\right)^k\right]; \quad (1)$$

$b; k > 0, t_p \geq 0$

gde je:

b — parametar razmere,

k — parametar oblika,

t_p — donji kvantil reda p .

Neka je u toku ispitivanja slučajna promenljiva t , koja ima dvoparametarsku Vejbulovu raspodelu sa parametrima b i k , uzela sledeće vrednosti: $t_1, t_2, \dots, t_N$. Na osnovu njih, primenom neke od poznatih metoda za statističko ocenjivanje parametara raspodela, na primer metode maksimalne verodostojnosti, određuju se tačkaste ocene parametara b i k : $\hat{b}$ i $\hat{k}$.

Zatim se iz skupa vrednosti $\{t_1, t_2, \dots, t_N\}$ izdvoji na slučajan način podskup od n vrednosti: $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$. Pogodno je da se usvoji da je $n = [N/2]$, tj. celobrojna vrednost od $N/2$. Na osnovu vrednosti za t iz tog podskupa određuje se tačkasta ocena kvantila $t_p = \hat{t}_p$. Određivanje tačkaste ocene t_p obavlja se na sledeći način:

vrednosti za t u podskupu uredi se u rastućem poretku: $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$, a zatim se odrede susedne vrednosti čiji su redni brojevi $[np]$ i $[np]+1$, tj. $t_{[np]}$ i $t_{[np]+1}$, gde je p usvojena vrednost reda donjeg kvantila. Na primer, ako je usvojena vrednost reda kvantila $p=0,10$ ili (10%), a broj vrednosti u podskupu $n=50$, tada su $[50 \times 0,10] = 5$ i $[50 \times 0,10] + 1 = 6$, tj. tražene dve susedne vrednosti su t_5 i t_6 . Aritmetička sredina te dve susedne vrednosti za t može se definisati kao tačkasta ocena kvantila t_p , tj.:

$$\hat{t}_p = \frac{1}{2} (t_{[np]} + t_{[np]+1}) \quad (2)$$

Ako se u izrazu (1), b , k i t_p zameni tačkastim ocenama $\hat{b}$, $\hat{k}$ i $\hat{t}_p$, respektivno, dobiće se tačkasta ocena za p u obliku:

$$\hat{p} = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\hat{t}_p}{\hat{b}} \right)^{\hat{k}} \right] \quad (3)$$

Navedeni postupak određivanja tačkaste ocene $\hat{p}$ ponavlja se N_i puta ($N_i \geq 50$), tako da se dobije skup vrednosti za tačkastu ocenu $\hat{p}$: $\{\hat{p}_1, \hat{p}_2, \dots, \hat{p}_{N_i}\}$.

Tačkasta ocena $\hat{p}$, kao slučajna promenljiva, ima odgovarajući zakon raspodele. Pretpostavimo da je to beta raspodela sa parametrima A i B , čija je funkcija gustine raspodele data sledećim izrazom:

$$f(\hat{p}) = \frac{1}{B(A, B)} \hat{p}^{A-1} (1-\hat{p})^{B-1}; \quad \hat{p} \in [0, 1] \quad (4)$$

Da bi se odredili parametri A i B potrebno je iz skupa $\{\hat{p}_1, \hat{p}_2, \dots, \hat{p}_{N_i}\}$ odrediti srednju vrednost i standardnu devijaciju za $\hat{p}$: $\bar{p}$, s_p . Na osnovu veze između parametara A , B i $\bar{p}$, s_p^2 određuju se tačkaste ocene za A i B , pomoću sledećih izraza:

$$\hat{A} = \left(\frac{\bar{p} - \bar{p}^2}{s_p^2} - 1 \right) \bar{p} \quad (5)$$

$$\hat{B} = \left(\frac{\bar{p} - \bar{p}^2}{s_p^2} - 1 \right) (1 - \bar{p}) \quad (6)$$

Zamenom parametara A i B u izrazu (4) njihovim tačkastim ocenama $\hat{A}$ i $\hat{B}$, respektivno, funkcija $f(\hat{p})$, data izrazom (4), postaje potpuno određena.

Opravdanost pretpostavke da $\hat{p}$ ima beta raspodelu sa parametrima $\hat{A}$

i $\hat{B}$, može se dokazati proverama na pseudoslučajnim brojevima koji imaju dvoparametarsku Vejbulovu raspodelu sa poznatim vrednostima parametara b i k . Opravdanost navedene pretpostavke potvrđena je u primerima.

Određivanje funkcije gustine raspodele tačkaste ocene

Na osnovu veze između t_p i p , date izrazom (1), može se odrediti funkcija gustine raspodele tačkaste ocene $f(t_p)$ donjeg kvantila $\hat{t}_p$, polazeći od sledeće jednakosti:

$$f(t_p)dt_p = f(p)dp \quad (7)$$

Radi jednostavnijeg označavanja, izostavljena je oznaka, $\wedge$, za tačkaste ocene. Na osnovu izraza (7) dobija se:

$$f(t_p) = f(p) \frac{dp}{dt_p} \quad (8)$$

Diferenciranjem izraza (1) po t_p , dobija se:

$$\frac{dp}{dt_p} = \frac{k}{b} \left(\frac{t_p}{b} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{t_p}{b} \right)^k} \quad (9)$$

Zamenom $f(t_p)$ i dp/dt_p iz izraza (4) i (9), respektivno, u izraz (8) dobija se:

$$f(t_p) = \frac{k}{bB(A, B)} \left[1 - e^{-\left(\frac{t_p}{b} \right)^k} \right]^{A-1} \left[e^{-\left(\frac{t_p}{b} \right)^k} \right]^{B-1} \left(\frac{t_p}{b} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{t_p}{b} \right)^k} \quad (10)$$

gde je:

$\hat{p} = p$ u izrazu (4) zamenjeno izrazom (1).

Izraz (10) predstavlja funkciju gustine raspodele tačkaste ocene donjeg kvantila $t_p = \hat{t}_p$ dvoparametarske Vejbulove raspodele. U izrazu (10), parametri b , k , A i B se zamenjuju njihovim tačkastim ocenama $\hat{b}$, $\hat{k}$, $\hat{A}$ i $\hat{B}$, respektivno.

Određivanje intervalne ocene za tačkastu ocenu

Rešavanjem izraza (1) po t_p , dobija se:

$$t_p = b[-\ln(1-p)]^{1/k} \quad (11)$$

Ako se u izrazu (11) b i k zamene tačkastim ocenama $\hat{b}$ i $\hat{k}$, respektivno, a p sa granicama poverenja p_1 i p_2 , dobiće se granice poverenja za t_p :

$$t_{p1} = \hat{b}[-\ln(1-p_1)]^{1/\hat{k}} \quad (12)$$

$$t_{p2} = \hat{b}[-\ln(1-p_2)]^{1/\hat{k}} \quad (13)$$

gde su granice poverenja p_1 i p_2 date sledećim izrazima:

$$p_1 = 1 - X_{n-r; r+1; \alpha_1} \quad (14)$$

$$p_2 = X_{r+1; n-r; \alpha_2} \quad (15)$$

U izrazima (14) i (15), $x_{[.]}$ je gornji kvantil beta raspodele, n je ukupan broj vrednosti za $\hat{p}$, $r = [n\hat{p}]$, α_1 i α_2 su donji i gornji rizik, respektivno.

Primeri

Primer 1

Primenom elektronskog računara generisano je $N=100$ pseudoslučajnih brojeva koji imaju dvoparametar-

sku Vejbulovu raspodelu sa parametrima $b=1000$ i $k=2,5$. Na osnovu tih brojeva primenom metode maksimalne verodostojnosti, određene su tačkaste ocene parametara b i k : $\hat{b}=1008,78$ i $\hat{k}=2,367$.

Iz skupa od $N=100$ vrednosti pseudoslučajnih brojeva izdvajano je, na slučajan način, $n=50$ vrednosti ovih brojeva i pomoću izraza (2) određivana je tačkasta ocena donjeg kvantila, $\hat{t}_p$, (za $p=0,10$). Postupak određivanja $\hat{t}_p$ ponavljan je $N_t=50$ puta i pomoću izraza (3) određeno je 50 vrednosti za $\hat{p}$. Pod pretpostavkom da $\hat{p}$ ima beta raspodelu, na osnovu tih 50 vrednosti za $\hat{p}$ i pomoću izraza (5) i (6) određene su tačkaste ocene za parametre A i B beta raspodele: $\hat{A}=5,67$ i $\hat{B}=47,87$. Na slici 1 prikazan je histogram i funkcija gustine raspodele $f(\hat{p})$. Grafički rezultati proračuna dobijeni su posredstvom elektronskog računara. Kao što se vidi na slici 1, podudarnost histograma i funkcije $f(\hat{p})$ je dobra, što ukazuje na opravdanost pretpostavke da $\hat{p}$ ima beta raspodelu sa parametrom A i B . Na slici 2 grafički je prikazana funkcija gustine raspodele $f(\hat{t}_p)$ i odgovarajući histogram za $\hat{t}_p$. I u ovom slučaju podudarnost funkcije $f(\hat{t}_p)$ i odgovarajućeg histograma za $\hat{t}_p$ je zadovoljavajuća, što ukazuje na to da je korektno izveden izraz (10) za funkciju gustine raspodele $f(\hat{t}_p)$. Na slici 1 prikazane su granice varijacije za $\hat{p}$: $p_1=0,0564$ i $p_2=0,1619$ sa rizicima $\alpha_1=\alpha_2=0,10$, a na slici 2 gra-

nice varijacije za $\hat{t}_p$: $t_{p1}=303,5$ i $t_{p2}=485,5$ sa rizicima $\alpha_1=\alpha_2=0,10$.

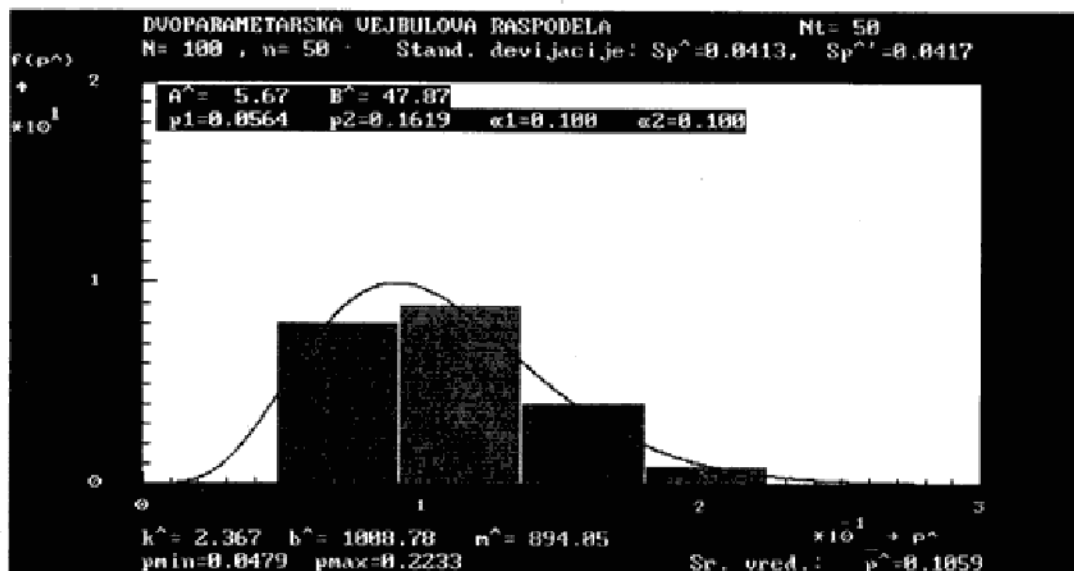
Ako se u izrazima (12) i (13) une su vrednosti za p_1 i p_2 , dobija se $t_{p1}=303,06$ i $t_{p2}=484,93$, što ukazuje na veliku podudarnost sa vrednostima t_{p1} i t_{p2} , prikazanim na slici 2. Za $p=0,10$, $\hat{b}=1008,78$ i $\hat{k}=2,367$, pomoću izraza (11), dobija se tačkasta ocena donjeg kvantila t_p : $\hat{t}_p=389,85$. Ta vrednost približno je jednaka srednjoj vrednosti $\bar{t}_p=393,31$ prikazanoj na slici 2.

Granice poverenja za donji kvantil t_p mogu se odrediti pomoću izraza (12) i (13), koristeći granice poverenja p_1 i p_2 date izrazima (14) i (15). Za $p=0,10$, $n=50$, $r=np=5$ i $\alpha_1=\alpha_2=0,10$ određene su vrednosti za p_1 i p_2 : $p_1=0,064260$ i $p_2=0,177618$. Unoseći vrednosti za p_1 i p_2 u izraze (12) i (13) dobijaju se granice poverenja: $t_{p1}^*=320,8$ i $t_{p2}^*=506,25$. Dakle, sa poverenjem $P=1-(\alpha_1+\alpha_2)=0,80$, može se tvrditi da interval poverenja $[320,8; 506,25]$ prekriva stvarnu vrednost donjeg kvantila t_p ($p=0,10$).

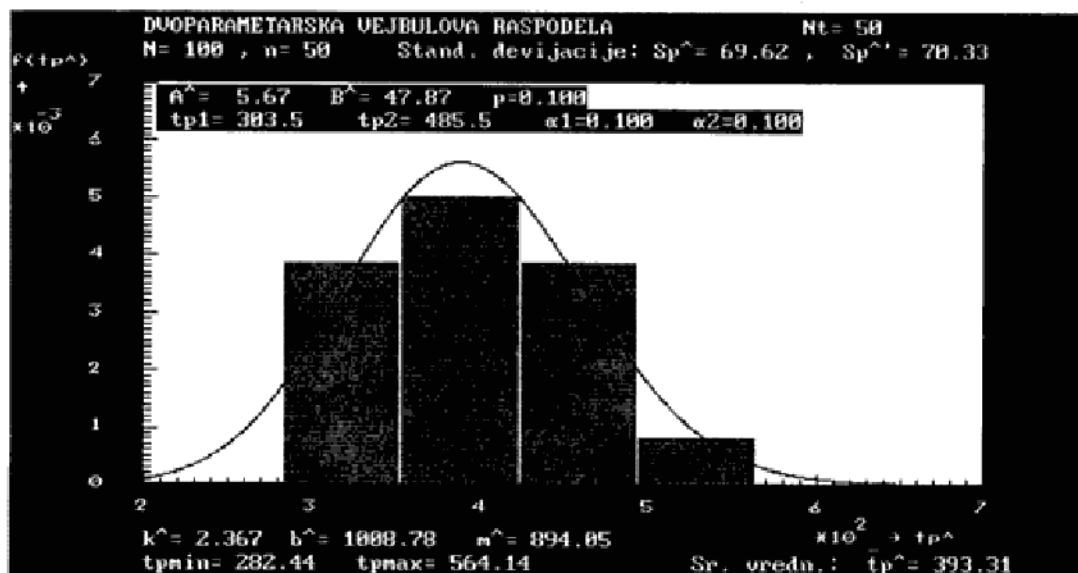
Primer 2

Radi ispitivanja pouzdanosti, iz jedne proizvodne partije izdvojeno je metodom slučajnog uzorka, $N=40$ uređaja. Ispitivanje pouzdanosti obavljeno je bez zamene i popravke, a trajalo je do dvadesetog otkaza. Vremena do pojave stanja »u otkazu« sistema-tizovana u rastućem poretku, jesu:

$t_1=5$, $t_2=10$, $t_3=17$, $t_4=32$, $t_5=32$, $t_6=33$, $t_7=34$, $t_8=36$, $t_9=54$, $t_{10}=55$, $t_{11}=55$, $t_{12}=58$, $t_{13}=58$, $t_{14}=61$, $t_{15}=64$, $t_{16}=65$, $t_{17}=65$, $t_{18}=66$, $t_{19}=67$, $t_{20}=68$.



Sl. 1 — Grafički prikaz histograma i funkcije gustine raspodele $f(p)$



Sl. 2 — Grafički prikaz histograma i funkcije gustine raspodele $f(p)$

Za uređaje koji nisu otkazali, vremena do prekida ispitivanja su:

$$t_{21}=t_{22}=\dots=t_{39}=t_{40}=68.$$

Pod pretpostavkom da vremena do pojave stanja »u otkazu« imaju dvo-

parametarsku Weibulovu raspodelu sa parametrima b i k , na osnovu datih podataka određene su tačkaste ocene tih parametara primenom metode maksimalne verodostojnosti: $\hat{b}=84$ i $\hat{k}=2,091$ [1].

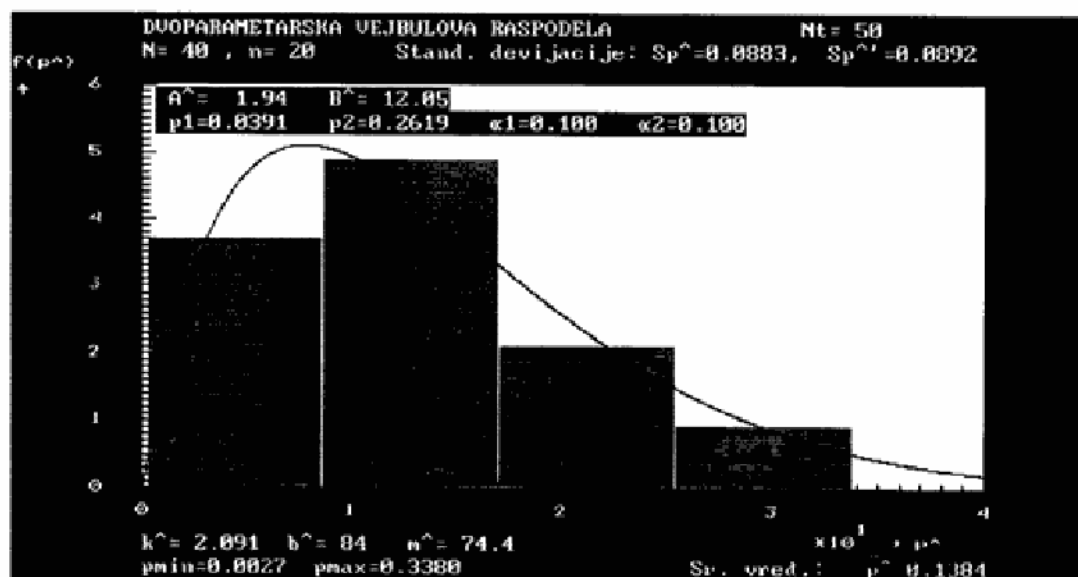
Istim postupkom, kao i u *Primeru 1*, iz skupa od $N=40$ vrednosti vreme-
na do pojave stanja »u otkazu«, odno-
sno do prekida ispitivanja, izdvajano
je na slučajan način $n=Np=20$ vred-
nosti i izračunavane su tačkaste ocene
donjeg kvantila $\hat{t}_p$, ($p=0,10$), odnosno
vrednosti za $\hat{p}$. Postupak je ponavljan
 $N_t=50$ puta. Pod pretpostavkom da
tačkasta ocena $\hat{p}$ ima beta raspodelu,
određene su tačkaste ocene ove raspo-
dele: $\hat{A}=1,94$ i $\hat{B}=12,05$.

Na slici 3 prikazan je histogram i
funkcija gustine raspodele $f(\hat{p})$, a na
slici 4 funkcija gustine raspodele $f(\hat{t}_p)$
i odgovarajući histogram za $\hat{t}_p$. Kao što
se može videti na slici 3, dobijene gra-
nice varijacije za $\hat{p}$ su: $p_1=0,0391$ i
 $p_2=0,2619$ sa rizicima $\alpha_1=\alpha_2=0,10$. Na
slici 4 prikazane su granice varijacije
za $\hat{t}_p$: $t_{p1}=17,99$ i $t_{p2}=47,53$ sa rizicima
 $\alpha_1=\alpha_2=0,10$.

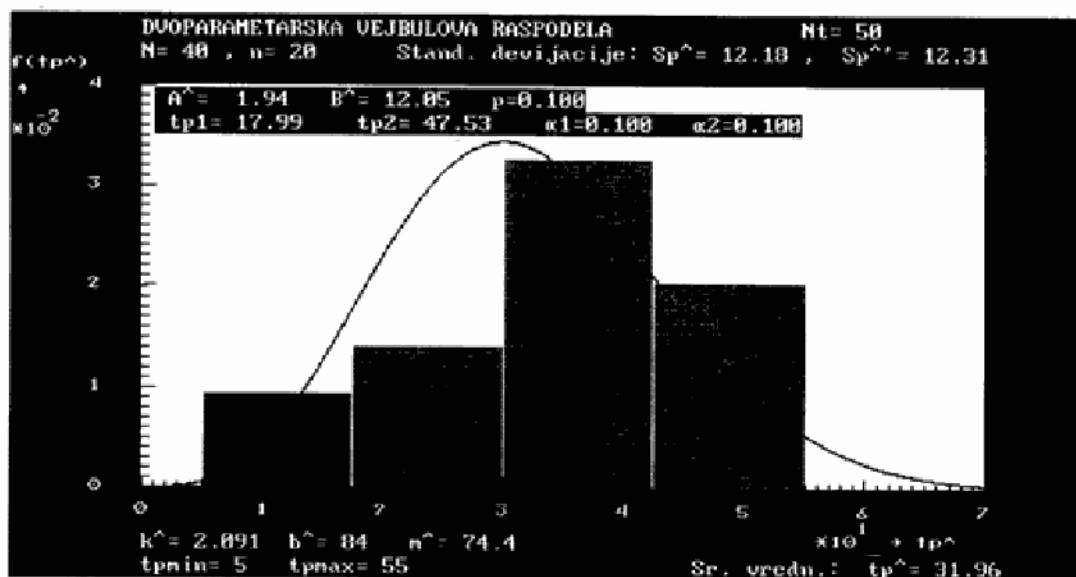
Kada se u izrazima (12) i (13) uvr-
ste vrednosti za p_1 i p_2 , dobija se $t_{p1}=$
 $=17,99$ i $t_{p2}=47,5$, što ukazuje na ve-
liku podudarnost sa vrednostima t_{p1} i
 t_{p2} prikazanim na slici 4. Za $p=0,10$,
 $\hat{b}=84$ i $\hat{k}=2,091$, pomoću izraza (11),
dobija se tačkasta ocena donjeg kvan-
tila t_p : $\hat{t}_p=28,63$.

Granice poverenja za donji kvantil
 t_p mogu se odrediti pomoću izraza (12)
i (13), koristeći granice poverenja p_1
i p_2 , date izrazima (14) i (15). Za $p=0,10$,
 $n=20$, $r=np=2$ i $\alpha_1=\alpha_2=0,10$ određe-
ne su vrednosti za p_1 i p_2 : $p_1=0,056418$
i $p_2=0,244765$. Unoseći ove vrednosti
za p_1 i p_2 u izraze (12) i (13) dobijaju
se granice poverenja: $t_{p1}^*=21,53$ i
 $t_{p2}^*=45,75$.

Ako se donja granica poverenja
 $t_{p1}^*=21,53$, dobijena ovim postupkom,
uporedi sa donjom granicom povere-
nja $B_{10}=20,43$, dobijenom navedenom
metodom u međunarodnom standardu
IEC 61649:97 (Primer primene metode),



Sl. 3 — Grafički prikaz histograma i funkcije gustine raspodele $f(\hat{p})$



Sl. 4 — Grafički prikaz histograma i funkcije gustine raspodele $f(p)^{\wedge}$

može se zaključiti da je slaganje rezultata dobro. Međutim, prednost metode predložene u ovom radu jeste što se za p može uzeti bilo koja vrednost iz intervala $(0,1)$, i što se može odrediti gornja granica za t_p , dok se postojecom metodom u navedenom međunarodnom standardu određuje samo donja granica poverenja za t_p i to samo za vrednost reda kvantila $p=0,10$.

Zaključak

Valjanost izvedenog izraza za funkciju gustine raspodele, $f(t_p)^{\wedge}$, tačkaste ocene donjeg kvantila dvoparametarske Vejbulove raspodele proveravana

je na pseudoslučajnim brojevima, koji imaju dvoparametarsku Vejbulovu raspodelu, a rezultati provere bili su zadovoljavajući, što je potvrđeno navedenim primerima.

Predložena metoda intervalnog ocenjivanja donjeg kvantila t_p upoređena je sa odgovarajućom metodom datom u međunarodnom standardu IEC 61649:1997. Dobijeni su približni rezultati, što ukazuje na opravdanost primenjivosti predložene metode. Ona omogućava određivanje donje i gornje granice poverenja za donji kvantil t_p za bilo koju vrednost za p ($0 < p < 1$), za razliku od metode po međunarodnom standardu IEC 61649 koja obezbeđuje određivanje samo donje granice poverenja, B_{10} , za t_p i to jedino za $p=0,10$ (10%).

Literatura:

- [1] International standard IEC 61649 — Goodness-of-fit tests, confidence intervals and lower confidence limits for Weibull distributed data, First edition, 1997-05.
- [2] Chapouille, P., De Pazzis, R.: Fiabilité des Systèmes, Masson, Paris, 1968.
- [3] Van Der Waerden, B. L.: Mathematische Statistik, Springer-Verlag, Berlin, 1965.
- [4] Brkić, D. M.: A Method for Evaluation of Number Class Intervals of Histogram, Microelectronics and Reliability, Vol. 32, No 2/3, pp 245—248, 1991.

Uvod

Britanska firma Intora-Firebird plc, London, prikazala je na međunarodnoj vazduhoplovnoj izložbi Farnborough '98. novu koncepciju helikoptera. Bile su izložene tri verzije helikoptera — bespilotna letelica, jednosed i dvosed sa zatvorenom kabinom.

Ultralaki helikopter FIREBIRD («vatrena ptica») je mala, laka letelica modularne konstrukcije sa inovativnim pogonom. Može biti opremljen za niz različitih vojnih i civilnih primena sa pilotom, ili kao bespilotna letelica, sa daljinskim upravljanjem iz zemaljske stanice preko mikrotalasne, video veze ili veze prenosa podataka.

Potencijalni korisnici ovog jedinstvenog helikoptera nalaze se u rasponu od vojnih jedinica za brze intervencije, snaga bezbednosti i izviđača do raznih patrola i ekipa. Osnovna šasija je ista za sve verzije, uz ugradnju specijalne opreme za vođenje i korisnog tereta, prilagođenih specifičnoj nameni.

Opšti opis

Ultralaki helikopter projektovan je tako da omogućući ovladavanje upravljanjem, uz minimalnu obuku i eksploataciju bez intenzivnog održavanja i čuvanja velikog asortimana rezervnih delova. To je ostvareno zahvaljujući či-

njenici da helikopter nema klasičan motor. Pogon ostvaruje visokokvalitetni 85%-tni vodonik-peroksid H_2O_2 , korišćen kao gorivo u malim mlaznicama postavljenim na vrhovima lopatica rotora. Za par sekundi vodonik-peroksid se iz ugrađenih rezervoara upumpa u mlaznike, gde ga katalizator pretvara u pregrejanu paru i kiseonik na temperaturi oko $850^{\circ}C$. Lopatice rotora počinju da se obrću, dok se vreli gas izbacuje unazad u vidu nadzvučnog mlaza. Pri tome nema plamena niti aerozagađenja. Mlaznici su debljine oko 2,5 cm, mase oko 500 g i nemaju pokretnih delova. Ostvareni potisak ravan je snazi avionskog motora od 73,6 kW (100 KS), tipične mase od 100 kg. U osnovnoj konfiguraciji letelica postiže brzinu penjanja od 650 m/min, maksimalnu brzinu od 160 km/h i autonomiju leta, pri brzini krstarenja od 30 minuta. Jedinstveni pogonski sistem omogućava plafon letenja od 9750 m (30000 stopa). Budući da mlaznici nemaju usisne, izduvne niti sisteme paljenja, letelica praktično nema infracrvenog ni radarskog odraza.

Upravljanje ultralakim helikopterom moguće je posle samo 30 minuta obuke, što letelicu čini veoma isplativom platformom za raznovrsne zadatke, a obavlja se preko jednostavnog sistema »monotrol«. Upravljačka palica pokreće se u smeru u koji pilot ili zemaljski operater žele da usmere letelicu, dok središnji položaj omogućava

lebdjenje. U verziji bespilotne letelice vođenje obavljaju elektronski cilindri.

Bespilotna verzija poseduje sistem vođenja i komandi koji se sastoji od upravljačkog uređaja sa selektorima parametara zadatka. Uređaj emituje digitalne video signale u realnom vremenu do robusnog taktičkog prijemnika, dok poseban osmatrački kontrolni uređaj upravlja funkcijama korisnog tereta. U standardnoj verziji bespilotna letelica može da nosi napred postavljenu CCD kameru u boji koja služi za pilotiranje i pružanje na-

Intorina »vatrena ptica« je u serijskoj proizvodnji od novembra 1998. godine, i ima saglasnost američke uprave za civilno vazduhoplovstvo (FAA) za ispitivanje i demonstriranje, dok je u toku dobijanje saglasnosti i od britanske uprave CAA.

Osnovne karakteristike

Odnos nosivosti i sopstvene mase: zahvaljujući jedinstvenom pogonskom sistemu, helikopter FIREBIRD ima za



Sl. 1 — Ultralaki helikopter »FIREBIRD«

vigacionih i letnih podataka. Druga kamera omogućava vidno polje od 360°.

Zavisno od odabrane namene i varijante helikoptera, moguć je veliki izbor korisnog tereta. To podrazumeva i naoružanje, kao npr. PVO rakete, topove ili lansere, zatim sisteme za radarska osmatranja, sisteme FLIR, termovizijske ili panoramske kamere.

360% veću nosivost u odnosu na masu prazne letelice u poređenju sa helikopterima koje pogone gasne turbine, odnosno 480% veću nosivost u odnosu na helikoptere sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem.

Modularna konstrukcija: zavisno od namene helikopter se može opremiti u raznovrsnim konfiguracijama.

Taktičke karakteristike: praktično je bez infracrvenog i radarskog odra-

za, uz izuzetno nizak nivo buke. Helikopter je lak za transportovanje i jedinstven za upravljanje kao bespilotna letelica.

Jedinstven koncept letačke obuke: u obuci se od samog početka koristi helikopter koji je u prvim časovima letenja povezan sa trenažerom koji sprečava mogući udes usled pogrešnog upotrebljavanja komandi. Čim se uspešno savladaju manevri u lebdenju, helikopter se odvaja od trenažera, kada je korisnik već sposoban za samostalno letenje.

Masa mlaznika na vrhovima lopatica ostvaruje efekat zamajca, daje stabilnost helikopteru kao i odličnu upravljivost.

Jednostavna konstrukcija letelice eliminiše potrebu za složenom i skupom opremom za održavanje, koja je neophodna kod klasičnih helikoptera, koji imaju komplikovane sisteme za podmazivanje, hlađenje, uvođenje, izduvavanje i paljenje i hidrauliku.

Helikopter sa svojim osnovnim elementima, a to su glavni i pomoćni rotor, raketna propulzija i njihove komande pruža velike mogućnosti adaptacije. Jednostavnim zahvatima može se brzo prilagoditi za obavljanje specifičnih zadataka.

Pored osnovne konfiguracije u FIREBIRD može da se ugradi oprema, koja obuhvata:

- potisni motor koji omogućava autonomiju leta do 4 sata,
- termičku izolaciju rezervoara goriva, za upotrebu na visinama iznad 1950 m (6000 stopa),
- elektronsku i navigacionu opremu,
- opremu i sisteme za spasavanje,
- specijalne lopatice rotora (za povećan dolet i velike visine),
- dopunske rezervoare za gorivo,

— daljinsko upravljanje za jedno- i dvosed,

— konfiguraciju za jednokratni zadatak (specijalni teret).

Helikopter može nositi veliki asortiman namenskih kontejnera, koji obuhvataju:

- opremu za vazdušno osmatranje,
- opremu za ozračivanje ciljeva,
- dvocevni mitraljez kalibra 7,62 mm,
- lanser raketa od 2,57 inča,
- PVO rakete,
- aerosolni bacač plamena,
- nosač bombi.

Bespilotni ultralaki helikopter poseduje sledeće taktičke karakteristike:

- programiranu putanju leta,
- poluautomatsko vođenje na zadataku,
- mogućnost ugradnje sistema naoružanja,
- praktično je bez radarskog odraza i IC zračenja,
- izuzetno nizak nivo buke,
- savremeni link podataka, koji znatno smanjuje mogućnost otkrivanja letelice,
- višestruki sistem bespilotne letelice koji je praćen sa jedne zemaljske stanice.

Sistem zemaljskog upravljanja bespilotnom letelicom FIREBIRD sadrži upravljački komplet sa nizom selektora zadatka sa promenljivim parametrima leta, kao što su visina i brzina. Najsavremenija tehnologija ostvaruje prenos podataka visokog kvaliteta u realnom vremenu i video sliku preko uskog komunikacionog kanala. Osmatračko-kontrolni uređaj upravlja specifičnim funkcijama korisnog tereta.

Prijemnik bespilotne letelice je robustna radna stanica dvostruke name-

ne. Služi za praćenje funkcija letelice putem obrade, snimanja i prikazivanja video slike i senzorskih informacija u realnom vremenu.

Uređaj pruža operatoru važne podatke prilikom obavljanja dnevnih i noćnih zadataka u oblasti akvizicije, ozračivanja ciljeva, borbenog upravljanja i utvrđivanja oštećenja.

Osnovne tehničke karakteristike ultralakog helikoptera

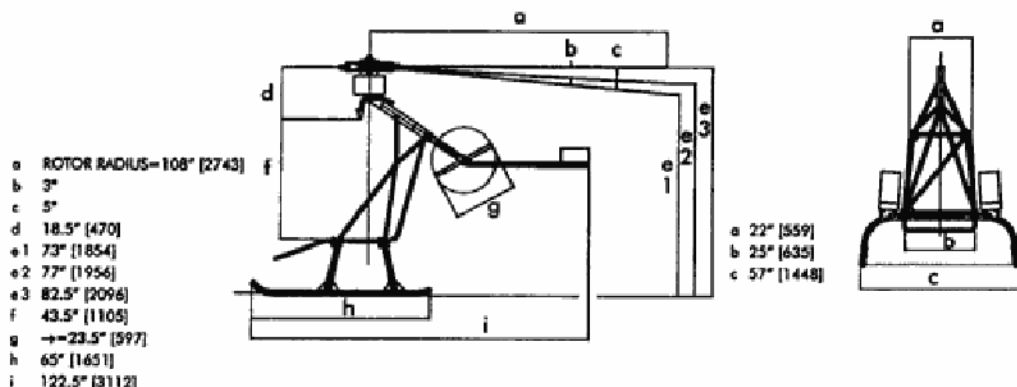
Brzina krstarenja	56 km/h
Maksimalna brzina	160 km/h
Brzina penjanja	650 m/min
Brzina spuštanja (sa ugašenim motorom)	360 m/min
Maksimalni plafon leta	9750 m
Masa prazne letelice	100 kg
Bruto masa	350 kg
Prečnik lopatica rotora	6 m
Potisak motora	17 kgf
Količina goriva	60 l
Količina goriva sa dodatnim rezervoarima	120 l
Autonomija na brzini krstarenja	30 min
Autonomija sa dodatnim rezervoarima	45 min
Vreli sistem	60 min
Potisni motor	240 min

U standardnoj bespilotnoj konfiguraciji helikopter je opremljen CCD kamerom u boji za osmatranje u prednjoj polusferi. Kamera ima video link za pilotiranje i upućivanje navigacionih i letnih podataka. Druga stabilisana platforma sadrži visokoosetljivu CCD kameru u boji koja pokriva polje od 360°. Letelica može biti opremljena raznovrsnim namenskim korisnim teretom:

- termovizijom,
- multisenzorskim platformama,
- sistemima FLIR,
- panoramskim kamerama,
- radarskim izviđačkim sistemima,
- ozračivačima ciljeva,
- mitraljezima i lanserima,
- nosačima bombi,
- PVO raketama,
- dodatnim izviđačkim kontejnerom i sistemom raspodele podataka,
- sistemom za digitalno oblikovanje terena, prikazivanje geografskih podataka i mapa.

Ultralaki helikopter obuhvata i profesionalni komplet zemaljske podrške koji sadrži:

- rezervne mlaznike i katalizatore,
- sistem punjenja gorivom,
- mobilni pogon za proizvodnju vodonik-peroksida,
- simulatore za letačku obuku,
- vozilo za upravljanje i komandovanje,
- programe za računarsko vođenje i nabavku rezervnih delova,
- centre za servisiranje i održavanje.



Ss. 2 — Osnovne dimenzije letelice

Umesto zaključka

U odnosu na dosadašnja rešenja sličnih helikoptera, FIREBIRD predstavlja revolucionarno rešenje, pre svega zbog: uprošćene konstrukcije, jednostavnosti upravljanja, male mase, višestruke namene, niske cene, minimalnog održavanja, jedinstvenog pogonskog sistema koji eliminiše potrebu za složenim, teškim i skupim klasičnim motorima, kao i mogućnosti polovanja i sletanja sa skoro bilo kojeg mesta. Pored toga, ovaj helikopter može poneti teži tovar od bilo koje druge

letelice, u odnosu na svoju masu, vrlo teško se otkriva radarom, IC detektorom ili detektorom zvuka, veoma je stabilan i izvanredno pokretljiv, a može se adaptirati za specijalne namene u većoj meri nego bilo koja druga letelica.

Zbog jednostavnosti konstrukcije sa revolucionarnim tehničkim rešenjem, mogućnostima višenamenske upotrebe, jednostavne obuke u rukovanju i održavanju i niske cene, helikopter FIREBIRD je izazvao veliku pažnju.

Literatura:

[1] FIREBIRD — Modular fling platform H_2O_2 — propeller helicopter, Mr. Elke Müller and Mr. Peter Jeney Zug, July 29, 1997.

[2] Press information Intora Firebird — a new multi-mission helicopter, Brian Nalborough Intora Firebird plc, 4. septembar 1998.

[3] Show news, Farnborough '98. septembar 1998.

MODELI ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA — MAINTENANCE MODELS OF TECHNICAL SYSTEMS

— prikaz monografije —

Na dan otvaranja 43. međunarodnog sajma knjiga u Beogradu iz štampe je izašla up-to-date monografija »MODELI ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA« — MAINTENANCE MODELS OF TECHNICAL SYSTEMS — pukovnika dr Svetomira Minića iz Generalštaba Vojske Jugoslavije, naučnog saradnika Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu i prof. dr Zivana Arsenića, sa Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Monografija je objavljena u izdanju Vojnoizdavačkog zavoda — Redakcije »Vojna knjiga«.

Recenzenti knjige su istaknuli i ugledni naučnici i stručnjaci iz oblasti pouzdanosti, inženjerstva održavanja i efektivnosti tehničkih sistema prof. dr Jovan Todorović i general-major prof. dr Jugoslav Kodžopeljić.

Ova monografija razmatra modeliranje i optimizaciju sistema i procesa održavanja, kao relevantnu oblast inženjerstva održavanja tehničkih sistema, koja se bavi svim pitanjima vezanim za održavanje različitih tehničkih sistema, a posebno problema čije rešavanje zahteva primenu naučnih i inženjerskih metoda. Zasnovana je na osnovnim postavkama inženjerstva održavanja, ali i na teorijskim podlogama i zahtevima za primenom teorij-

skih znanja u rešavanju praktičnih problema održavanja tehničkih sistema.

Inženjerstvo održavanja predstavlja kompleksan prilaz problemima održavanja tehničkih sistema, čiji je cilj postizanje najvećih efekata s teorijskog i praktičnog aspekta, a zadatak obezbeđenje lakog i efikasnog održavanja. Održavanje tehničkih sistema mora biti vrlo brižljivo odmereno i strogo usklađeno sa stvarnim potrebama, jer bi se u protivnom dobili suprotni efekti — znatno smanjila pouzdanost i efektivnost sistema, uz osetno povećanje troškova održavanja. Zbog toga se za optimizaciju održavanja koriste modeli ili uprošćene šeme procesa održavanja koje se opisuju različitim oblicima matematičkih modela. Postupak optimizacije svodi se na optimizaciju definisanog modela procesa održavanja. Modeli održavanja počivaju na pokazateljima pouzdanosti i kriterijumima optimizacije, najčešće minimalnih troškova i maksimalne gotovosti ili na bazi njihovog kompromisa (trade-off). Matematički modeli omogućavaju izradu simulacionih programa kojima se, posredstvom elektronskog računara, prikazuju ponašanja i osobine modeliranog procesa održavanja.

Prikazana su originalna softverska rešenja za simulaciju modela održavanja tehničkih sistema koja su razvijena u CESIL (Centru za efektivnost sistema i logistiku) Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

U monografiji je izvršena sistematizacija teorijskih osnova za razmatranje modeliranja i optimizacije procesa održavanja, prikazana klasifikacija savremenih modela održavanja i razrada najvažnijih modela do nivoa praktične primene na različitim, popravljivim, složenim tehničkim sistemima, korišćenjem elektronskog računara (CAMM — Computer Aided Maintenance Management).

Monografija **MODELI ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA** sadrži sledeća poglavlja:

- Uvodna razmatranja,
- Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema,
- Sistem održavanja,
- Procesi promene stanja i održavanja tehničkih sistema,
- Modeliranje i optimizacija sistema održavanja,
- Programski paket za izbor najpovoljnijeg modela preventivnog održavanja prema stanju.

Nakon uvodnih razmatranja, u drugom poglavlju su analizirani principi inženjerstva održavanja tehničkih sistema. U trećem poglavlju su prikazana svojstva i karakteristike sistema održavanja, pri čemu su posebno analizirane njihove koncepcije, i to koncepcija preventivnog održavanja prema stanju sa proverom parametara stanja tehničkog sistema i koncepcija preventivnog održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti elemenata sistema.

U četvrtom poglavlju dat je prikaz procesa promene stanja i održavanja tehničkih sistema i analizirane su

mogućnosti modeliranja i upravljanja ovim procesima. Na kraju ovog poglavlja autori su definisali pojam optimalnog upravljanja, kao i pojam optimizacionog problema.

U petom poglavlju, pod naslovom »Modeliranje i optimizacija sistema održavanja«, prikazana je klasifikacija modela održavanja, kao i kriterijumi za optimizaciju modela preventivnog održavanja u vezi sa kojima se posebno naglašava postojanje kompromisnog rešenja optimizacije (trade-off). Zatim je dat sistematski pregled modela preventivnog održavanja koji se danas najčešće koriste u svetu, sa odgovarajućim kriterijumima optimizacije, kao i kratak prikaz modela korektivnog održavanja. Pri tome posebno su istaknuti modeli preventivnog održavanja prema stanju, kao najekonomičniji i najperspektivniji vid održavanja tehničkih sistema, a prikazana su i originalna rešenja za njegovu praktičnu primenu.

S obzirom na činjenicu da je jedan od osnovnih problema inženjerstva održavanja izbor najpovoljnijeg modela za određenu vrstu tehničkog sistema i uslove njihovog korišćenja i održavanja, autori su u šestom poglavlju monografije dali rešenje ovog problema u vidu posebnog programskog paketa nazvanog »Dinamički model preventivnog održavanja tehničkih sistema prema stanju« — DMPOPS.

DMPOPS predstavlja dinamičko-stohastički, integralni matematički model koji omogućava optimalno dinamičko upravljanje procesima promene stanja i održavanja tehničkih sistema. Zasniva se na analizi svih najvažnijih modela održavanja prema stanju, i omogućava lakše i efikasnije rešavanje problema izbora najpovoljnije koncepcije i modela održavanja za primenu na različitim tehničkim sistemima. Programski paket ima više modula, tj. skupova aktivnosti modeliranja, koji definišu ciljeve i razvoj osnovnog mo-

delu DMPOPS, eksperimentalni okvir, razvoj dinamičkog modela i algoritam za izbor najpovoljnijeg modela. Algoritam programskog paketa DMPOPS je rešen tako da korisnika neposredno upućuje na model koji za određeni tehnički sistem i uslove njegovog korišćenja i održavanja predstavlja optimalno, tj. »najbolje« rešenje.

Na kraju ovog poglavlja dat je primer primene razvijenog programskog paketa za sisteme održavanja izabranih komponenata motornih vozila. On pokazuje praktičnu vrednost razvijenog programskog paketa za primenu na motornim vozilima i na većini različitih složenih tehničkih sistema u realnom sistemu održavanja. Treba istaći da je razvijen programski paket originalno rešenje autora i predstavlja najveću vrednost ove monografije.

Obrađena poglavlja prikazuju rezultate višegodišnjeg istraživanja i inženjerskog rada autora u oblasti inženjstva održavanja tehničkih sistema, kao i stečenih iskustava koja su ukazala na neophodnost postojanja ovakve monografije, s obzirom na to da ni kod nas ni u svetu ne postoji slična publikacija sa razrađenom metodologijom za praktičnu primenu modela održavanja na tehničkim sistemima.

Monografija predstavlja vredno delo koje, pored sistematskog prikaza postojećih znanja iz područja modeliranja sistema održavanja, donosi nova i originalna rešenja izbora najpovoljnijeg modela preventivnog održavanja prema stanju, prilagođena posebnim osobinama tehničkih sistema i uslovima njihovog rada i korišćenja. Zbog toga se očekuje da će privući pažnju stručnjaka, a posebno inženjera koji rade na održavanju motornih vozila i drugih složenih tehničkih sistema.

Prikazane metode modeliranja procesa održavanja i simulacije na e-

lektronskom računaru, u velikoj meri omogućavaju slobodni eksperiment, a ovakav način rada u nastavi sve više dobija na značaju, jer kod studenata ne podržava »mehaničko« učenje već podstiče aktivan misaoni rad. Takođe, monografija se može koristiti i izvan nastavnog procesa za produblјivanje znanja i osposoblјavanje inženjera i ostalih stručnjaka u oblasti inženjstva održavanja tehničkih sistema, koji rade u tehničkim službama Vojske Jugoslavije, vojnim naučnoistraživačkim ustanovama i istraživačko-razvojnim jedinicama, kao i naučnim institucijama u građanstvu.

Namenjena je vojnim i civilnim sistemima održavanja koji se bave optimizacijom periodičnosti preventivnog održavanja različitih tehničkih sistema, kao što su motorna vozila, vazduhoplovna tehnika, sistemi naoružanja, sredstva veze i elektronike, i dr.

Automatizovanim generisanjem izlaznih podataka simuliranog modela DMPOPS, izvršiocima procesa održavanja na raspolaganju su kvantitativne i kvalitativne informacije relevantne za pravovremeno i efikasno sprovođenje postupaka održavanja. Dinamički model je opšteg karaktera, tj. može se primeniti na različite složene tehničke sisteme. Međutim, za njegovu implementaciju u realnom sistemu održavanja neophodno je da korisnik poseduje kvalitetan informacioni sistem, odnosno baze podataka o radu i održavanju sistema. Primenom odgovarajućeg modela, na osnovu dobijenih rezultata simulacije, može se izvršiti korekcija ranije utvrđenih vremenskih intervala sprovođenja postupaka preventivnog održavanja. Time se ostvaruju značajni efekti — obezbeđuje zahtevana pouzdanost i gotovost i smanjuju troškovi održavanja sistema, što je krajnji cilj korisnika.



prikazi iz inostranih časopisa

SISTEM PVO SOSNA*

Iz iskustava borbenih dejstava raznih oblika lokalnih sukoba, savremena sredstva za napad iz vazdušnog prostora opremljena sistemima oružja visoke tačnosti, uspešno su rešavala postavljene zadatke.

Velika manevarska sposobnost helikoptera i aviona taktičke avijacije, povećanje brzine leta na malim visinama, kratko vreme reagovanja i velika mogućnost protivdejstva u ometanju sredstava PVO, uz nizak nivo intenziteta zračenja, omogućili su im da efikasno napadaju objekte strategijskog i taktičkog značaja protivnika. Takve okolnosti su još jednom istakle poznate nedostatke postojećih sistema PVO, koji obezbeđuju neposrednu zaštitu objekata na poslednjoj liniji PVO.

Prema prihvaćenom mišljenju, uporedo sa samohodnim raketnim i raketno-topovskim sistemima PVO za mala rastojanja, značajnu ulogu u zaštiti objekata od savremenih sredstava za napad iz vazdušnog prostora imaju laki mobilni vučni artiljerijski siste-

mi PVO kalibra 23—30 mm, koji imaju kratko vreme reagovanja, veliku brzinu gađanja i gustinu vatre, pouzdani su i jednostavni u eksploataciji, imaju relativno nisku cenu, visoku efikasnost borbene primene i autonomnost.

Imajući tu činjenicu u vidu veća pažnja posvećuje se modernizaciji postojećih artiljerijskih sistema PVO radi maksimalnog približavanja njihovih taktičko-tehničkih karakteristika savremenim zahtevima, kao i razvoju novih sredstava sa perspektivom upotrebe do 2000—2015. U ove poslednje spada i artiljerijski vučni sistem PVO SOSNA (bor), koji uspešno konkuriše sličnim sistemima na svetskom tržištu naoružanja.

Pri oblikovanju sistema SOSNA korišćeno je iskustvo domaće i inostrane prakse u razvoju i eksploataciji sličnih sistema, nova tehnička rešenja i tehnologije, povećavane su borbene karakteristike dokompletiranjem vođenim raketama PVO malog dometa, kao i termovizorom i sopstvenim pasivnim IC uređajem za otkrivanje cilja, koji se mogu dodatno postaviti radi ostvarenja autonomnosti, dejstva po svakom vremenu, povećane prikrivenosti i povećanja daljine uništenja cilja.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj—jun 1998.

Osnovni sistem SOSNA ugrađen na vučnoj prikolici obuhvata: vatreni modul, sistem za upravljanje, autonomni sistem za elektronapajanje, dopunski borbeni komplet, komplet rezervnih delova i alata. Visina sistema je 2,7 m, dužina 6,8 m a masa osnovne varijante 6300 kg.

Vatreni modul SOSNA ima u nosačima pričvršćenu kolevku sa dvocevnim PA automatom 2A38M s brzinom gađanja od 2400 metaka u minuti, sistem punjenja, magacin sa 300 metaka kalibra 30 mm, kabinu operatora, mehanizme za horizontalno i vertikalno navođenje sa vrlo tačnim merenjem uglova okretanja oruđa u odnosu na bazni sistem koordinata. Primena PA automata 2A38M u svojstvu artiljerijskog naoružanja uslovljena je 1,3 puta dužim vremenom eksploatacije u odnosu na automat 2A38. Povećanje resursa omogućeno je na račun povećanja čvrstoće osnovnih delova i sklopova automata 2A38.

Konstrukcija vatrene modula predviđa mogućnost navođenja na cilj po azimutu pun krug, po mesnom uglu od -50° do $+85^\circ$ i zaštitu operatora od streljačke municije.

Visina vatrene linije pri nultom uglu oruđa po vertikali je 1,8 m. Parametri modula i njegovog naoružanja omogućavaju uništavanje ciljeva u vazdušnom prostoru i na Zemlji — žive sile i lakooklopljenih sredstava.

Sistem za upravljanje sadrži:

- automatski optičkoelektronski modul, koji je postavljen direktno na vatreni modul;

- računarski sistem s originalnim algoritmima za upravljanje sistemima i podsistemima i proveru funkcionisanja;

- komande za horizontalno i vertikalno navođenje;

- komandnu tablu operatora smeštenu u kabini oruđa;

— optički širokopojasni kolimatorski nišan.

Sistem za upravljanje obezbeđuje visoke borbene karakteristike. Automatski optičkoelektronski modul (OEM) velike tačnosti namenjen je za autonomno i automatizovano otkrivanje cilja, automatsko i poluautomatsko tačno praćenje, merenje uglova viziranja cilja i daljine u sistemu koordinata kompleksa i njihovo slanje u računar.

Otkrivanje cilja ostvaruje operator pomoću televizijskog širokopojasnog kanala. Ipak, pri postavljanju na kompleks pasivnog automatskog IC uređaja za otkrivanje i automatsko praćenje svodi ulogu operatora samo na kontrolu. Nakon prelaska na automatsko ili poluautomatsko praćenje cilja, sistem za upravljanje automatski uključuje laserski daljinomer OEM, posle čega se podaci o daljini cilja i uglovi viziranja šalju u računarski sistem. Tačnost merenja daljine do cilja laserskim daljinomerom OEM iznosi 5 m, maksimalna daljina dejstva po avionu i helikopteru nije manja od 12 km, a frekvencija slanja impulsa je 20 Hz. Tačnost merenja uglova viziranja cilja u sistemu sopstvenih koordinata ne prelazi 0,2 mrad.

Za proširenje funkcionalnih mogućnosti SOSNE razvoj njegovog OEM se sprovodi radi mogućeg dokompletiranja termovizijskim kanalom za otkrivanje i praćenje cilja i laserskim kanalom za navođenje na cilj lakih hipervučnih vođenih raketa PVO SOSNA-R sa daljinom gađanja do 8 km. Računarski sistem je osnovni element sistema upravljanja. Primenjeni računar »1B563-36-10«, koji je modifikacija računara »1B563-36-00«, formira signale upravljanja za navođenje OEM i oružja na cilj na osnovu podataka o daljini i uglovima viziranja, određuje da li se cilj nalazi u zoni efikasnog dejstva oružja ili ne, automatski bira režim vatre, uključujući i racionalnu dužinu ra-

fala PA automata i interval među njima, proračunava neophodno preticanje, a ostvaruje i automatsku funkcionalnu kontrolu sistema i daje operatoru preporuke za izbor optimalnog režima rada.

Visok nivo karakteristika sistema SOSNA, pri uništavanju ciljeva u vazdušnom prostoru i lakooklopljenih zemaljskih ciljeva, postiže se:

- visokim stepenom automatizacije procesa borbenih radnji i pripreme za borbenu upotrebu;

- visokom tačnošću izmerenih parametara leta cilja, kao što su daljina i uglovi viziranja;

- povećanom tačnošću navođenja oružja na cilj;

- automatskim zadavanjem parametara gađanja i automatskim izborom oružja;

- mogućnošću poboljšanja karakteristika dokompletiranjem sa četiri rakete PVO tipa IGLA ili sa četiri lake hiperzvučne vođene rakete PVO SO-SNA-R, automatskim termovizijskim kanalom za otkrivanje i praćenje cilja na bazi odabranog termovizora, a takođe pasivnim IC uređajem za otkrivanje ciljeva u vazdušnom prostoru. Moguća je i ugradnja malogabaritnih vođenih raketa PVO STINGER i MISTRAL.

M. Krbavac

NASAMS — NORVEŠKI RAKETNI SISTEM PVO*

Od 1994. godine u naoružanje vojske Norveške uvodi se novi raketni sistem protivvazdušne odbrane (RS PVO)

* Prema podacima iz časopisa ZARUBEZNOE VOENNOE OBOZRENIJE, 8/1998.

srednjeg dometa NASAMS (Norwegian Advanced Surface-to-Air Missile System), koji zamenjuje norveški modernizovani raketni sistem HOK (Norwegian Adapted Hawk). NASAMS je namenjen za dejstvo po ciljevima u vazdušnom prostoru u svim vremenskim uslovima. Da bi se smanjili troškovi razvoja, nije se išlo na razvoj nove protivavionske vođene rakete, radara i stanice za upravljanje vatrom već na modernizaciju postojećih. Zbog toga je za ovaj sistem odabrana američka raketa AMRAAM (AIM-120A) klase vazduh-vazduh, trodimenzionalni radar AN/TPQ-36A i stanica za upravljanje vatrom norveškog modernizovanog raketnog sistema HOK.

Po nizu pokazatelja borbenih mogućnosti NASAMS je bolji od svog prethodnika — modernizovanog sistema HOK: ima veći stepen unifikacije opreme i mogućnost povezivanja sa drugim sistemima; broj ljudstva koje ga opslužuje manji je za 3/4; može istovremeno da prati i gađa veći broj ciljeva; ima kraće vreme reakcije i vreme prelaska iz marševskog u borbeni položaj.

Raketni sistem PVO NASAMS ima sledeće taktičko-tehničke karakteristike: maksimalna granica zone uništenja po daljini — 40 km; minimalna granica zone uništenja po daljini — 2,5 km; gornja granica zone uništenja po visini — 16 km; donja granica zone uništenja po visini — 30 m; maksimalna brzina ciljeva — 1000 m/s; broj kanala po cilju — 3; verovatnoća uništenja cilja jednom raketom — 0,85; vreme reakcije — 10 s; vreme prelaska iz marševskog u borbeni položaj — 15 min; vreme prelaska iz borbenog u marševski položaj — 3 min.

NASAMS koristi modernizovanu američku protivavionsku vođenu raketu AMRAAM (Advanced Medium Range Air-to-Air Missile), izrađenu po ustaljenoj aerodinamičkoj šemi. Upravljanje ovom raketom ostvaruje se kombi-

novanim sistemom vođenja: komandno-inercijalnim na početnom delu trajektorije leta i aktivnim na krajnjem delu putanje leta. Ako ne dolazi do manevrisanja cilja, raketa završava autonomni let uz pomoć inercijalno-mer-nog bloka, koji je izrađen na bazi mi-nijaturnih žiroskopa, a masa mu je oko 1,4 kg. Pri tome se raketa kreće po trajektoriji koja je upisana u me-moriju računara rakete pre lansiranja. U slučaju kada cilj manevriše, sa zem-lje se raketi šalju komande o korekci-ji putanje, zavisno od tekućih koordi-nata cilja. Te komande prima prijem-nik na raketi, čija je antena postavlje-na na njenom zadnjem delu. Zahvat ci-lja sa radarskom glavom za samonavo-đenje (RGS) rakete (njen predajnik je na bazi cevi sa progresivnim talasom) vrši se na daljini do 20 km od tačke susreta, nakon čega se ostvaruje aktiv-no samonavođenje.

Raketa je opremljena fugasno-ras-prskavajućom bojnom glavom mase 22 kg, koja se aktivira aktivnim ra-darskim ili kontaktnim upaljačem. U-pravljanje RGS, kao i formiranje ko-mandi za autopilot i upaljače obavlja se brzim mikroračunarom na raketi, koji ima taktnu učestanost 30 MHz, i kapacitet memorije od 56000 16-bit-nih reči. Raketa koristi dvorežimski motor na čvrsto gorivo, sa smanje-nom količinom dima. Masa rakete je 157 kg, dužina 3,65 m, prečnik tela 17,8 cm, razmah krila 63,5 cm, maksimalna brzina leta 1200 m/s, a dozvoljeno preopterećenje iznosi 40 g. Raketa se čuva, prevozi i lansira iz transportno-lansirnog kontejnera. Komplet od 6 kontejnera smešta se na lansirnom oruđu, ugrađenom na vozi-lu sa povećanom prohodnošću SKA-NIA. Lansiranje rakete obavlja se pri fiksnom elevacionom uglu od 30°. U marševskom položaju transportno-lan-sirni kontejneri sa raketama postav-ljaju se horizontalno. Radi povećanja otpornosti sistema predviđeno je raz-

dvajanje lansirnog oruđa od stanice za upravljanje vatrom na rastojanje do 25 km, pri čemu se veza može organi-zovati posredstvom kabla, optičkog ka-bla ili digitalnom linijom.

Višenamenski radar AN/TPQ-36A obezbeđuje otkrivanje, raspoznavanje i jednovremeno praćenje do 50 ciljeva u vazдушnom prostoru, kao i navođe-nje do tri rakete na odabrane ciljeve. Radom radara upravlja se pomoću ra-čunara stanice za upravljanje vatrom. Fazirana antenska rešetka radara for-mira vretenasti dijagram zračenja sa niskim nivoom bočnih snopova. Radar ima mogućnost kompresije impulsa, selekcije pokretnih ciljeva, promene snage i oblika zračenog signala. Kom-pletna oprema radara instalirana je na prikolici. Taktičko-tehničke karakteri-stike radara su: domet — 75 km (za efektivnu refleksnu površinu cilja 3 m²); opseg radnih učestanosti — 8 do 10 GHz; zona osmatranja po azimutu — 360°, a po elevaciji — 60°; brzina pretraživanja po azimutu — 180°/s; tačnost određivanja koordinata — po daljini 30 m, po azimutu 0,2°, po eleva-ciji 0,17°; sposobnost razdvajanja ci-ljeva — po daljini 150 m, po azimutu 2°, po elevaciji 1,7°; srednje vreme ra-da između otkaza — 300 časova; vre-me postavljanja i pripreme za rad — 10 min.

Informacija o situaciji u vazдуш-nom prostoru (vreme obnavljanja 2 s) prenosi se od radara na stanicu za u-pravljanje vatrom, koja ima dva moć-na računara, pult modularne konstruk-cije sa sistemom indikacije i upravlja-nja, uređaj za prenos podataka i ure-đaje za vezu. Pult ima dva dublirana automatizovana radna mesta sa istim komandama za upravljanje. Svako rad-no mesto opremljeno je sa tri pokazi-vača, od kojih se na dva prikazuje kompletna borbena i situacija u vaz-dušnom prostoru a na trećem — sta-nje i gotovost raketnog sistema. Ope-rator može, pomoću markera azimuta

i pritiskom na dugme za očitavanje podataka, dobiti detaljnu informaciju o pravcu kretanja, brzini i visini bilo kog cilja koji se prikazuju na ekranu indikatora.

Osnovna vatrena jedinica je vod, koji ima tri lansirna oruđa sa po šest raketa u transportno-lansirnim kontejnerima, višenamenski radar sa faziranim antenskom rešetkom, i stanicu za upravljanje vatrom. Osnovna taktička jedinica RS PVO NASAMS je baterija, u čiji sastav ulaze tri voda (što predstavlja komplet od 54 rakete), koji su povezani u informacionu mrežu tako da svaki od tri radara može zameniti bilo koji od ostalih. Komandno mesto baterije (smešta se na jednoj od stanica za upravljanje vatrom) može primiti podatke o cilju od više komande i slati podatke o situaciji u vazдушnom prostoru na nekoliko (do 8) sistema.

Cena razvoja i postavljanja 6 baterija RS PVO NASAMS, do 1999. godine, prema procenama iznosi oko 250 miliona dolara. Predviđeno je da se sve baterije postave u rejone šest osnovnih vazduhoplovnih baza Norveške.

S. Pokorni

MODERNIZACIJA PA TOPA ZU-23*

U naoružanju Rusije, a i drugih zemalja, nalazi se lako vučno PA oruđe ZU-23. Ono se sastoji od dva artiljerijska topa kalibra 23 mm, mehaničkih ručnih komandi za navođenje po vertikali i horizontu i optičko-mehaničkog sistema nišanjenja ZAP-23 i, dodatno, optičkog nišana za borbu sa ci-

ljevima na zemlji. Međutim, ZU-23 nema elektronski brojač, merač elektro-signala za izračunavanje uglova preticanja i povišavanja (daljinomera, tahometra, davača uglova), ni izvršne mehanizme za navođenje naoružanja u zadatak tačku.

ZU-23 opslužuju dva člana posluge, smeštena na radnim mestima obrtnog dela oruđa. Jedan član opslužuje nišan ZAP-23, ručno uvodeći orijentacione podatke o cilju radi okretanja kolimatorskog nišana u odnosu na oruđe, i za davanje uglova preticanja i povišavanja. Drugi član posluge, nišan-



PA oruđe ZU-23

džija, pomoću komande za vertikalno i horizontalno navođenje održava krst končica nišana na cilju i osi cevi automata u pravcu zadate tačke sa tačnošću koja zavisi od unetih podataka o cilju.

Ovo oruđe je jednostavne konstrukcije, i pouzdano u radu i eksploataciji. Ipak, izrađeno šezdesetih godina, u borbi sa savremenom avijacijom, ZU-23 je nedovoljno efikasan i može izvršavati praktično samo zaprečnu a ne i preciznu vatru. Tako, na primer, verovatnoća uništenja aviona koji leti brzinom 200 m/s pri preletanju zone orijentaciono iznosi 0,023.

Zbog velikog broja i visokih eksploatacionih karakteristika oruđa ZU-23, zadatak njegove modernizacije je sve aktuelniji. Pri tome, očigledna je

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, jul-avgust, 1998.

potreba usavršavanja, pre svega sistema za navođenje, sistema za upravljanje baterijom ZU-23 i pojedinim oruđima, kao i uvođenje opreme za gađanje noću.

Iskustva u izradi relativno jednostavnih, ali pouzdanih i efikasnih sistema optičko-elektronskog upravljanja za PA sisteme za blisku borbu omogućavaju modernizaciju ZU-23 na osnovu modulne konstrukcije uvođenih sistema, povećanje borbenih mogućnosti uz obezbeđenje tačnosti pogađanja po niskoletućim ciljevima, uključujući i one malih dimenzija, sa efikasnošću povećanoj na 0,3—0,4.

Modernizovano oruđe ZU-23 sadrži:

- elektromehaničke komande za navođenje po vertikali i horizontu;

- komandnu tablu za navođenje;

- binokularni kolimatorski nišan s ugrađenim minijaturnim uređajem za osmatranje i svetlećim končanicama za rad sa ciljevima na zemlji i u vazдушnom prostoru;

- optičko-elektronski sistem koji čini laserski daljinomer, televizijski kanal, optičko-elektronski sklop (može se dokompletirati za rad noću toplotnopolengacionim kanalom ili sistemom televizije niskog nivoa);

- pribor automatskog zahvata i praćenja (automat za praćenje cilja);

- računar;

- obrtni kontakti uređaj;

- komandnu tablu za upravljanje i indikaciju;

- aparaturu za prijem i realizaciju spoljnog pokazivanja cilja (ARC).

Iz oruđa ZU-23 odstranjuje se nišanski sistem ZAP-23 i radno mesto operatora. Na obrtnoj platformi oruđa montira se optičko-elektronski modul (OEM) i kontejner sa elektronskom aparaturom za upravljanje. Dodatno,

uz ručne komande za navođenje po vertikali i horizontu, dodaju se elektromehaničke komande.

Na radno mesto nišandžije postavlja se komandna tabla za navođenje, upravljanje i indikaciju i binokularni kolimatorski nišan. Pre borbene upotrebe pomoću tastature komandne table za upravljanje i indikaciju, u računar se uvode podaci o meteorološkoj situaciji (pritisak i temperatura okoline, brzina i smer vetra, itd.).

Prema podacima o položaju cilja, osmatrajući kroz kolimatorski nišan, operator pomoću pulta za navođenje navodi oruđe u pravcu cilja i otkrivši ga poklapa krst končica kolimatora sa ciljem. Cilj se nalazi u vidnom polju televizijskog kanala, sa kojeg se slika preuzima na uređaj za osmatranje kolimatorskog nišana. Operator pomoću komandi optičko-mehaničkog sklopa optičko-elektronskog sistema poklapa strob uređaja za osmatranje sa ciljem i pritiska dugme »zahvat« na komandnoj tabli za navođenje. Televizijski sistem prelazi u režim automatskog praćenja i elektrokomande optičko-mehaničkog sklopa počinju da se upravlja pomoću signala automata za praćenje, prelazeći u automatski režim praćenja. Operator uključuje daljinomer. Signali daljine, ugaonih brzina praćenja cilja i mesnog ugla cilja, koji se dobiju od daljinomera i davača ugaone brzine i mesnog ugla optičko-mehaničkog sklopa, dovode se u računar koji formira signale i odgovaraju tekućem uglu preticanja i povišavanja na artiljerijskim automatima. Ti signali se u računaru pretvaraju u signal pomeranja optičkih osa TV kanala i daljinomera u odnosu na ose cevi ZU-23. Automat za praćenje produžava da prati cilj, a ose artiljerijskih automata pravac zahvaćene tačke. Ocenivši daljinu do cilja operator izvodi paljbu u nađanu tačku.

Modernizacijom je, takođe, predviđen režim poluautomatskog navođe-

nja oruđa, a zadržava se i režim ručnog navođenja u slučaju neispravnosti.

Radi poboljšanja borbenih karakteristika, za modernizovani ZU-23 predviđena je mogućnost uvođenja lansiranih uređaja za dve rakete tipa IGLA, STINGER i dr.

Iz dostupnih podataka se vidi da i druge zemlje rade na modernizaciji ZU-23. Poljska uvodi uprošćeni optički nišan i dva lansirna uređaja sa PA raketama A-7 GRAIL (2K 32M, STRELA-2M) sa uređajem za pokazivanje cilja. Ova modernizacija nosi oznaku ZUR-23-2S JOD. U uslovima bez ometanja rakete treba da obezbede uništenje ciljeva u vazdušnom prostoru sa visokom efikasnošću, a artiljerija zaprečnu vatru. U borbi sa zemaljskim ciljevima efikasnost je zadržana na nivou nemodifikovanog oruđa.

Finske kompanije Instrumenti Oy i VAMMAS uvode u sastav ZU-23 optički nišanski sistem za poluautomatsko praćenje cilja, laserski daljinomer, računar, mehanizovane komande za vertikalno i horizontalno navođenje oruđa i niz drugih uređaja. Uglovi preticanja, sudeći po publikacijama, dobijaju se korišćenjem tehnologije prognožiranja utvrđenih koordinata. U vezi s tim, kako se vidi, tačnost utvrđenih koordinata je niža nego u prethodno pomenutoj modernizaciji.

Modernizacija ZU-23, koju sprovodi konstruktorski biro A.E. Nudeljmana, obezbeđuje, uz relativno usložavanje, znatno (za 1,5 puta) povećanje efikasnosti pogađanja vazdušnih ciljeva, povećanje efikasnosti pri dejstvu po zemaljskim ciljevima, smanjenje vremena rada operatora, automatizaciju procesa borbenih radnji, smanjenje posluge za jednog člana, rad noću i centralizovano upravljanje izdvojenim oruđima i baterijom.

STRELJAČKO ORUŽJE KAVROVSKOG ZAVODA*

»Kavrovski mašinski zavod« jedan je od vodećih u Rusiji po proizvodnji bacača granata, streljačkog naoružanja i raketne tehnike.

Sezdesetih godina Zavod je osvojio serijsku proizvodnju ručnih protivoklopnih bacača granata 40 mm tipa RPG-7 višekratne upotrebe i njegovih raznih modifikacija. Primenjena za taj bacač municija sa natkalibarnom bojom glavom omogućava vođenje efikasne borbe sa savremenim tenkovima, samohodnim oruđima i drugim oklopnim sredstvima, uključujući i ona sa dinamičkom zaštitom. Bacači granata RPG-7 su jednostavni za rukovanje i pouzdani u borbenim dejstvima. Kompletirani su sa optičkim i noćnim nišanom.

Početkom sedamdesetih godina Zavod se uključio u konkurs za izradu automata (AEK-971) za novo maloimpulsno zrno 5,45 mm, koje je tih godina proizvedeno u SSSR-u. Kao osnova u razvoju tog prototipa Centralni NTI, usvojio je teoretsku razradu sa izbalansiranim automatikom. Njeno korišćenje omogućilo je da se u potpunosti izmeni impulsni dijagram rada automata. To je znatno olakšalo njegovo zadržavanje na liniji gađanja i povećalo tačnost i grupisanje pogodaka pri automatskoj paljbi. Pri svim ispitivanjima pokazane su primetno bolje karakteristike nego kod drugih učesnika na konkursu. Sva ruska nadležna tela nazvala su ovaj automat oružjem XXI veka.

Poslednjih nekoliko godina radi se na modernizaciji automata AEK-971, izradi pištolja-automata za raznu municiju, revolvera i puškomitraljeza 7,62 mm sa direktnim punjenjem i povećanim vekom trajanja cevi.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj—jun, 1988.

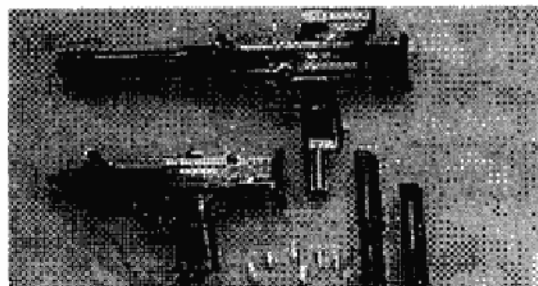
Pištolj-automat AEK-919 KAŠTAN je borbeno automatsko oružje 9 mm za gađanje mecima 9x19PM. Rad automa-



Sl. 1 — Automat AEK-919 KAŠTAN

tike zasniva se na korišćenju energije trzanja slobodnog zatvarača. Cev je urađena sa poligonalnom geometrijom navoja. AEK-919K ima savremeni dizajn i urađen je na visokom tehnološkom nivou. Prema zahtevu može da se kompletira prigušivačem i kolimatorskim nišanom.

Malogabaritni automat 9A-91 je originalne konstrukcije, što zajedno sa primenom specijalne municije CP-5 i CP-6 omogućava postizanje pri maloj masi (1,75 kg bez okvira) snažnog probojnog dejstva, dovoljnog da uništi ciljeve koji se nalaze iza pregrada ili za-



Sl. 2 — Automat 9A-91

štićenih pancirnim prslukom. Automat 9A-91 namenjen je za naoružanje jedinica ministarstva unutrašnjih poslova.

Revolver 9 mm NOSOROG AEK-906 koristi se kao oružje za samoodbranu i za borbu na rastojanjima do 50 m. Razlikuje se od drugih revolve- ra te klase po odličnoj izbalansirano-

sti i grupisanju pogodaka, što je postignuto približavanjem težišta ka osi kanala cevi i snižavanjem linije gađanja u odnosu na ruku strelca. To je



Sl. 3 — Revolver 9 mm AEK-906

posebno važno pri brznoj paljbi, jer se pri opaljenju smanjuje trzaj revolve- ra naviše.

Šezdesetih godina zavod je osvojio proizvodnju mitraljeza 7,62 mm KALAŠNJIKOVA i njegovih modifikacija: PKM — na soški, PKMS — na postolju Stepanova, PKMB — za oklopne transportere. To snažno automatsko oružje namenjeno je za uništavanje žive sile i vatrenih sredstava protivnika. Mitraljez PKM je univerzalan. Iz njega se može gađati i jedinačno iz bilo kojeg položaja. Postavljen na postolje Stepanova omogućava gađanje zemaljskih i ciljeva u vazдушnom prostoru. Koristi municiju sa običnim, pancirno-zapaljivim i obeležavajućim zrnom, kao i zrnom povećane probojnosti. PKM je jednostavan i pogodan za opsluživanje i eksploataciju, a po pouzdanosti i efikasnosti je među najboljima na svetu.

Mitraljez se stalno usavršava u skladu sa povećanim zahtevima. Sada se proizvodi tenkovski mitraljez (PKTM) 7,62 mm povezan sa topom, s kojim ima zajednički nišan. Okida se električno ili ručno.

PKTM se može postaviti i na druga sredstva vojne tehnike, kao što su oklopni transporteri, borbena vozila pešadije, helikopteri i dr. Po svojim

borbenim i eksploatacionim karakteristikama znatno prevazilazi dosadašnje silčne primerke.

M. Krbavac

TENK T-80U-M1 BARS*

Pored razvoja novih tipova vojne tehnike i novih tehnologija, u mnogim državama ozbiljna pažnja se usmerava na modernizaciju postojećeg naoružanja. To se objašnjava prisustvom ogromnih količina tehnike u vojnim jedinicama i tendencijom za smanjenje troškova za kupovinu novog naoružanja. Treba istaći i da je životni ciklus vojne tehnike veoma dug (15 do 20 godina), kao i da je u niz oblasti progres takav da omogućava postizanje poboljšanja borbenih karakteristika bez suštinskih promena oblika objekta.

Tako su, na primer, u tenk T-80, koji je uveden u naoružanje ruske armije 1976. godine, ugrađeni znatni potencijali za modernizaciju. Konceptija povećanja borbenih i eksploatacionih svojstava opredelila je etapnu modernizaciju tenkova te familije. Danas je to tenk T-80U-M1 BARS (PANTER) koji je sačuvao klasičnu šemu komponovanja, po kojoj je osnovno naoružanje razmešteno u obrtnoj kupoli, motorno-transmisiono odeljenje u zadnjem delu tela, posada odvojeno: komandir i nišandžija u borbenom odeljenju a vozač u upravnom odeljenju.

Kao i njegovi prethodnici tenk T-80U-M1 BARS je brzohodan, teško uočljiv na bilo kom zemljištu, sposo-

ban da izvršava marševe na velikim rastojanjima i da se prevozi svim vrstama transporta.

Naoružanje

Raznovrsnost zahteva koji se postavljaju pred tenk i široka nomenklatura ciljeva, kako po stepenu opasnosti za sam tenk, tako i po nivou njihove zaštite, doveli su do potrebe opremanja tenka savršenijim sistemom naoružanja, kojim se obezbeđuje uništenje protivnika na zemlji i u vazдушnom prostoru na udaljenosti do 5000 metara.

Na T-80U-M1 BARS ugrađen je glatkocevni top — lansirno oruđe tipa 2A46M, kalibra 125 mm, stabilizovan u dve ravni. Povećanjem čvrstoće materijala cevi povećana je tačnost pogađanja za 20%. U isto vreme zadržani



Tenk T-80U-M1 BARS

su svi sklopovi i delovi serijske proizvodnje pouzdanog i sigurnog topa 2A46M-1.

Savremeni sistem za upravljanje vatrom 1A45 obuhvata laserski daljinomer, davače brzine vetra, brzine kretanja tenka i cilja, nagiba, temperature punjenja i okoline, kao i tenkovski balistički računar. Taj sistem, zajedno sa unikatnim hodnim delom visoke ravnomernosti kretanja, omogućava efikasnu vatru na ispresecanom zemlji-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, jul—avgust, 1998.

štu, pri brzini od 35 km/h i bilo kom položaju kupole. Po tom parametru tenkovi iz familije T-80U nemaju premca.

Vatrom upravlja nišandžija, ali ugrađena oprema za navođenje i nišanje omogućava komandiru da odredi prioritetni cilj, da nanišani nezavisno od nišandžije i, pritiskom na dugme »pokazivač cilja« na komandnoj tabli, okrene kupolu i poklopi liniju nišanja nišandžije s ciljem, ili potpuno preuzme upravljanje oruđem (režim »dubl«) i uništi cilj.

Sistem omogućava skoro 100%-tnu verovatnoću uništenja oklopnog ili niskoletjećeg cilja, raketom koja se navodi laserskim zrakom na daljinu do 5000 m. Sistem vođenog oružja 9K119 ima povećanu otpornost na smetnje i odlikuje se jednostavnošću vođenja i opsluživanja.

Na tenk se može ugraditi noćni IC nišan nišandžije BURAN, termovizijski nišan ruske proizvodnje (AGA-VA-2) ili inostrani. Postavljanjem termovizijskog nišana nišandžija i komandir mogu gađati vođenom raketom 9M119 i danju i noću.

Automat za punjenje omogućava tempo gađanja od 7 do 9 projektila u minuti. U konvejeru automata za punjenje tenka T-80U-M1 smešta se 28 projektila, (na francuskom LEKLER-KU i na ruskom T-90 — 22 projektila).

Zaštita

Tenk T-80U-M1 je zaštićen od savremenih sredstava za protivtenkovsku borbu primenom:

- kombinovane višeslojne zaštite spoljnih čeonih delova oklopnog tela i kombinovanog sastava kupole;

- sistema dinamičke zaštite tela i kupole koja je ugrađena, kao i dodatnih bočnih oklopa;

- sistema aktivne zaštite ARENA;

— sistema optičko-elektronskog protivdejstva ŠTORA-1.

Primena dinamičke zaštite osamdesetih godina omogućila je znatno povećanje stepena zaštite tenkova od kumulativnih projektila, mada posle eksplozije ugrađene dinamičke zaštite deo površine osnovnog oklopa ostaje nezaštićen. Razrada sistema aktivne zaštite poslednjih 10 do 20 godina provodila se u mnogim zemljama. Ipak, ARENA je jedini sistem doveden do serijske proizvodnje. Nemajući premca u svetu po tehničkim karakteristikama, ovaj sistem je namenjen za zaštitu tenkova od protivtenkovskih granata i raketa, ispaljenih iz svih vrsta pešadijskog naoružanja, kao i od protivtenkovskih vođenih raketa koje lete brzinom od 70 do 700 m/s, nezavisno od sistema vođenja i vrste bojne glave.

Sistem ARENA ugrađen na tenk T-80U-M1 BARS, uključuje se i isključuje sa komandne table komandira, posle čega se sve operacije izvršavaju automatski. Osim rada u osnovnom automatskom režimu, u vanrednim situacijama komandir može rukovati njime i ručno, ukoliko se radi o rušenju prepreka ili stvaranju bliske zaštite od pešadije.

ARENA štiti tenk po svakom vremenu i svim borbenim uslovima, uključujući i kretanje i nišanje, bez obzira na ugao doleta sredstava za uništenje protivnika. Konstrukcija rada i uređaja za obradu informacija, obezbeđuje visok nivo zaštite od smetnji, ne reaguje na lažne i slučajne signale, dejstvuje samo pri pojavi ozbiljne opasnosti ili ako sredstvo za uništenje leti pravo na tenk.

Sistem aktivne zaštite dva puta povećava mogućnosti opstanka tenka, a u slučajevima upotrebe samo lakog protivtenkovskog naoružanja i 3 do 4 puta. Primena aktivne zaštite ARENA, zajedno sa sistemom optičko-elektron-

skog protivdejstva ŠTORA-1 povećava zaštitu tenka za 3 do 5 puta.

Umesto pribora za radiološko i hemijsko izviđanje GO-27, koji je ugrađen praktično u sva ruska oklopna vozila, na tenku BARS je ugrađen sistem koji ima veliku brzinu rada i osetljivost. Tehničko opsluživanje zahteva manji obim radova. Kompaktan je i jednostavniji za eksploataciju. Ugrađena samokontrola omogućava operativnu proveru stanja pribora i informaciju o otkazu osnovnih sklopova.

Automatski protivpožarni sistem obezbeđuje gašenje požara u trajanju od 150 milisekundi.

T-80U-M1 koristi za vezu radio-stanicu R-163-50U i radio-prijemnik R-163UP, koji rade u UKV dijapazonu i režimu zaštićenom od smetnji, u kojem se automatski bira mnoštvo ranije odabranih frekvencija i određuje kanal koji je najslobodniji od smetnji. Postoji kanal za prenos telekodirane informacije i adresne radio-veze.

Pokretljivost i brzina

Tenk T-80U-M1 BARS opremljen je višegorivnim gasnoturbinskim motorom snage 920 kW (1250 KS) sa hidrauličnim prenosom (specifična snaga 20 kW/t), što znatno prevazilazi parametre ruskih a i drugih tenkova, i obezbeđuje visoku pokretljivost i manevarske sposobnosti. Suštinski veća, nego kod dizel motora, rezerva obrtnog momenta isključuje mogućnost zaustavljanja motora pri preopterećenju i smanjuje broj promena stepeni prenosa pri kretanju po ispresecanom zemljištu. Visoke dinamičke i karakteristike ubrzanja omogućavaju brz izlazak iz zona vatrenog dejstva. Tenk se iz mesta ubrzava do brzine od 50 km/h za 17 do 19 sekundi, a »skok s mesta« na 3 do 5 m izvršava za 1 do 2 sekunde.

Iskustva u korišćenju tenka T-80U u borbenim dejstvima pokazuju da su

pojedini tenkovi izdržali do 5 pogodaka projektila i vođenih raketa i produžili izvršavanje borbenog zadatka. U odnosu na njega tenk BARS je jednostavniji i udobniji za upravljanje i opsluživanje. U bližoj budućnosti planira se ugradnja forsiranog motora snage 1030 kW (1400 KS).

Hidraulični prenos je primenjen radi suštinskog povećanja okretnosti, brzine, manevarskih svojstava i pouzdanosti bočnih prenosnika. Povećala se i mirnoća hoda i, na osnovu toga, tačnost pogađanja.

Potrošnja goriva smanjila se za 5 do 10%, a resursi rada agregata su se povećali za transmisiju 30% i hodni deo 50%.

Broj komandi za upravljanje sveden je na minimum. To su upravljač, pedala »gasa« i pedala za kočenje, što omogućava vozaču da usredsredi pažnju na put, zemljište, bojno polje, kao i dužu radnu sposobnost.

Mogućnost primene raznih vrsta goriva (dizel-osnovno, kerozin-zamena, benzin-rezervno), znatno pojednostavljuje tehničko snabdevanje.

Pomoćni gasnoturbinski agregat GTA-18, snage 18 kW, obezbeđuje funkcionisanje svih sistema tenka na stajanci kada osnovni motor ne radi. Takođe, pri izvođenju borbi u odbrani korišćenje ovog pomoćnog agregata znatno smanjuje nivo IC zračenja, što smanjuje verovatnoću otkrivanja tenka pomoću termovizijskih sredstava. Takođe, potrošnja goriva za vreme vojnih manevara znatno je niža nego sa tenkovima opremljenim tradicionalnim motorima bez pomoćnog agregata.

Komfor i ekonomičnost

Pri eksploataciji borbene tehnike u složenim klimatskim uslovima, posebno u rejonima s tropskom klimom i velikom vlažnošću vazduha, kada ne

samo radne, već i životne sposobnosti čoveka postaju otežane, vojna tehnika bez kondicioniranja vazduha naglo gubi svoja borbena svojstva.

Sistem za kondicioniranje vazduha, koji je ugrađen na tenk BARS, ima povećanu pouzdanost pri znatnom mehaničkom opterećenju kao i mogućnost remonta u poljskim uslovima. Klima-uređaj ima individualno razvođenje ohlađenog vazduha do svakog člana posade. Kao rezultat toga hlade se samo radne zone, a ne cela unutrašnjost tenka. Prednosti takvog sistema su ekonomičnost i mogućnost korišćenja ventilacionih prsluka u kompletu sa vatrostalnom odećom. Prisustvo pomoćnog agregata GTA-18 omogućava i uključivanje klima-uređaja na stajanci bez puštanja u rad osnovnog motora.

Na tenkovima familije T-80U mogu se postavljati gusenice za asfalt radi čuvanja putnih pokrivki na marševima po betonskim i asfaltnim putevima.

M. Krbavac

AVIONSKA PROTIVPODMORNIČKA RAKETA APR-3E*

Početkom devedesetih godina izvršen je razvoj avionske protivpodmorničke rakete treće generacije APR-3E. Ona je rezultat razvoja osnovnih principa brzog dejstva, kao što su: pretraživanje i otkrivanje cilja praktično u bešumnim uslovima, forsirano približavanje i uništenje cilja pre početka protivdejstava.

U konstrukciji i sistemima rakete realizovan je niz originalnih rešenja i najnovijih dostignuća nauke i tehnologije. Tako, na primer, u višekanalnom hidroakustičkom sistemu za otkrivanje i pelengaciju (SOP) rakete APR-3E prvi put su primenjeni novi prostorno vremenski korelacioni načini obrade prijemnih signala, uz korišćenje specijalnih sonde sa azimutnom frekventnom modulacijom. Korišćenje sličnih sonde dovodi do toga da se spektar reverberacije (odbijanja) čini širim od spektra signala podmornice — cilja i to zajedno sa razlikama prostorno korelacionih funkcija reverberacije i podmornice omogućava pouzdanu zaštitu od smetnji. Istovremeno, obezbeđuje se visoka otpornost na šum u odnosu na radne smetnje i automatska zaštita od sredstava hidroakustičkog protivdejstva.

U algoritmu rada SOP realizovana je stabilizacija cilja prema udaljenosti, po uglu u horizontalnoj i vertikalnoj ravni, plivajući ciklus po zračenju i promena dužine trajanja sondiranja sa distance. Realizacija tih tehničkih rešenja omogućila je suštinsko poboljšanje karakteristika SOP.

Na raketi je prvi put razrađen i primenjen koncept navođenja s adaptivnim uglom otklona. U procesu navođenja rakete na cilj automatski se određuje vrednost uvođenog ugla, koji se koriguje sa približavanjem cilju. Uvođenje ugla u dve ravni ostvaruje se na račun okretanja ose dijagrama usmerenosti akustičke glave elektronskim putem.

Realizacija metode navođenja s adaptivnim uglom omogućila je smeštanje centra grupisanja pogodaka rakete na centar podmornice.

Sistem upravljanja raketom APR-3E urađen je sa žiroskopskim »trim-roll« senzora sa tri stepene slobode, tako da funkcioniše u svim fazama kretanja rakete. Jedan senzor generiše signale za upravljanje kretanjem, a drugi za stabilizaciju ugla rakete pri

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj—jun, 1998.

kretanju. Takav žiroskopski uređaj prvi put je korišćen u razvoju sistema za upravljanje rakete, s tim što su obezbeđeni stabilizacija u zemaljskom sistemu koordinata, smanjeni štetni uticaji refleksije sa dna i površine vode i održana operativnost žiroskopa u uslovima upotrebe turbomotornog pogona.

U sistemu elektronapajanja ugrađene aparature rakete, uporedo sa korišćenjem ampule-baterije velike snage, prvi put je razrađen i primenjen molekularni akumulator. To je omogućilo uvećanje korišćenja električne energije generatora za sondiranje impulsa SOP za 7 puta, uz znatno manje dimenzije akumulatora.

Razrađeni za raketu APR-3E, podešavajući turbovodeni motor na visokokalorično čvrsto gorivo nema premca u praksi.

Radi smanjenja uticaja strukturalnih šumova motora, koji prodiru na akustičku glavu SOP preko tela rakete, telo rakete i mesta za pričvršćivanje akustičke glave napravljeni su od materijala koji upijaju šumove. To je obezbedilo rad SOP pri radu turbomotornog uređaja.

Raketa se konstruktivno sastoji od odvojenih odseka, koji su međusobno spojeni pomoću klinastih držača. Na nosni deo postavljen je metalni zaštitnik antenske rešetke akustične glave SOP od udarnih opterećenja u momentu privodnjavanja. U odseku za pribore nosa rakete smešten je SOP, koji se sastoji od akustičke glave i automata sistema za navođenje.

Akustička glava je ravna višeelementna primopredajna antenska rešetka čiji su hidrofonij objedinjeni u grupe za formiranje kanala za zračenje i prijem. Dijagram usmerenosti po zračenju i sektor vidljivosti po prijemu mogu se transformisati u zavisnosti od uslova rada rakete. U akustičkoj glavi rakete nalaze se, takođe, elektronski blok akustičkog nekontaktnog da-

vača cilja i njegovi hidrofonij, kao sastavni delovi upaljačkog uređaja rakete. Automat sistema za navođenje je elektronski blok koji formira sondne pošiljke i obrađuju prijemne signale.

U odeljku bojne glave smešteni su eksplozivno punjenje i osiguravajući i izvršni mehanizam upaljačkog uređaja, koji aktivira eksplozivno punjenje po komandama nekontaktnog i kontaktnog davača cilja.

U centralnom odseku za pribore smešteni su pribori sistema za upravljanje, automatike rakete, elektronapajanja i konektor za elektronske veze sa sistemima nosača.

Odsek motornog pogona sadrži gasni generator sa punjenjem čvrstog goriva i turbinskopumpni agregat. Na prednjem delu tela motora smešteni su nosači za postavljanje na nosač rakete. Sa motorom se veže krmeni odsek pribora u kojem su razmešteni blokovi automatike i elektrokomande upravljača. U odseku su smeštena četiri stabilizatora sa upravljačima, odgovarajuće razmeštenim u horizontalnoj i vertikalnoj ravni. Krmeni odsek se završava priрубnicom za pričvršćivanje odseka za kočenje. Odsek za kočenje sastoji se od tela sa mehaničkim delovima padobranskog sistema i uređaja za njegovo aktiviranje, odvajanje u momentu privodnjavanja i veze s helikopterom-nosačem pri primeni rakete u visećem režimu.

Raketa APR-3E namenjena je za uništavanje savremenih i perspektivnih podmornica u podvodnom (na dubinama do 800 m), periskopskom i nadvodnim položajima, kao i površinskih brodova na svim akvatorijama.

Pri otkrivanju podmornice i donekud odluci za njeno uništenje na nosaču se obavljaju pripreme rakete za njenu borbenu upotrebu. Nosač zauzima borbenu kurs i unose se podaci o režimu leta i parametrima kretanja cilja. Raketa se prevodi na sopstvene izvore napajanja, a u njenom sistemu

upravljanja formira se i prenosi na nosač uopšteni signal gotovosti po kojem se vrši odbacivanje. Pri letu APR-3E kroz vazduh provodi se njena stabilizacija po nagibu, otvaranje kočionog padobrana i odvajanje u momentu privodnjenja kočionog odseka i zaštitnog omotača.

Raketa ulazi u vodu i zaronjava stabilizujući se po kursu i nagibu. Na dubini od približno 20 m skidaju se stepeni zaštite i dovodi u gotovost uređaj za opaljenje. Pri traženju cilja do dubine 200 m raketa zaronjava po spirali bez uključivanja motornog dela.

Kada je cilj otkriven uključuje se motor i vrši se energično zblizavanje s podmornicom i njeno uništenje. Ako cilj nije otkriven, po završetku rada motora raketa se sama uništava.

Za potrebe eksploatacije raketa APR-3E predviđen je komplet opreme stacionarne tehničke pozicije STP-3E, stanica za automatsku kontrolu AKIPS-3.2, komplet sa rezervnim delovima i osnovnim blokovima, te kompleti pomagala za obuku, uključujući presek rakete APR-3R i kompleksni imitator za obuku A4.

Osnovne karakteristike rakete APR-3E

Masa (kg)	525
Prečnik (mm)	350
Ukupna dužina (mm)	3700
Dubina ronjenja (m)	do 800
Brzina uronjavanja (km/h) (m/s):	do 65 (18) u I položaju pogona oko 100 (28) u II polož. pogona
Sistem vođenja	akustički
Radijus dejstva (m):	
— pri pretraživanju	1800—2000
— pri napadu	800—1200
Rezolucija (signal/buka)	0,2—0,3
Tačnost orijentacije (°)	1,5—2,0
Eksplzivno punjenje — ekvival. TNT (kg)	74
Verovatnoća uništenja cilja sa MRS greškom u određivanju cilja 300—500 m	0,9
Vreme izvršenja borbenog zadatka (min)	1—2

M. Krbavac

MINI ROBOTI ZA IDENTIFIKACIJU HEMIJSKIH AGENSA*

Istraživači firme »Sandia National Laboratories« rade na »prvom velikom izazovu« postavljenom u okviru projekta koji u toku ove godine finansira Ministarstvo energije SAD. Naime, ve-

ruju da će u naredne tri godine moći da demonstriraju uređaj veličine malog palmtop-računara (veličine dlana) koji će moći da detektuje eksplozivne materije i hemijske agense. Oni veruju da će za 5 do 10 godina, isti uređaj biti u stanju da simultano detektuje nekoliko stotina vrsta tečnosti i gasova.

Rešetke ove »laboratorije u jednom čipu« mogle bi biti montirane na minijaturno robot vozilo koje bi patroliralo po bojnom polju i slalo rana

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 6/1998.

upozorenja na napad. Ključ za postizanje ovakvih performansi, uz prihvatljivu cenu, nalazi se u minijaturizaciji koja bi omogućila masovnu proizvodnju malih uređaja koji bi radili brzo i pouzdano, a istovremeno bili vrlo laki i jeftini. Zahtevani nivo osetljivosti i selektivnosti postizao bi se uz primenu višestrukih paralelnih kanala za separaciju, smeštenih praktično u samom minijaturnom uređaju.

Istraživanja koja su potrebna da bi se napravila jedna takva hemijska mikrolaboratorija zalaze često u oblasti gde se rešenja mogu naći samo pomoću dobre intuicije i originalnih ideja. Tako, na primer, iskustva pokazuju da tečnosti nemaju turbulenciju ako se kreću kroz uske kanale čija je debljina manja od debljine dlake. U tom slučaju viskozitet tečnosti ima odlučujuć uticaj na kretanje i zbog malog otpora može biti transportovana »elektronskim pumpanjem« kroz stakleni mikrokapilar. Mali naboj na zidovima kapilara prouzrokuje stvaranje suprotnog naboja u rastvoru i njegovo nakupljanje na krajevima zidova. Priključivanjem na napon indukuje se struja koja prouzrokuje uzdužni protok mase tečnosti. Kvalitetna separacija obezbeđuje se tako što čeona ivica tečnosti ostaje oštra, tj. ne dolazi do razlivanja do kojeg bi dolazilo da se tečnost kreće pod pritiskom. Stvaranje mešavina u rastvoru može se sprečiti mikrokanalima i diskretnim punjenjima.

Ovakvom tehnikom separacije, nepoznati uzorak može se analizirati u višestrukim paralelnim kanalima u kojima se nalaze kuglice ili sitna tela sličnog oblika, pomoću kojih se povećava aktivna površina.

Uvodeći uzorak u različite rastvore i posebno nanešene slojeve može se izmeniti vreme zadržavanja (analize) za različite komponente, stvarajući na taj način specifičnu signaturu kao »otisak prsta« za mešavine koje su od interesa. Specijalnim laserima za povr-

šinsku emisiju sa vertikalnom kavitacionom šupljinom (VCSEL — Vertical Cavity Surface Emitting Laser), koji je razvila firma »Sandia«, može se izvršiti detekcija uzoraka označenih fluorescentnim bojama. Takvi mikrolaseri veličine tačke mogu se konstruisati u obliku rešetke i primenom različitih materijala koji omogućavaju proizvodnju laserskih zraka različitih talasnih dužina. Svaka talasna dužina može da obezbedi specifične hemijske informacije.

Za detekciju gasova koriste se različiti pristupi. Prvi način predstavlja dovođenje uzorka u kontakt sa mikroporoznim filmom koji se zatim zagreva do njegovog raspršivanja. Za ovaj vrlo brzi desorpcioni proces, uz korišćenje vrlo male snage, potrebno je hiljadu puta manje vremena nego za klasični postupak zagrevanja. Rezultat ovog procesa jeste da mali puls gasa teče u cevčicu dužine do 1 m umotan u prostor zapremine manje od 1 cm³, čime se obezbeđuje prostor za separaciju. Odatle separirani gas odlazi na senzor u obliku rešetke »presvučene« površinskim akustičnim talasom (SAW — surface acoustic wave). Različita apsorpcija koju obezbeđuju različite spomenute »presvlake« (koja se očituje u frekventnom pomaku — odstupanju frekvencije) stvara »otisak« koji je karakterističan za svako hemijsko jedinjenje. Prednost ovakvog postupka je u tome što se osetljivost SAW senzora povećava sa smanjenjem njihove veličine. Sistem sa faznom gas-analizom će u početku koristiti dostupne komercijalne pumpe i ventile. Međutim, istraživači ispituju mogućnost primene novih konstrukcija sa minijaturnim komponentama. Ova vrsta komponentata koristi prednosti fenomena kao što je površinska napetost (napon) koja je dominantna u domenu fizike mikročestica.

Istraživači firme »Sandia« takođe rade na razvoju tehnika kooperacije između distribuirane osetljivosti i po-

našanja neke koncentracije agensa. Senzori se nalaze na fiksnim lokacijama ili montirani na malim pokretnim platformama u obliku »mehaničkih buba« koje se kreću u grupama i koje mogu da komuniciraju radi određivanja lokacije i kretanja sumnjivih hemikalija ili hemikalija koje predstavljaju potvrđenu opasnost.

Pre dve godine izrađeno je prvo autonomno minijaturno robotičko vozilo (platforma) (MARV — Miniature Autonomous Robotic Vehicle) od sasvim jeftinih delova. Ovaj uređaj, zapremine samo 16 cm³, napaja se iz para baterija za kamere. Sada se radi na drugim pokretnim platformama sa većom mobilnošću, višom »inteligencijom« i mogućnošću međusobne kooperacije. U toku su simulacije koje će biti verifikovane na maloj grupi pokretnih platformi zasnovanih na konceptu

poznatom pod nazivom RATLER. Radne verzije ovih pokretnih platformi biće pokretane laganim foto-naponskim jedinicama male snage.

Tri glavne komponente mikrohemijske laboratorije firme »Sandia« za faznu gasnu detekciju i analizu su dovoljno male da se lako mogu smestiti u unutrašnjost mahune graška. Komponenta koja se vidi na slici na levoj strani je rešetka senzora sa površinskim akustičnim talasom. U sredini slike nalazi se prekoncentrator koji adsorbuje ili adsorbuje raspršene hemijske čestice. Na desnoj strani slike nalazi se minijaturni cevasti gasni hromatograf u obliku tankog kompakt diska. Sve zajedno ove komponente skupljaju, koncentrišu i analiziraju sićušan hemijski uzorak čija je masa manja od mase jedne bakterije.

M. Savanović



tehničke novosti i zanimljivosti

PLANOVI NATO ZA RAZVOJ VIŠECEVNIH RAKETNIH SISTEMA VEĆEG DOMETA*

Pet članica NATO (Francuska, Nemačka, Italija, Velika Britanija i SAD) formulisalo je svoje zahteve za novu vođenu raketu višecevnog vođenog raketnog sistema (GMLRS — Guided Multiple Launch Rocket System) koja će imati veći domet i preciznost.

Standardna raketa kalibra 227 mm, koja se lansira iz višecevnog raketnog lansera, imala je oznaku M26 i maksimalni domet od 31,6 km. Ova raketa nosila je u sebi 644 bombice oznake M77 u vidu poboljšane konvencionalne municije dvostruke namene (DPICM — Dual Purpose Improved Conventional Munition) koje nisu bile opremljene mehanizmom za samouništenje.

Nova raketa višecevnog raketnog sistema biće vođena, nosiće submuniciju opremljenu mehanizmom za samouništenje i imaće domet od 70 km.

Očekuje se da će SAD ove godine sa nosiocem proizvodnje i finalizato-

rom — firmom »Lockheed Martin Vought Systems« sklopiti ugovor za razvoj i osvajanje proizvodnje rakete. Biće to međunarodni konkurs za većinu podсистема ove vođene rakete, kao što su: bojna glava, raketni motor, sistem za vođenje, sistem za upravljanje i sve ostale pomoćne električne i mehaničke sisteme.

Prethodno planirani evropski program za produženje veka upotrebe ovakvih sistema koordinirala je Agencija za održavanje i podršku NATO sa sedištem u Luksemburgu. Konačna konfiguracija ovog sistema još uvek nije definisana, ali je jasno da će novi sistem za upravljanje vatrom zavisiti od zahteva koje će postaviti sve članice NATO koje imaju višecevne raketne lansere kao što su: Danska, Francuska, Nemačka, Grčka, Italija, Norveška, Turska i Velika Britanija.

Sjedinjene Američke Države spremne su, takođe da svoje višecevne raketne lansere opreme usavršenim sistemom za upravljanje vatrom i usavršenim mehaničkim sistemom. Novi sistem za upravljanje vatrom imaće novi panel za upravljanje vatrom, uređaj za memorisanje i navigacijski uređaj za određivanje položaja.

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, February 1988.

Novi mehanički sistem lansera obuhvataće modifikacije električnog i hidrauličnog sistema koje će omogućiti smanjenje vremena odziva sistema na 1,5 minuta.

Evropski kupci imaju u vidu usvajanje američkih modifikacija, ali još uvek razmatraju mogućnost razvoja evropskog rešenja. Evropske članice NATO su do sada proizvele više od

100 000 raketa i 284 lansera u koje su ugrađeni sistemi za upravljanje vatrom firme »GEC Marconi« koje su projektovale Amerikanci.

U okviru svog programa opremanja, holandska vojska je već naručila 22 višecjevna raketna lansera direktno od Amerikanaca, a planiraju i naručivanje raketa dugog dometa.

M. S.

TENK T-84*

Ukrajinski tenk T-80UD nastao je sredinom osamdesetih godina, a serijski se proizvodi od 1985. godine. Zbog

nastale situacije i otkazivanja vojnih državnih zahteva, početkom devedesetih godina nužno je bilo izvršiti korenite promene u iznalaženju novih proizvodnih veza u okviru Ukrajine radi

Osnovne karakteristike tenka T-84

Borbena masa (t)	46
Broj članova posade	3
Motor	6TD2
Specifična snaga motora (kW/t)	19,2
Specifični pritisak na tlo (kg/cm ²)	0,93
Maksimalna brzina (km/h)	65—75
Prosečna brzina (km/h)	45
Akcioni radijus po dobrom putu (km)	540
Akcioni radijus po lošem putu (km)	350—400
Savlađivanje prepreka:	
— uspon (°)	32
— nagib (°)	25
— rov širine (m)	2,85
— vertikalni zid visine (m)	1
— voda gazom bez pripr. (m)	1,8
— voda sa pripremom (m)	5
Naoružanje:	
— top	125 mm glatkocevni
— lanser	2A46M1 ili KVA-3
— broj projektila (kom.)	43 (od kojih 28 u konvejeru)
— PA mitraljez	12,7 mm NSUT
— spregnuti mitraljez	7,62 mm PKT
Eksplozivni reaktivni oklop	ugrađen
Optičko-elektronski sistem za protivdejstvo	STORA-1

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, jul—avgust, 1998.

produžavanja serijske proizvodnje. Danas tenkovi T-80UD imaju poboljšanu

oklopnu zaštitu, usavršen sistem za upravljanje vatrom, a svi sistemi, uključujući i motor, uspešno funkcionišu pri temperaturi okoline od -40 do $+55^{\circ}\text{C}$.

Na osnovu serijskog tenka T-80UD 1990. godine razrađen je tenk T-84, koji pored ranijih rešenja kao što su ra-

-pakistansko-kineskog srednjeg tenka.

Radi zadovoljenja hitnih operativnih potreba pakistanske armije, avgusta 1996. godine ugovorena je isporuka 320 srednjih tenkova T-80UD iz Ukrajine, u vrednosti 580 miliona dolara. Početkom 1997. godine isporučeni su prvi tenkovi sa zaliha, i od tada teku dalje isporuke.

Pakistan je u oktobru 1988. godine započeo višefazni program razvoja novog srednjeg tenka sa kineskom firmom NORINCO. Program je predviđao modernizaciju postojećih tenkova T-59, naoružanih topom 100 mm, montažu tenkova T-69-II, opremljenih topom 105 mm, kooperaciju u proizvodnji tenkova T-85-IIAP sa topom 125 mm i proizvodnju novog borbenog vozila nazvanog MBT 2000. Ovaj tenk bi imao posadu od tri člana i automatski punjač topa.

Ceo program je pretrpeo niz kašnjenja, naročito po pitanju razvoja tenka MBT 2000 koji tek treba da uđe u serijsku proizvodnju.

Smatra se da je jedna od problematičnih oblasti šasija vozila, naročito pogonska grupa koju su konstruisali i proizvode Kinezi. Za potrebe ispitivanja jedan prototip tenka, koji je NORINCO označio kao T-90-II, bio je opremljen evropskom pogonskom grupom sa dizel motorom PERKINS V12 od 883 kW (1200 KS) i francuskim automatskim menjačem SESM ESM 500.

Ukoliko se ukrajinski program nastavi, moguće je da će kupole za MBT 2000, koje isporučuje NORINCO, pakistanska strana integrisati na šasije T-80UD koje isporučuje ukrajinska fabrika.

T-80UD je sličan ruskom tenku T-80U, ali poseduje ekonomičniji dvotaktni dizel motor 6TF od 810 kW (1100 KS), a postoje i snažnije verzije ovog motora.



Tenk T-84

ketno-topovsko oruđe, automat za punjenje, PA mitraljez s daljinskim upravljanjem, ugrađena dinamička zaštita i dvotaktni dizel motor, dobija snažniji motor (1200 KS), sistem za optičko-elektronsko protivdejstvo, modernizovan sistem za upravljanje vatrom sa termovizijskim nišanom, zavarovaljano kupolu s povećanim zaštitnim svojstvima, mogućnost primene municije povećane snage, opremu za savlađivanje vodene prepreke gazom do dubine 1,8 m bez pripreme, transmisiju sa bržim prenosom hoda unazad, gusenicu za asfalt i dr.

M. K.

POČETAK TRIPARTITNOG TENKOVSKOG PROGRAMA*

Ukrajinska fabrika »Mališev« u Kijevu započela je radove na tehničkim aspektima zajedničkog ukrajinsko-

* Prema podacima iz časopisa JDW LAND FORCES, 1/10/96.

D. M.

PROTOTIP GRČKOG BVP*

Grčka industrija vozila ELBO, Hellenic Vehicle Industry, razvila je potpuno novo gusenično borbeno vozilo pešadije (BVP) KENTAURUS. Izrađen je i prvi prototip, a javna prezentacija očekuje se krajem godine.

KENTAURUS je zasnovan na porodici oklopnih vozila sposobnih da ispune širok dijapazon borbenih zadataka. Telo vozila čini zavarena čelična konstrukcija koja sa čeonih strana pruža zaštitu od dejstva pancirnih potkalibarnih projektila 25 mm sa udaljenosti od 400 m. Takođe, štiti od dejstva metaka 7,62 mm u krugu od 360°. Pošto je zahtevan veći nivo zaštite, dodatni oklop će biti ugrađen na telo i kupolu. Protiv direktne vatre oklopno telo pruža efikasnu zaštitu i od dejstva parčadi razornih projektila 155 mm.

Pogonska grupa sadrži nemački turbopunjeni dizel motor MTU 6V 183 TE22 V-90 hlađen vodom, snage 305 kW pri 2300 obrtaja i automatsku transmisiju tipa ZF LSG 1000, sa 6 stepeni prenosa i ugrađenim sistemom za upravljanje i hidrauličkim kočnicama.

Prototip vozila KENTAURUS biće opremljen niskoprofilnom kupolom Type E8 za jednog člana, razvijenoj u nemačkoj kompaniji KUKA. Osnovno naoružanje podrazumeva top 30 mm MAUSER Mk30F, koji će se za nekoliko godina proizvoditi u Grčkoj, sa 200 metaka spremnih za gađanje i 200 u rezervi. Nišandžija može izabrati jedinačnu ili rafalnu paljbu.

Ostala oružja — top 30 mm BUSHMASTER (kompanije Boeing) može se ugraditi umesto topa MAUSER. Mitraljez 7,62 mm MG3, izrađen u ELBO-u, koaksijalno je povezan sa osnovnim naoružanjem, ima 500 metaka spremnih za gađanje i još 500 u rezervi.

U osnovi kupole ugrađen je dnevno-noćni nišanski sistem koji se može zameniti i drugim modelom. Pored toga, BVP ima dvoosno stabilisanu senzorsku platformu koja uključuje drugu generaciju IC uređaja (IC-CCD), termalni nišan OPHELIOS, CCD kameru, laserski daljinomer, integralne senzore, sisteme za stabilisanje oružja i digitalni računar za kontrolu vatre. Monitor je namenjen za nišandžiju, a po potrebi se može ugraditi i dodatni za komandira vozila.

Ostale opcije kupole uključuju laserski sigurnosni sistem sa indikatorima i integrisanim upravljačkim i kontrolnim sistemima, šine lansera za dve rakete Z — V »ispali i zaboravi« STINGER i daljinsku kontrolu kupole preko džojstika i monitora, što omogućava povećanje prostora za pešadiju unutar vozila sa 8 na 10 članova, tako da vozilo prima ukupno 12 ljudi.

Kompanija ELBO licencno je proizvela i verziju austrijskog guseničnog BVP Steyr-Daimler-Puch 4K 7FA pod nazivom LEONIDAS. Biće izrađeno ukupno 500 vozila, od kojih je 150 namenjeno Kipru. ELBO je, takođe, potpisao sporazum sa Steyr-Daimler-Puch o proizvodnji verzije borbenog vozila pešadije ASCOD pod nazivom ALEKSANDROS.

V. R.

NOVA ITALIJANSKA KUPOLA ZA BVP*

Kompanija OTO Breda razvila je kupolu OTO T60/70A 60 mm kako bi ispunila zahteve za poboljšanje sistema oružja za uništenje lakih oklopnih vozila ili borbenih vozila pešadije.

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, mart, 1998.

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, februar, 1998.

Poslednja generacija borbenih vozila pešadije nije opremljena samo topovima velikog kalibra, nego je i bolje zaštićena, posebno na čeonom delu. Primarna uloga sadašnjih i budućih BVP je uspešno neutralisanje ciljeva, kao što su npr. bunker, lakooklopljena vozila i helikopteri.

Kupolu čini zavarena čelična konstrukcija koja pruža zaštitu od mitraljeza 14,5 mm i parčadi granata. Osnova kupole ima masu 5000 kg, ali može se opremiti dodatnim slojem pasivnog oklopa za povećanje zaštite od dejstva pancirnih projektila 35 mm.

Nišandžija je smešten na desnoj, a komandir na levoj strani u kupoli.

Osnovno naoružanje podrazumeva top OTO Breda 60 mm sa ožljebljenom cevi (oznaka je HV 60/70), koji ima autofretovanu cev dužine 4,2 m. Maksimalna dužina trzanja iznosi 270 mm, a sila trzanja je 9000 N. Cev je opremljena ekstraktorom dima, ali nema gasnu kočnicu.

Razvijene su dve vrste municije razorno obeležavajuća (HE-T) i potkalibarno obeležavajuća (APFSDS-T). Obe imaju mesinganu čauru. Opaljenje se obavlja električnim putem, a metak se može ispaljivati svake dve sekunde. U kupoli se nalaze dva spremnika za municiju. Projektili APFSDS-T imaju masu 850 g i početnu brzinu 1680 m/s, kao i povećan odnos l/d penetratora. Nema podataka o karakteristikama penetracije, ali metak može da probije čelični oklop debljine 120 mm pod uglom od 60°, sa daljine od 2000 m. Metak HE-T ima masu 7,4 kg i početnu brzinu 1000 m/s. Masa projektila je 3,07 kg, ima upaljač sa tri funkcije i efikasnost na površini $\approx 660 \text{ m}^2$.

Komandir ima na raspolaganju dvoosno stabilisani panoramski nišan GALILEO. Kao opcija može se ugraditi IC termalna kamera druge generacije. Komandir, takođe, ima pet periskopa za dnevno osmatranje, a nišandžija dva.

Kompjuterizovani sistem za upravljanje vatrom sastoji se od nišana i monitora za komandira, displej-panela, elektronike za automatsku kontrolu punjenja, kutije za distribuciju i kontrolu, senzora azimuta i kupolnog i topovskog žiroskopa.

Koaksijalni mitraljez 7,62 mm spregnut je sa topom, a slično oružje može se postaviti na kupolu za potrebe PA borbe. Četiri lansera (bacača) granata 76 mm montirana su sa bočne strane kupole za gađanje unapred, a posle izbacivanja granata može se postaviti kontejner za dimne granate.

U kupolu može da se smesti 32 metka 60 mm (16 + 16), 200 metaka 7,62 mm za mitraljez, 100 metaka za PA mitraljez i oko 1000 metaka 7,62 mm u rezervi.

Za potrebe ispitivanja kupola T60/70A ugrađena je na prototip guseničnog BVP Dardo HITFIST, koji je razvijen za italijansku armiju. Ukoliko je potrebno na kupolu se može ugraditi i lanser protivtenkovskih vođenih raketa TOW.

Kupola T60/70A može se ugraditi na veliki broj šasija — guseničnih ili točkaških, mase preko 10 tona, kao što su npr. ruski BMP-1, američki BMR 600 6x6, švajcarski MOWAG PIRANHA 6x6 i 8x8, Alvis Vehicles Stormer, američki M113 ili GKN Defence Warrior.

V. R.

OKLOPNO REMONTNO-EVAKUACIONO VOZILO BREM-80U*

Uspeh borbenih dejstava tenkovskih jedinica u velikoj meri zavisi od efikasnosti održavanja naoružanja i

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj—jun 1998.

oklopne tehnike. U nedostatku proizvodnih pogona i stacionarne opreme za održavanje u prednjim ešelonima, najvažniji elemenat u održavanju predstavljaju vozila za kompleksan remont i evakuaciju oklopne tehnike. Kod većine zemalja koje proizvode tenkove za takve potrebe proizvode se višenamenska oklopna remontno-evakuaciona vozila — BREM.

Do nedavno je takvo vozilo u ruskoj vojsci bilo BREM-1, izrađeno na bazi tenkova T-72. Uvođenjem u naoružanje tenkova T-80U pri njihovoj eksploataciji, javljaju se poteškoće zbog složenijeg materijalno-tehničkog obezbeđenja tenkovskih jedinica. Osim toga, tehničke karakteristike BREM-1, koje je razvijeno pre više od 20 godina, ne udovoljavaju u potpunosti savremenim zahtevima. Zato je na osnovu tenka T-80U razvijeno novo oklopno remontno-evakuaciono vozilo BREM-80U.

Zadržavajući opšte tehničke karakteristike tenka T-80U za specifičnu snagu, brzinu kretanja, savlađivanje prepreka i sl., ovom vozilu dodate su povećane mogućnosti korišćenja specijalne opreme. Glavni čepak razvija vučnu silu od 35 t, a uz korišćenje koturača ona se povećava maksimalno do 140 t, što prevazilazi karakteristike čepka na BREM-1 (25 t i 100 t). Osim toga, čepak na BREM-80U ima bolje pokazatelje, kako po brzini odmotavanja užeta — 50 m/min (20 m/min kod BREM-1), tako i po brzini namotavanja — 17 i 50 m/min (13 m/min kod BREM-1). Dve brzine namotavanja, od kojih je jedna tri puta veća od druge, skraćuju vreme rada, štede resurse i gorivo pri izvlačenju lakše zaglavljenih i lakših vozila. Vučna sila pomoćnog čepka BREM-80U takođe je povećana do 1 t, što je dva puta veće od čepka BREM-1 i omogućava izvršavanje većeg broja radova.

Nosivost dizalice povećana je sa 12 na 18 t, što pri remontu omogućava

va podizanje kupole tenka zajedno sa borbenim kompletom.

Posadu vozila sačinjavaju 4 člana: vozač-mehaničar, komandir, bravarspecijalista za sisteme i zavarivač-rukovač opreme.

Pored toga, predviđeno je i sedište za petog člana, što omogućava, ako je neophodno, da BREM ima još jednog specijalistu, a može poslužiti i za evakuaciju ranjenika sa bojišta.

Za potrebe trupnog remonta tenkova T-80U ovo vozilo se kompletira rezervnim delovima i alatom, koji se razmešta u dva kontejnera na platformi za teret.

Naoružanje BREM sastoji se od PA mitraljeza kalibra 12,7 mm otvorenog tipa, četiri automata AKS-74, ručnog bacača granata RPG-7 i signalnog pištolja. Maskiranje na bojištu izvodi se aktiviranjem dimnih granata.

Napajanje opreme za elektroizvršavanje obezbeđuje se pomoću nezavisnog elektroagregata koji pogoni pomoćni gasnoturbinski motor snage 18 kW (24,5 KS). Zahvaljujući tome štede se gorivo i resursi osnovnog motora.

Radi poboljšanja uslova rada posade u nepovoljnim klimatskim uslovima na vozilu je ugrađen uređaj za kondicioniranje vazduha.

M. K.

TEŠKI PLAMENOBACAČKI SISTEM TOS-1*

Teški plamenobacački sistem TOS-1 namenjen je za kompleksno uništavanje ciljeva dejstvom visokih te-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart-april 1998.

mpertura i povećanim pritiskom. Može djelovati u različitim vidovima napadnog i odbrambenog boja radi neposredne vatrene podrške motorizovane pešadije i tenkova, krećući se u njihovim borbenim porecima. Uništava živu silu protivnika sa otvorenih i zatvorenih vatrenih položaja, stvarajući žarišta požara na terenu.

Sistem TOS-1 sastoji se od: borbenog vozila, nevođenih reaktivnih projektila i vozila za transport i popunu.

Osnovne taktičko-tehničke karakteristike borbenog vozila BM TOS-1

Masa (t)	42
Naoružanje	30-cevni lansirni uređaj
Daljina gađanja (m):	
— minimalna	400—600
— maksimalna	3500

Borbeno vozilo je, u osnovi, lansirni uređaj ugrađen na šasiju tenka. Sastoji se od šasije, obrtno platforme sa ljuľajućim delom lansirnog uređaja, pratećih komandi za upravljanje i sistema za upravljanje vatrom.

Ljuľajajući deo lansirnog uređaja ima 30 usmeravajućih cevi za nevođene reaktivne projekte, koje su postavljene u zajedničkom telu sa kolevkom i preko osovine se spaja sa polugama obrtno platforme. Navođenje lansirnog uređaja na cilj u horizontalnoj i vertikalnoj ravni vrši se pratećim komandama za upravljanje.

Sistem za upravljanje vatrom sastoji se od nišana, kvantnog daljinomera, balističkog računara i davača nagiba.

Nevođeni reaktivni projektil sastoji se od bojne glave sa punjenjem i upaljačem i raketnog dela na čvrsto gorivo.

Vozilo za transport i popunu namenjeno je za transport nevođenih re-

aktivnih projektila, punjenje i pražnjenje lansirnog uređaja. Vozilo za transport i popunu nalazi se na šasiji teretnog vozila povećane prohodnosti, koje poseduje uređaj za utovar i istovar.

M.K.

UVOĐENJE NOVIH ARTILJERIJSKIH SISTEMA*

Armija Nemačke dobila je u julu ove godine prvu od 186 samohodnih oklopnih haubica 155 mm/52 kalibra PzH2000 od firme Wegmann&Co, i postala prva armija u svetu koja je uvela u naoružanje takav artiljerijski sistem. Inače, armija Nemačke ukupno ima 21 samohodni artiljerijski bataljon, koji su opremljeni haubicama 155 mm/39 kalibara M109A3G. Svaki bataljon ima tri baterije sa 6 oruđa. U prvoj fazi 9 bataljona će biti prenaoružano novim sistemima PzH2000, od kojih će 345. bataljon u Kaselu biti opremljen do kraja ove godine. On će imati tri baterije sa po 6 sistema.

U poređenju sa postojećim sistemom M109A3G, novi PzH2000 ima veći domet, veću brzinu gađanja, pokretljiviji je i otporniji na dejstvo protivničke vatre. Maksimalan domet od 30 km sa standardnim projektilima biće povećan na 40 km sa projektilima povećanog dometa ER (Enhanced Range).

Proizvodnja PzH2000 dostići će maksimum od 40 primeraka tokom 2002. godine, kada je planirana i konačna isporuka. Armija Nemačke je zahtevala 594 ovih oruđa, ali je ugovoreno i plaćeno samo 186. Izvozni marketing sistema krenuo je pre nekoliko godina sa potencijalnim kupci-

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, June, 1998.

ma u armijama Danske, Finske, Grčke, Italije, Holandije, Norveške i Švedske.

Italija će, verovatno, biti prvi kupac sa ukupnim potraživanjem od 70 sistema PzH2000. Očekuje se kupovina 2 sredstva početkom 1999. ili 2000. godine, za potrebe ispitivanja i uvežbavanja. Iako je italijanska kompanija OTO Breda uključena u neke aktivnosti oko izrade PzH2000, još nije ratifikovan formalni ugovor o saradnji između Nemačke i Italije.

Poljska armija je tražila novi samohodni artiljerijski sistem 155 mm i Wegmann je sarađivao sa poljskom kompanijom HSW u tim zahtevima. Dogovoreno je da će ih firma Wegmann snabdevati kompletnom kupolom. Ona će biti instalirana na šasiji projektovanoj i izrađenoj u Poljskoj, a koristi komponente kupole tenka T-72. Isporuka 6 kupola Poljskoj očekuje se tokom 2001. ili 2002. godine.

Mada je Wegmann prvi ugovarač, kompletna šasija sistema PzH2000 izrađuje se u kompaniji MaK, a ostali podugovarači su Rheinmetall (oruđe), MTU (pogonski agregat) i Renk (transmisija).

V.R.

NOVI IZRAELSKI RAKETNI SISTEM*

Odeljak za raketne sisteme izraelske vojne industrije (IMI) izvršio je promociju pešadijskog oružja za lansiranje sa ramena SHIPON (šipon) (trenutno u drugoj godini četvorogodišnjeg programa ispitivanja), kao preciznije i jeftinije alternative protivten-

kovskih vođenih raketa kratkog dometa ATGM (Antitank Guided Missile). Očekuje se da će cena ovog oružja biti oko 2500 američkih dolara za raketu sa lanserom za jednokratnu upotrebu i 10 000 američkih dolara za sistem za upravljanje vatrom (SUV) koji uključuje jedinicu za opaljenje u koju je ugrađen okidač trigger i sigurnosni mehanizam.

Osnovna raketa kalibra 96 mm ima masu 6 kg i opremljena je kumulativnom dvostepenom bojnog glavom za koju se tvrdi da je već pokazala svoje poboljšane performanse kao i mogućnosti probijanja eksplozivnog reaktivnog oklopa od čelika debljine 800 mm.

Izraelska kompanija Soreq NRC, odnosno njen odeljak Electro-Optical Division (El-Op) odgovorna je za SUV. On objedinjava balistički računar i laserski sistem koji meri udaljenost do cilja i lokalni bočni vetar. Prema raspoloživim podacima ovo omogućava SHIPONU verovatnoću pogađanja 50% tipičnih ciljeva na daljinama od 600 m. El-Op je razvila i kombinovani sistem za upotrebu u oružjima kao što su protivtenkovska sastavljen od laserskog daljinomera i merača bočnog vetra. Bočni vetar brzine 5 m/s dovodi do devijacije putanje metaka kalibra 5,56 mm ili 7,62 mm od 25 cm na daljini od 200 m ili čak više od 1 m na daljini od 500 m.

Na lanseru je instaliran instrument koji prenosi kolimatorski snop talasne dužine 1,047 μ m od neodijum-itrilijum-litijum-fluoridnog lasera male snage.

Tokom ispitivanja sa snajperskom puškom SR86 opremljenom teleskopom x10 sistem SOREQ redukovao je prosečnu grešku pogotka na daljini 500 m pri bočnom vetru od 3 m/s sa 50 cm na 5 cm. Instrument može da meri domet sa greškom od 10 m na rastojanju od 1000 m, omogućavajući i očitavanje bočnog vetra. Takođe, izvršena je minijaturizacija elektronike za SUV SHIPONA.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 7/1999.

Potencijalna poboljšanja SHIPON podrazumevaju korišćenje različitih vrsta municije, kao što je protivbunkerska ili protivpešadijska.

V.R.

SARADNJA UKRAJINE I FRANCUSKE*

Ukrajinski dizajnerski biro Khar'kov Morozov (KMDB), iz kojeg je potekao tenk T-64, započeo je tehničku saradnju sa francuskom kompanijom GIAT na razvoju verzije tenka T-72, naoružanog topom kalibra 120 mm sa glatkom cevi. Inače, poznato je da sadašnje osnovno naoružanje tenka T-80UD, kao i tenkova T-64 i T-72, predstavlja poznati ruski top 125 mm sa glatkom cevi.

Na izložbi Eurosatory, u junu 1998. godine, KMDB je pored tenka T-80UD izložio i sklopove topovskih sistema kalibra 120 mm i 140 mm, oba izrađena u Ukrajini. Oba topa opisana su kao zamena standardnog topa 125 mm. U slučaju topa 140 mm pretpostavlja se da će biti problema oko integracije u odnosu na rukovanje i prostor za smeštaj municije.

Top 120 mm sa glatkom cevi ima standardne NATO karakteristike unutrašnje balistike sa dužinom cevi od 7 m. KMDB je prikazao i model kupole tenka T-72 sa modifikacijama koje zahtevaju NATO granate (u pogledu punjača). Ovaj punjač je zasnovan na GIAT-ovom punjaču razvijenom za francuski tenk LEKLERK a može da primi 22+22 granate u skladište i ispod prstena kupole.

Bili su izloženi i novi modeli municije 125 mm APFSDS, izrađeni u

GIAT-u, za punjenje ruskog topa karusel automatskim punjačem. Pored standardnih ukrajinskih APFSDS granata, prikazan je i novi projektil 125 mm APFSDS sa dužim penetratorom od volframa. Očekuje se da će detaljniji podaci o mogućnostima ukrajinskih sistema koji su bili izloženi biti dostupni na izložbi naoružanja i vojne opreme IDEZ u Abu Dabiju 1999. godine.

V.R.

POBOLJŠANA WILDCAT KUPOLA*

Nemačka kompanija Krauss-Maffei razvila je novu verziju višenamenskog kupolnog sistema S-30 WILDCAT za PVO i vatrenu podršku. Ugrađena jedinica je namenjena za izvoz, posebno na Srednji Istok gde je iskazana potreba za ovim tipom kupole.

Sistem za upravljanje vatrom (SUV) holandske firme Signal Mirador ugrađen je u prednjem delu kupole, a proizveden je na osnovu narudžbine Venecuele. Taj kompaktni elektrooptički paket SUV-a ima ugrađen laserski daljinomer, IC kameru i tragač cilja. Kupola je opremljena i novim računarom za SUV.

Na zadnjem delu kupole instaliran je italijanski osmatrački radar GALILEO 2D koji ima maksimalni domet od 18 km. Moguće je ugraditi i druge radare, kao, na primer, Ericssonov mikrotalasni sistem HARD 3D, koji se proizvodi za armiju Švedske.

Kupola je naoružana najmodernijim topom 30 mm Mk-30-2 MAUSER, koji može da gađa municijom velikog

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 7/1998.

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, juli, 1998.

dijapazona, uključujući i novu FAPDS (Frangible Armor Piercing Discarding Sabot — pancirna municija sa košuljicom male debljine), koja ima veću početnu brzinu, veći domet i povećanu sposobnost uništenja ciljeva.

Sa bočne strane topova ugrađen je lanser raketa zemlja-vazduh (SAM — surface-to-air missile), koji je tipiziran prema specificiranoj nameni i postojećim sistemima (na primer, američki STINGER ili ruska IGLA). Pri mena raketa i topova zavisi od daljine i vrste ciljeva. Rakete se koriste za ciljeve u vazдушnom prostoru i zemlji na daljinama većim od 7 km, a topovi 30 mm za bliže ciljeve na zemlji.

Komunikacijski uređaj i sistem C³ zavise od operativnih zahteva korisnika. Mada će sistem biti optimiziran za operacije na Srednjem Istoku, za posadu i elektroniku obezbeđeno je dodatno hlađenje. Kupola WILDCAT ugrađena je na standardnu oklopnu šasiju KRAUSS-MAFFEI 6x6, ali će se isporučivati i na točkaškim i guseničnim platformama.

V.R.

ANALITIČKI PRIBORI ZA EKSTREMNE USLOVE*

SIGNALIZATOR GASOVA GSA-96, namenjen je za automatsku kontrolu okolnog vazduha radi otkrivanja para fosfornoorganskih spojeva (FOS). Predviđeno je da se ovim priborom opremaju pokretni i stacionarni objekti.

JONSKO-MOLEKULARNI SPEKTROMETAR IMS-97, namenjen je za kontrolu hemijskih zagađivača u atmosferi, a koristi se u pokretnim i stabilnim objektima.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart—april 1998.

Osnovne karakteristike pribora

— osetljivost na FOS za prag 1 za prag 2	(1—5)×10 ⁻⁴ mg/l (3—5)×10 ⁻⁷ mg/l
— vreme otkrivanja — prag 1 — prag 2	120 s 270 s
— naknadno dejstvo posle	15 min
— radna temperatura	od -40 do +45°C
— upotrebljavana snaga	200 W
— napon napajanja	27 V (220V sa blokom za napajanje)
— masa	15 kg

Pribor IMS-97 je univerzalni jon-sko-molekularni spektrometar sa kombinovanim visokovoltnim izvorom napajanja i kompletom različitih tipova jonizacije:

- nuklearna jonizacija,
- foto-jonizacija,
- površinska jonizacija.

Određuju se sledeće materije:

- FOS (nuklearna jonizacija) 5×10⁻⁴ mg/l,
- FOS (površinska jonizacija) 5×10⁻⁷ mg/l,
- luizit (nuklearna jonizacija) 5×10⁻⁵ mg/l,
- nesimetrični dimetilgidrazin (nuklearna jonizacija) 5×10⁻⁴ mg/l,
- oksidi azota (fotojonizacija) 5×10⁻⁴ mg/l,
- amonijak (fotojonizacija) 5×10⁻³ mg/l,
- fenol (fotojonizacija) 5×10⁻⁴ mg/l,
- formaldehid (fotojonizacija) 5×10⁻⁴ mg/l,
- ksilidin (fotojonizacija) 3×10⁻⁴ mg/l.

Priborom se mogu otkrivati aromatički i alimfatički amini, policikli-

čki aromatički ugljovodonici, arsenati, fosfati i drugi organski spojevi.

Vreme otkrivanja:

FOS $\times 10^{-5}$ mg/l	5 s
FOS $\times 10^{-7}$ — — $\times 10^{-6}$ mg/l	100 s
SD otrovne materije	120 s
Radna temperatura	od -40 do $+50^{\circ}\text{C}$
Napon	
— naizmenični	220 V
— stalni	12, 27 V

Firma »Specpribor« iz Tule već 35 godina bavi se razvojem tehničkih sredstava za hemijsko izviđanje i kontrolu. Za to vreme stvoren je materijalni i ljudski potencijal neophodan za proizvodnju raznovrsnih specijalnih pribora.

Pored ostalog, firma je razvila signalizatore gasova dvostruke namene, koji se koriste za ekološke kontrole i kontrole zaštite na radu u hemijskim i industrijskim pogonima, specijalne priboje velike osetljivosti niza organsko-metalnih spojeva (10—14 — 10—15 zapreminskih procenata), priboje za savremene fizičko-hemijske analitičke metode (molekularno-nuklearne kondenzacije, jonsko-molekularne spektroskopije, biohemijske i hemiluminiscentne fotometrije i dr.).

Razrađen je niz signalizatora gasova namenjenih za otkrivanje fosforoorganskih otrovnih materija, nestabilnih i stabilnih otrovnih materija, otrovnih materija jakog dejstva i komponenata velike osetljivosti (do 1×10^{-7} mg/l) i brzine reagovanja (do 15 s) u širokom dijapazonu mehaničkih i klimatskih uticaja (-40 do $+50^{\circ}\text{C}$) i uz primenu u stacionarnim i pokretnim objektima.

Signalizator gasova GSA-96 spreman je za serijsku proizvodnju u preduzećima OKBA iz Tule, a za jonsko-molekularni spektrometar IMS-97 iz-

rađeni su probni primerci. Serijska proizvodnja planirana je u toku ove godine.

M. K.

UNIVERZALNE MOGUĆNOSTI HELIKOPTERA Mi-8MTV5*

Višenamenski helikopter Mi-8MTV5 (izvozna varijanta Mi-17MD) jeste usavršeni helikopter Mi-17. Letno-tehničke karakteristike su mu znatno poboljšane na račun primene novih motora TVZ-117VM, koji omogućavaju letove na visinama do 6000 m, postizanje brzine horizontalnog leta 270 km/h i vertikalno uzdizanje brzinom do 20 m/s.

Helikopter Mi-17 MD namenjen je za operativno prebacivanje vojnih jedinica u rejon borbenih dejstava. Sa nekoliko helikoptera Mi-17MD može se prevesti nekoliko stotina vojnika u dubokoj pozadini protivnika, obezbeđujući im pouzdanu zaštitu iz vazdušnog prostora sopstvenim naoružanjem.

U helikopter se može ukrcati-iskrcati 35 vojnika za 15 do 20 sekundi. Tehnička oprema za osvetljenje kabine posade omogućava da pilot koristi naočare za noćno osmatranje, što znatno povećava mogućnosti letenja noću, poboljšava uslove izviđanja objekata na zemlji, omogućava izvršenje specijalnih noćnih zadataka i letove na malim visinama.

Pojačani oklop kabine za posadu i posebno važnih sistema štiti helikopter od streljačkog naoružanja, a postavljeni automati za poništavanje refleksije od raketa tipa »zemlja-vazduh« sa toplotnim glavama za samonavođenje.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, jul—avgust, 1998.

Modernizovani sistem za snabdevanje gorivom obezbeđuje mu prebacivanje na rastojanja do 1600 km i omogućava patroliranje zadatog reiona ili pretraživanja u trajanju od 10 do 12 časova.

Helikopter Mi-17MD može se koristiti u nekoliko varijanti.

Desantna varijanta. Helikopter je sposoban da u teretnoj kabini prevozi do 35 potpuno naoružanih vojnika. Povećana pokretna vrata na levoj strani, pokretna vrata na desnoj strani, daljinski otvarajuća rampa s hidrauličnim prenosom, omogućavaju posle prizemljenja ukrcavanje-iskrcavanje ljudstva za 15 do 20 sekundi. Sistem za školsko-trežno desantiranje omogućava da se helikopter napusti iz položaja u vazdušnom prostoru kroz dvojna vrata i dodatni otvor. Konstrukcija helikoptera omogućava iskrcavanje desanta po grupama (do 4 istovremeno) pomoću opreme za spuštanje užadima, pri lebdenju helikoptera na visini 30 m iznad zemlje.

Transportna varijanta. Helikopter može prevoziti do 4000 kg tereta u teretnoj kabini ili do 5000 kg tereta na užadima. Pri gašenju požara na spoljašnje ovešenje može se pričvrstiti uređaj za vodu »Bamby Bucket«, koji omogućava zahvat do 4 t vode iz otvorenih vodenih površina i njeno izbacivanje u bilo kom režimu leta. Teretna kabina helikoptera bez ikakvih izmena omogućava transportovanje tereta dužine do 10 metara.

Sanitetska varijanta. Ovakav helikopter može prevoziti do 12 obolelih na nosilima a do 20 bolesnih ili povređenih u sedećem položaju.

Izviđačko-spasilačka varijanta. Za izvršenje odgovarajućih zadataka na helikopteru se postavljaju: reflektor SX-16, koji omogućava potragu za ljudima i objektima s velike visine leta, sistem čekrka za teret SLG-300, koji obezbeđuje podizanje u helikopter tereta ili dva nastradala lica na visinu

do 60 m. Za povećanje vremena vizuelnog osmatranja posada može da koristi naočare za osmatranje noću, koje omogućavaju osmatranje Zemljine površine sa visine do 300 m pri prirodnoj osvetljenosti od 1 lux do 0,0005 luxa.

Borbena varijanta. Na helikopter se mogu postaviti bombe mase do 3000 kg, univerzalni topovski kontejneri s topovima kalibra 23 mm, do 80 nevođenih raketnih projektila. Radi se na opremanju helikoptera vođenim raketama.

Konstrukcija helikoptera omogućava lako menjanje jedne varijante u drugu ili izvršavanje letova u kombinovanim varijantama: transportno-borbeni, sanitetsko-transportni, izviđačko-borbeni, itd. Na jednoj od varijanti ugrađen je komplet zapadne avionike, uključujući sisteme elektronske indikacije EDZ-756 firme »Honeywell« (SAD), sistem vazdušnih signala D-60350 firme »Penni i Jails« (Velika Britanija), sistem merenja uglovnog položaja firme »Honeywell«, havarijski sistem indikacije GH-3000 firme »Goodrich« (SAD), integrisani sistem radio-navigacije i radio-veze PRIMUS-II firme »Honeywell«, radio-visinomer malih visina AA-300, meteolokator PRIMUS-700 firme »Honeywell«, sistem navigacije »TNL-2101 I/0« firme »Trimble Navigation«.

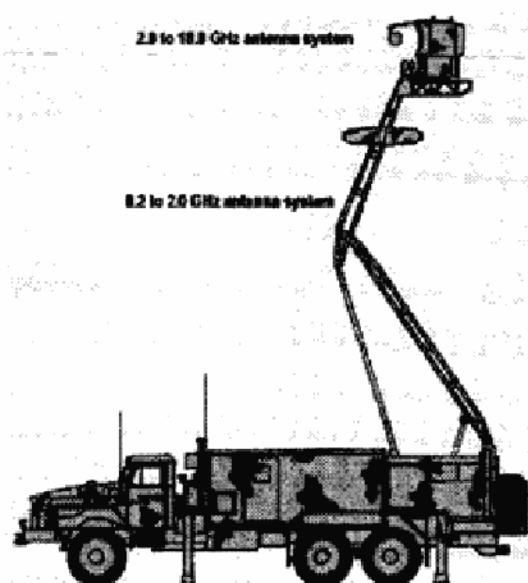
Komplet avionike u potpunosti odgovara međunarodnim avijacijskim pravilima FAR-29. Ugradnja takvog kompleta opreme smanjuje masu praznog helikoptera za 100 kg i istovremeno obezbeđuje dvostruko funkcionisanje svih sistema veze, navigacije i pilotaže. Numerički sistem veze i navigacije, displej u koloru za pilotažu i navigaciju, mogućnost da svaki pilot ima svoje sisteme pilotiranja — svrstavaju helikopter Mi-17MD sa novom avionikom u red najsavremenijih.

M. K.

TROKOORDINATNI SISTEM ZA RADIO-TEHNIČKO IZVIĐANJE 85V6-A VEGA*

Trokoordinatni sistem za radio-tehničko izviđanje 85V6-A VEGA namenjen je za rad u jedinicama PEB, PVO i drugih rodova vojske, a može se koristiti i u sistemima za rano otkrivanje i obaveštavanje, kontrolu i upravljanje letom, kontrolu radio-elektronske situacije i pojave izvora smetnji.

Sistem VEGA otkriva, prepoznaje i prati do 100 zemaljskih, pomorskih i



Sistem za radio-tehničko izviđanje
85V6-A VEGA

objekata u vazдушnom prostoru na osnovu emisije njihovih sopstvenih radio-elektronskih sredstava.

VEGA se u standardnoj konfiguraciji sastoji od tri stanice: za otkrivanje, pelengaciju i analizu SOPA ORION i upravnog punkta PU 85V6-A. Upravni punkt se obično razvija zajedno sa jednom od stanica.

Pelengovana i parametarska informacija po kanalima prenosa podataka sa stanica ORION, dovodi se na upravni punkt gde se metodom triangulacije određuju položaj i putanja kretanja objekta, što se predstavlja i na elektronskoj karti rejona koji se kontroliše. Lažne putanje se isključuju programom putem parametarskog identifikovanja pelengi objekata. Predviđena je periodička kontrola funkcionisanja stanice i dokumentovanje rezultata.

Mobilna automatska stanica ORION otkriva, pelenguje, prepoznaje i klasifikuje kopnene, pomorske i vazdušne objekte prema emisiji njihovih sopstvenih radio-elektronskih sredstava.

Stanica ORION karakteriše se velikom brzinom rada, što se postiže za račun korišćenja mnogoiimpulsnih metoda pelengacije, širokopojasnog elektroakustičkog (kompresionog) Furijevog procesora u kanalu obrade signala. Visoka osetljivost i nivo automatizacije omogućavaju presretanje kratkotrajnih zračenja, signala sa složenom frekventno-vremenskom strukturom i ometačkih signala.

Prema izmerenom vektoru parametara signala, putem sravnjavanja sa bazom podataka, vrši se prepoznavanje izvora zračenja i klasifikacija njihovih nosača.

U osnovnom režimu stanica ostvaruje pelengaciju izvora zračenja i merenje vektora parametara signala u procesu kružnog osmatranja prostora.

Vreme davanja informacija na upravni punkt i drugim korisnicima iznosi 6 do 10 sekundi. Postoji mogućnost za ručno navođenje na izvor zračenja i njegovo automatsko praćenje.

Napajanje stanice je preko ugrađenog generatora, dizel-električne stanice ili električne mreže. Stanica je namenjena za rad u sklopu sistema za

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, jul-avgust, 1998.

Radna frekvencija (GHz)	0,2 do 18,00
Trenutni prijem (MHz)	500
Frekventna rezolucija (MHz)	1,00
Tačnost merenja:	
— trajanje impulsa (ms)	0,10
— period ponavljanja impulsa (ms)	1,00
— azimut pri opsegu 0,2—2,00 (°)	1 do 2
— azimut pri opsegu 2—18,00 (°)	0,2
Domet otkrivanja cilja (H=10 km) (km)	min 400
Broj ciljeva:	
— za korisnike	do 100
— za katalog	do 1000
Maksimalni azimut snimanja (°/s)	180

radio-elektronsko izviđanje 85V6-A samostalno u sastavu jedinica za PEB i PVO.

M. K.

KOMUNIKATORI VELIČINE RUČNOG SATA*

Firma »Philips Research« razvila je tehnologiju za proizvodnju tankih radio-frekventnih komponenata čija potrošnja električne energije iznosi jednu dvadesetinu do jedne desetine potrošnje koju sada imaju aktuelne komponente. Takozvani »silikon na bilo šta« bipolarni postupak omogućava da elektronsko kolo bude naneto na podloge (substrate) od izolacionih materijala, kao što je staklo, što je bolje nego na silikonsku podlogu. Silikon-

ska podloga je zbog svoje poluprovodničke prirode idealna za aktivne komponente koje imaju čiste RF karakteristike. Upotreba izolatora redukuje parazitne kapacitivnosti koje postaju dominantan faktor za određivanje potrošnje u vrlo malim strukturama i obezbeđivanje visokog kvaliteta RF pasivnih komponenata, tako da se spiralni induktiviteti mogu integrisati na samu komponentu (čip). Rezultat je da su elektronska kola tako mala da omogućavaju praktičnu izradu sklopova komunikatora veličine dugmeta ili ručnog sata.

Ista firma proizvela je i bipolarni tranzistor u spoju sa zajedničkim emiterom veličine samo 0,05 μm^2 i proporcionalno malim kapacitetom prelaznog spoja. Ovakve dimenzije rezultirale su potrošnjom manjom od 11 μA u prekidačkom režimu pri frekvenciji od 10 GHz. Pored toga, proizveli su i neke RF čipove koji su u pogledu performansi potvrdili predviđanja. Jedan od njih, koji predstavlja potpuno integrisani naponski kontrolisani oscilator sa frekventnim sintetizatorom u fazi zatvorenoj petlji i deliteljskim nizom, ima potrošnju samo 1,5 mW.

M. S.

FOTONSKA A/D KONVERZIJA OTVARA NOVE MOGUĆNOSTI*

Američka Agencija za napredne istraživačke projekte u oblasti odbrane (DARPA — Defense Advanced Research Projects Agency) planira da u naredne četiri godine angažuje oko 40 miliona dolara za program tehnologije fotonskog A/D (analogno-digitalnog)

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 4/1996.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 6/1996.

konvertora (PACT — Photonic A/D Convert Technology), koji ima za cilj proizvodnju uređaja koji će moći da obradi preko 100 gigauzoraka u sekundi (Gsp/s).

A/D konvertori omogućavaju osnovnu vezu između analognih senzora, kao što su radari, komunikacioni uređaji i elektronski borbeni sistemi i digitalnih sistema za procesiranje signala.

Progres prema naprednoj tehnologiji modula za A/D konverziju visoke rezolucije i velike brzine uzorkovanja bio je dugo vremena vrlo usporen, najvećim delom zbog teškoća koje su se javljale u projektovanju i proizvodnji elektronskih kola koja su mogla da obezbede tražene performanse. Ovaj program istražuje mogućnosti prevazilaženja spomenutih ograničenja kroz primenu savremenih fotonskih komponenta, kao što su laseri, modulatori, detektori i mikroelektronski i optoelektronski elementi. Oni treba da omogućće direktnu A/D konverziju signala na samom njihovom izvoru i u čitavom spektru koji je od interesa za vojne sisteme. Direktna A/D konverzija bi na taj način omogućila poboljšanje performansi u području smanjenja smetnji, proširenje dinamičkog područja za detekciju ciljeva u šumovima ometanoj sredini i šire područje za poboljšanje identifikacije cilja. Tako bi se, na primer, uzorkovanjem (sempliranjem) sa 100 Gsp/s mogle stvoriti nove mogućnosti za direktnu A/D konverziju u širokom pojasu signala milimetarske talasne dužine.

M. S.

PRIMENA VEŠTAČKOG DIJAMANTA U SPECIJALNIM ELEKTRONSKIM CEVIMA*

Firma »Thorn Microwave Devices«, koju je osnovala Agencija za vojna istraživanja Velike Britanije, demonstrirala je veštačkim putem dobijeni dijamant postupkom hemijskog naparavanja (CVD — chemical-vapor-deposited) koji nudi značajne prednosti na planu električnih izolacionih materijala koji se koriste u konstrukciji specijalnih mikrotalasnih cevi za radare, elektronske borbene sisteme i komunikacijske uređaje. Sprovedena istraživanja pokazala su da veštački dijamant može da obezbedi desetostruko povećanje toplotne provodljivosti, uz jednu četvrtinu koeficijenta širenja i visoku električnu otpornost u odnosu na inertne materijale (najčešće se koristio berilijum koji je kancerogen).

Firma »Thorn Microwave Devices« obezbedila je uzorke veštačkog dijamanta od nekoliko proizvođača da bi ispitala njihove mehaničke karakteristike i druge faktore. Sledeći korak biće proizvodnja i ispitivanje prototipske partije novih elektronskih cevi u saradnji sa kupcima koji ugrađuju ove cevi u svoje uređaje, vladinim agencijama i proizvođačima veštačkog dijamanta.

M. S.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 4/1998.

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

11002 Beograd, Birčaninova 5

Telefoni: (011) 645-020 i 36-13-751 lok. 23-124 i 23-152

Telefaks: (011) 645-020

NARUDŽBENICA

Pretplaćujem(o) se na časopise za 1999. godinu:

1. VOJNOTEHNIČKI GLASNIK

(stručni i naučni časopis VJ) izlazi dvomesečno.

Godišnja pretplata 100,00, polugodišnja pretplata

60,00 dinara. Prilikom uplate pozvati se na broj 054/963 primeraka

2. NOVI GLASNIK

(vojnostručni intervidovski časopis) izlazi dvomesečno.

Godišnja pretplata 150,00, polugodišnja pretplata

80,00 dinara. Prilikom uplate pozvati se na broj 053/963 primeraka

3. VOJNO DELO

(opštevojni teorijski časopis) izlazi dvomesečno.

Godišnja pretplata 130,00, polugodišnja pretplata

70,00 dinara. Prilikom uplate pozvati se na broj 051/963 primeraka

Broj primeraka časopisa koji se naručuje upisati u narudžbenicu i poslati na adresu: VJNOIZDAVAČKI ZAVOD, Birčaninova 5, 11002 Beograd.

Za pretplate fizičkih lica ne dostavljamo fakture. Poručioi uplaćuju iznos pretplate na žiro račun 40818-637-9-6319 RC Topčider — za VIZ (sa pozivom na broj za svaki časopis) i šalju primerak uplatnice uz narudžbenicu.

Časopise slati na adresu:

Kupac

Mesto Ulica br.

Dana

.....
Potpis naručioca

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, proizvodnju, upotrebu, tehnologiju, metodologiju, organizaciju i stručna, naučna, teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, članak, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći da li se radi o originalnom, naučnom, stručnom radu ili kompilaciji, koji su grafički prilozi originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), i ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski do-teran, sistematizovan, sa jasnim mislima, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u zakonski dozvoljenim mernim jedinicama. Matematičke izraze, koji se ne mogu pisati mašinom, ispisati rukom, pri čemu voditi računa o tačnom pisanju slova grčke azbuke, o velikim i malim slovima, o indeksima i eksponentima. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Ne treba ih lepiti, već samo naznačiti njihovo mesto u tekstu. Crteže treba raditi tušem na paus-papiru. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike — crteža i nazive pozicija na njima.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima VJ.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, titulu, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopis slati na adresu: Redakcija »Vojnotehničkog glasnika«, 11002 Beograd, Birčaninova 5, VE-1.

REDAKCIJA

LEKTOR

Dobrila Miletić, profesor

KORICE

Milijko Milinković

KOREKTOR

Bojana Uzelac

Cena: 15,00 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: Jugoslovenski bibliografsko-informacijski institut