

Direktor

Pukovnik
SLAVOLJUB JOVANOVIĆ

UREDIVAČKI ODBOR

General-major
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)General-potpukovnik
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.General-potpukovnik
dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.General-major
MILAN UZELAC, dipl. inž.General-major
RADOSLAV BABIĆ, dipl. inž.General-major
dr MILAN ŠUNJEVARIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr MILENKO ŽIVALJEVIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika Odbora)Pukovnik
SRBOLJUB PETROVIĆ, dipl. inž.Profesor
dr MOMČILO MILINOVIĆ, dipl. inž.Profesor
dr MILIĆ STOJIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr RADOVAN MAKSIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr MILOVAN ČIROVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr BRANKO ĐEDOVIĆ, dipl. inž.

dr DRAGOLJUB BRKIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr DRAGUTIN JOVANOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr SVETOMIR MINIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.Pukovnik
DRAGOMIR KRSTOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
VOJISLAV MILINKOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.Pukovnik
sc STEVAN JOSIFOVIĆ, dipl. inž.
(sekretar Odbora)

* * *

Glavni i odgovorni urednik

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

Sekretar redakcije

Zora Pavličević
(tel. 641-795, vojni 22-431)Adresa redakcije: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK – BEOGRAD, Balkanska 53.Pretplata tel.-fax: 3612-506, žiro-račun: 40818-
637-9-6319 za VIZ/VTG, poziv na broj 963/054.
Rukopisi se ne vraćaju. Štampa: Vojna štampa-
rija – Beograd, Generala Ždanova 40b.STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJEVOJNOTEHNIČKI
G I A S N I K

3

SADRŽAJ

Dr Slavko Pokorni, pukovnik, dipl. inž. Profesor dr Rifat Ramović, dipl. inž.	ANALIZA POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI SISTEMA OD ČETIRI TELEKOMUNIKACIONE CENTRALE POVE- ZANE U PRSTEN	255
Mr Dušan Korolija, potpukovnik, dipl. inž.	PRIJEMNIK SA DIREKTNOM KONVERZIOM RADIO- -FREKVENCIJSKOG SIGNALA	263
Dr Radun Jeremić, pukovnik, dipl. inž.	ISTRAŽIVANJE UTICAJA NEKIH PARAMETARA NA OSETLJIVOST EKSPLOZIVNIH MATERIJU NA TOPLO- TNI IMPULS	273
Mr Lajoš Tot, dipl. inž.	ISPITIVANJA UTICAJA PARA ACETONA NA MEHA- NIČKE OSOBINE DVOBAZNIH RAKETNIH GORIVA	280
Sc Slobodan Ilić, major, dipl. inž.	ODREĐIVANJE PADA POČETNE BRZINE PROJEKTILA NA OSNOVU MERE PRODUŽENJA BARUTNE KOMORE	288
Profesor dr Miroslav Demić, dipl. inž.	NEKI ASPEKTI ISTRAŽIVANJA „LEPRŠANJA“ UPRA- VLJAČKIH TOČKOVA TERETNOG MOTORNOG VOZI- LA	300
Dr Dragoljub M. Brkić, dipl. inž.	METODE ODBACIVANJA EKSTREMNIH VREDNOSTI SLUČAJNE PROMENLJIVE	309
Dr Milanko Cvijović, dipl. inž.	PRORAČUN ELEMENATA PADOBRANSKIH SISTEMA ..	320
Đorđe Čeranić, dipl. inž. Dr Petar Stanojević, major, dipl. inž.	DIJAGNOSTIKA SAVREMENIH MOTORNIH VOZILA	331

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

Prenosni raketni sistem PVO Igla – super – M. K.....	339
Borbene mogućnosti prenosnih raketnih sistema u noćnim uslovima – M. K.	341
Topovi malog kalibra kao deo integralnih sistema – M. K.	342

Glavni trendovi u razvoju višecevnih raketnih lansirnih sistema – M. K.	345
Laserski pokazivači cilja za streljačko naoružanje i oružje velike preciznosti – M. K.	347
Satelitski komunikacioni i navigacioni sistem – S. A.	348
Fotoizviđački, radarski i sateliti za prikupljanje obavještajnih podataka – S. A.	353

TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

Raketa ASRAAM uvedena u naoružanje – S. V.	359
Izviđačko vozilo bez posade – M. K.	359
Ispitivanje avio bombe JDAM – M. K.	360
Niže cene bombi JDAM – S. V.	360
Isporučeno prvo borbeno vozilo Striker – S. V.	361
Razvoj novog ruskog lovca – S. V.	361
Testiranje aviona Su-30KN – S. V.	362
Isporučka ruskih aviona tipa AWACS Indiji – S. V.	362
MiG-29 za poljsku armiju – S. V.	362
Predstavljanje helikoptera Bell UH-1Y – S. V.	362
Premijerno prikazivanje Eurokoptera EC 145 – S. V.	363
Završetak razvoja lovca-bombardera JH-7A – S. V.	363
Rashodovanje čeških lovaca-bombardera Su-22 – S. V.	364
Dodatna narudžba aviona Rafal za francusku armiju – S. V.	364
Naoružavanje školskog aviona T-6A – S. V.	365
Radar za laki borbeni avion AT-63 Pampa – S. V.	365
Završna ispitivanja vazdušno-reaktivnog motora	
MARC-R-282 – M. K.	366
Ruski avionski motor tipa Larzak – S. V.	366

Stručni i naučni časopis VJ VOJNOTEHNIČKI GLASNIK u 2002. godini navršava pedesetu godišnjicu svoga postojanja.

VOJNOTEHNIČKI GLASNIK osnovan je Naredbom načelnika Generalštaba JNA od 27. avgusta 1952. godine, kao nastavljajući tradicije pet dotadašnjih časopisa rodova i službi: Artiljerijskog, Tenkovskog i Inženjerijskog glasnika, Glasnika veza JA i Pozadine i snabdevanja JA, koji su izlazili u periodu od 1947. do 1952. godine, i objavljivali sadržaje iz taktike i tehnike.

Osnivačkim aktom definisani su i osnovni zadaci VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA: „da razmatra i proučava pitanja u vezi sa naoružanjem, tehničkom i ostalom materijalnom opremom rodova i službi u pogledu poznavanja, rukovanja, upotrebe, dejstava, čuvanja, otklanjanja neispravnosti i usavršavanja materijala, kao i da rasvetljava tehnička pitanja organizacije, ratna iskustva pozadinskih službi i vojnog saobraćaja i evakuacije“.

U decembru iste godine regulisano je formiranje Uređivačkog odbora, tela koje u direktivnom smislu rukovodi uređivanjem časopisa, a prvi broj VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA izašao je iz štampe januara 1953. godine.

Sve proteklo vreme časopis je objavljivao radove iz oblasti tehničkih sredstava vojske; tehničkog obezbeđenja, kao i razvoja, proizvodnje i upotrebe sredstava naoružanja i vojne opreme, i u tom pogledu gradiio svoj renome, kako u armijskim, tako i u vanarmijskim strukturama. Razvijao se od publikacije namenjene edukaciji starešina, u periodu nedostatka adekvatne vojnostručne literature, do stručnog i naučnog časopisa namenjenog za prikaz naučno-tehničkih informacija značajnih za razvoj, proizvodnju i eksploataciju NVO.

Struktura časopisa, rubrike i područja koja su u njima obrađivani, menjali su se u skladu sa razvojem i osavremenjavanjem Vojske u organizacionom i tehničkom pogledu, i u skladu sa zadacima koji su postavljani programskom koncepcijom i uređivačkom politikom časopisa.

U pedesetogodišnjem periodu časopis je menjao svoja osnovna obeležja, formu i sadržaj, ispunjavajući zahteve prakse i nauke. Od 1952. do 1961. godine bio je stručni časopis za tehniku naoružanja, opreme i snabdevanja; do 1966. godine – stručni časopis rodova i službi JNA, a zatim stručni časopis JNA. Od 1989. godine časopis poprima karakter stručnog i naučnog koji je zadržan do današnjih dana. Time je sebi obezbedio mesto među publikacijama od nacionalnog značaja i posebnog interesa za nauku.

U proteklom poluvekovnom periodu VOJNOTEHNIČKI GLASNIK se karakterisao kontinuiranom i stabilnom dinamikom publikovanja, što u pojedinim periodima društvenih i socijalnih promena, kao i promena u Vojsci, nije bilo lako. Razvijao se prema postojećim društvenim uslovima i u skladu sa realnim potrebama, zadržavajući svoj osnovni pravac definisan u osnivačkom dokumentu.

Danas je VOJNOTEHNIČKI GLASNIK stručni časopis koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove iz oblasti vojnotehničkih, tehničkih i organizacionih nauka i struka.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem integralnog tehničkog obezbeđenja: tehničke sisteme i sredstva vidova, rodova i službi; razvoj, proizvodnju i eksploataciju sredstava naoružanja i vojne opreme, kao i stručna, naučna i praktična dostignuća koja doprinose razvoju vojnotehničke misli i usavršavanju pripadnika Vojske.

Danas, kao i u periodu pred nama, koji će karakterisati suštinske promene u društvu i Vojsci, VOJNOTEHNIČKI GLASNIK, takođe, očekuju promene u skladu sa organizacijom logističke podrške Vojske, a u vezi sa tim i njene tehničke podrške. Časopis će i dalje realno odlikovati stručni i naučni potencijal Tehničke slube i Vojske.

Očekuje se da Vojnotehnički glasnik, u skladu sa ulogom tehničkog faktora u odbrani zemlje i u Vojsci, i u narednim decenijama nastavi svoju uspešnu publicističku misiju. U ispunjavanju tako složnog zadatka Redakcija će se oslanjati na strukturu Tehničke službe i sektora Logistike, Uredivački odbor, autore i saradnike.

Redakcija

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

Profesor dr Rifat Ramović,
dipl. inž.
Elektrotehnički fakultet,
Beograd

ANALIZA POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI SISTEMA OD ČETIRI TELEKOMUNIKACIONE CENTRALE POVEZANE U PRSTEN

UDC: 621.39.004.15 : 519.217

Rezime:

U radu su predstavljeni modeli za analizu pouzdanosti i raspoloživosti jednog telekomunikacionog sistema koji sačinjavaju četiri telekomunikacione centrale međusobno povezane u prsten dupleks vezama. Modeli su razvijeni polazeći od grupisanja stanja u kojima se dotični sistem može naći i uz korišćenje modela Markova koji definišu verovatnoće prelaza između pojedinih stanja.

Ključne reči: pouzdanost, raspoloživost, telekomunikacioni sistem, modeli Markova.

RELIABILITY AND AVAILABILITY ANALYSIS OF A TELECOMMUNICATION SYSTEM CONSISTING OF FOUR TELECOMMUNICATION STATIONS CONNECTED IN RING

Summary:

Models for reliability and availability of one telecommunication system consisting of four telecommunication stations connected in ring by duplex lines are presented. The models are developed based on the grouping of possible states of the analyzed system using the Markov models for transition probabilities between particular states of the system.

Key words: reliability, availability, telecommunication system, Markov models.

Uvod

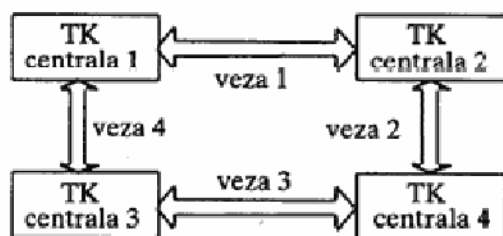
Za funkcionisanje bilo kojeg tehničkog sistema vrlo su važni njegova pouzdanost i raspoloživost. Za složenije sisteme nije jednostavno odrediti te pokazatelje, pogotovo ako se radi o sistemima kod kojih postoji redundovanje pojedinih delova, a uz to i mogućnost opravke. Zbog toga se sačinjavaju odgovarajući matematičko-fizički modeli pomoću kojih se rešavaju takvi problemi. Za analizu

pouzdanosti i raspoloživosti opravljivih redundovanih sistema pogodni su modeli Markova [1, 2, 3], na osnovu kojih se mogu razviti odgovarajući modeli za konkretne sisteme [4–10], a na osnovu njih se upoređuju različite varijante radi izbora optimalne. Za dobijanje vrednosti konkretnih pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti sistema potrebno je poznavanje pokazatelja pouzdanosti sastavnih delova tih sistema, o čemu se polazni podaci najčešće mogu naći u standardizova-

nim priručnicima [11]. Potvrda ovako proračunom dobijenih prognostičkih rezultata može se obaviti laboratorijskim ispitivanjima [12]. U ovom radu rešavan je jedan takav problem, i u tu svrhu razvijeni su konkretni modeli za pouzdanost i raspoloživost odgovarajućeg sistema.

Analiza stanja telekomunikacionog sistema

Razmatrani telekomunikacioni sistem sastoji se od četiri telekomunikacione (TK) centrale koje su povezane dupleks vezama kao na slici 1. Komunikacija se može ostvariti direktno (primer TK centrale 1 i TK centrale 2 preko dupleks veze) ili preko tranzitne centrale (na primer, komunikacija TK centrala 1 i 4 preko dupleks veza 1 i 2 i tranzitne centrale 2). Telekomunikacione centrale organizovane su kao primopredajnici.



Sl. 1 – Sistem od četiri TK centrale povezane u prsten dupleks vezama

Postoji i drugi način povezivanja navedene četiri TK centrale, posredstvom šest dupleks veza, tako da se veza između pojedinih centrala ostvaruje bez tranzitnih centrala (na primer, centrala 1 direktno komunicira sa centralom 4 preko dupleks veze), što na sličan način može da se analizira i modeluje.

Cilj analize pouzdanosti i raspoloživosti jeste nalaženje optimalnog rešenja sa aspekta utroška sredstava i dobijene pouzdanosti sistema $R(t)$ i raspoloživosti sistema $A(t)$.

Neka su x_i i $\bar{x}_i$ moguća stanja i -te linije veze (ispravna i neispravna, respektivno), a y_i i $\bar{y}_i$ moguća stanja i -te centrale. Sistem funkcioniše ispravno ako su sve četiri TK centrale ispravne i ako je moguće uspostaviti vezu između njih, a ne funkcioniše ispravno ako je bar jedna TK centrala neispravna ili ako su sve TK centrale ispravne ali ne postoji mogućnost uspostavljanja veze između svake od njih.

S obzirom na to da, u opštem slučaju, može da otkáže svaka od linija veza i svaka od četiri TK centrale, veliki je broj stanja u kojima se može naći sistem sa slike 1, što veoma komplikuje proračun pouzdanosti i raspoloživosti. Radi pojednostavljenja proračuna, sva ta stanja mogu se svrstati u pet grupa, koje se mogu nazvati osnovnim stanjima, a ostala stanja proglašavaju se za podstanja osnovnih stanja.

Posmatrani sistem može imati pet osnovnih stanja:

- u prvom stanju sistema sve linije veza i sve TK centrale su ispravne (stanje $x_1x_2x_3x_4 \wedge y_1y_2y_3y_4$) i ono nema podstanja. To je povoljno stanje sistema sa aspekta pouzdanosti i raspoloživosti;

- u drugom stanju sistema jedna od linija veze je neispravna (u prekidu) i sve TK centrale su ispravne. Ovo stanje sadrži četiri podstanja i smatra se povoljnim;

- treće stanje sistema podrazumeva sve ispravne linije veza i neispravnu bar jednu TK centralu. Obuhvata 15 podstanja;

– četvrto stanje je ono u kojem sistem ima jednu liniju veze neispravnu i bar jednu (može i više) TK centralu neispravnu. Ovo stanje sadrži $4 \times 15 = 60$ podstanja;

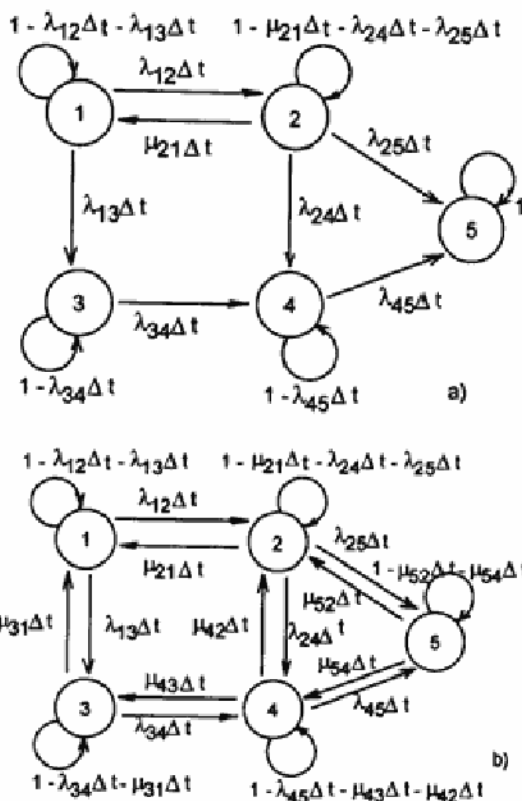
– peto stanje obuhvata sve slučajeve kada su dve ili više veza u prekidu i ima $11 \times 16 = 176$ podstanja.

Pouzdanost i raspoloživost analiziranog sistema preko modela Markova grafički su prikazani na slici 2.

Neka su λ_{p1} i λ_{p2} intenziteti otkaza TK centrale usled smetnji i fizičke neispravnosti, a μ_{p1} i μ_{p2} odgovarajući intenziteti opravke. Analogno, neka su λ_{v1} i λ_{v2} intenziteti otkaza linija veza usled smetnji i fizičkog prekida, a μ_{v1} i μ_{v2} odgovarajući intenziteti opravke. Sistem sa slike 2 imaće sledeće intenzitete prelaska između pojedinih stanja:

$$\begin{aligned} \lambda_{12} &= 4(\lambda_{v1} + \lambda_{v2}) \\ \mu_{21} &= \min(\mu_{v1}, \mu_{v2}) \approx \mu_{v2} \\ \lambda_{13} &= 4(\lambda_{p1} + \lambda_{p2}) \\ \mu_{43} &= \min(\mu_{v1}, \mu_{v2}) \approx \mu_{v2} \\ \lambda_{24} &= 4(\lambda_{p1} + \lambda_{p2}) \\ \mu_{31} &= \mu_p^{*1} (\min(\mu_{p1}, \mu_{p2}) \approx \mu_{p2}) \\ \lambda_{34} &= 4(\lambda_{v1} + \lambda_{v2}) \\ \mu_{42} &= \mu_p^{*1} (\min(\mu_{p1}, \mu_{p2}) \approx \mu_{p2}) \\ \lambda_{25} &= 3(\lambda_{v1} + \lambda_{v2}) \quad \mu_{52} = \mu_v^{*11} \\ \lambda_{45} &= 3(\lambda_{v1} + \lambda_{v2}) \quad \mu_{54} = \mu_v^{*12} \end{aligned} \quad (1)$$

gde su: μ_p^{*1} uslovni intenzitet opravke TK centrale, a μ_v^{*11} i μ_v^{*12} uslovni intenziteti opravke linija veza.



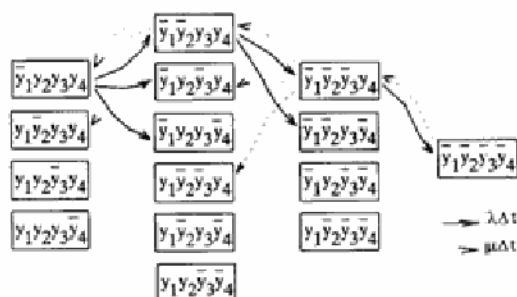
Sl. 2 – Polazni grafički prikaz modela Markova za:

a) pouzdanost sistema, b) raspoloživost sistema (sa sl. 1)

Da bi se u potpunosti opisao posmatrani sistem, neophodno je da se, pored osnovnih parametara λ_i i μ_i , koji se uzimaju iz [11], odrede parametri uslovnog prelaza μ_v^* i μ_p^* .

Određivanje uslovnog intenziteta opravke linija veza i TK centrale

Da bi se odredili uslovni intenziteti prelaza sa slike 2 između 5. i 2. stanja; 5. i 4; 4. i 2. i 3. i 1. posmatrač se 3. i 5. stanje kao izdvojene celine, a uz pretpostavku da je minimalno vreme zadržavanja sistema u okviru ovakvog stanja si-



Sl. 3 – Stanje 3 kao izolovana celina (za sva podstanja podrazumeva se x_1, x_2, x_3, x_4)

stema Δt , izvršiće se proračun uticaja pojedinih podstanja na to stanje. Dijagram prelaza između pojedinih podstanja u 3. stanju izgleda kao na slici 3.

Analizom trećeg stanja zaključuje se da je reč o četiri grupe podstanja (jedna neispravna TK centrala – četiri podstanja, dve neispravne TK centrale – šest podstanja, tri neispravne TK centrale – četiri podstanja, i sve četiri TK centrale neispravne – jedno podstanje), koje se mogu opisati sa četiri verovatnoće čija suma mora biti jednaka 1 ako se posmatra kao izolovana celina. Sistem jednačina za ove četiri verovatnoće i njihovu sumu je:

$$\begin{aligned}
 P_{(3)1} &= P_{(3)1}(1 - 3\lambda_p \Delta t) + P_{(3)2}3\mu_p \Delta t \\
 P_{(3)2} &= P_{(3)1}2\lambda_p \Delta t + \\
 &+ P_{(3)2}(1 - 2\lambda_p \Delta t - 2\mu_p \Delta t) + P_{(3)3}2\mu_p \Delta t \\
 P_{(3)3} &= P_{(3)2}3\lambda_p \Delta t + \\
 &+ P_{(3)3}(1 - \lambda_p \Delta t - 3\mu_p \Delta t) + P_{(3)4}\mu_p \Delta t \\
 P_{(3)4} &= P_{(3)3}4\lambda_p \Delta t + P_{(3)4}(1 - 4\mu_p \Delta t) \\
 4P_{(3)1} + 6P_{(3)2} + 4P_{(3)3} + P_{(3)4} &= 1
 \end{aligned} \quad (2)$$

Rešavanjem sistema jednačina (2) mogu se odrediti verovatnoće $P_{(3)1}$, $P_{(3)2}$, $P_{(3)3}$ i $P_{(3)4}$:

$$\begin{aligned}
 P_{(3)1} &= \frac{\mu_p^3}{4\mu_p^3 + 6\lambda_p \mu_p^2 + 4\lambda_p^2 \mu_p + \lambda_p^3} \\
 P_{(3)2} &= \frac{\lambda_p \mu_p^2}{4\mu_p^3 + 6\lambda_p \mu_p^2 + 4\lambda_p^2 \mu_p + \lambda_p^3} \\
 P_{(3)3} &= \frac{\lambda_p^2 \mu_p}{4\mu_p^3 + 6\lambda_p \mu_p^2 + 4\lambda_p^2 \mu_p + \lambda_p^3} \\
 P_{(3)4} &= \frac{\lambda_p^3}{4\mu_p^3 + 6\lambda_p \mu_p^2 + 4\lambda_p^2 \mu_p + \lambda_p^3}
 \end{aligned} \quad (3)$$

Na osnovu poznatih verovatnoća (3) mogu se odrediti verovatnoće prelaska sistema iz trećeg stanja u prvo stanje i iz četvrtog stanja u drugo stanje, koje su, kao što se može videti iz definicije pojedinih stanja, jednake:

$$\mu_{31}\Delta t = \mu_{42}\Delta t = 4P_{(3)1}\mu_p \Delta t = \mu_p^{*1}\Delta t$$

Oдавde se, u stvari, dobija uslovni intenzitet opravke TK centrale:

$$\mu_p^{*1} = \frac{4\mu_p^4}{4\mu_p^3 + 4\lambda_p \mu_p^2 + 4\lambda_p^2 \mu_p + \lambda_p^3} \quad (4)$$

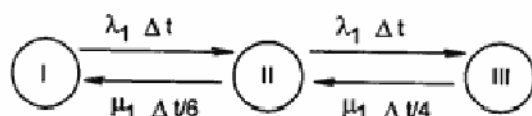
Analizom petog stanja zaključuje se da se ono sastoji od 11 podgrupa koje su međusobno povezane u tri grupe (I – dve linije veze neispravne uz sve moguće varijante stanja TK centrala; II – dve linije veze neispravne uz sve moguće varijante stanja TK centrala; i III – tri linije veze neispravne uz sve moguće varijante stanja TK centrala). Grupa I ima 6 podgrupa, grupa II 4 podgrupe, a grupa III jednu podgrupu. Peto stanje razloženo na tri grupe može se prikazati kao na slici 4.

Verovatnoće da se sistem može naći u jednoj od grupa stanja (I, II ili III) u okviru petog stanja su:

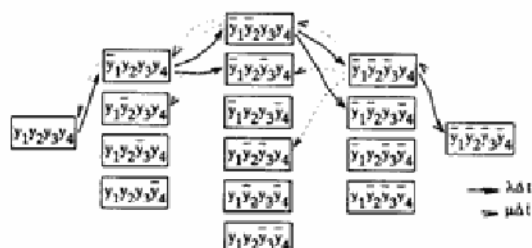
$$\begin{aligned} P_I &= \frac{\mu_v^2}{6\mu_v^2 + 24\lambda_v\mu_v + 24\lambda_v^2} \\ P_{II} &= \frac{6\lambda_v\mu_v}{6\mu_v^2 + 24\lambda_v\mu_v + 24\lambda_v^2} \\ P_{III} &= \frac{24\lambda_v^2}{6\mu_v^2 + 24\lambda_v\mu_v + 24\lambda_v^2} \end{aligned} \quad (5)$$

Za prelaz sistema iz petog stanja u četvrto stanje značajna je grupa I, imajući u vidu da sistem može preći iz petog u četvrto stanje samo ako se nalazi u grupi I i ako je bar jedna TK centrala neispravna. Verovatnoća ovog događaja (da je bar jedna TK centrala neispravna) određuje se na način sličan kao u prethodnom slučaju, polazeći od povezanosti pojedinih stanja TK centrala, što je prikazano na slici 5.

Na sličan način, kao pri analizi trećeg stanja, mogu se odrediti verovatnoće pet grupa podstanja petog stanja, prikazanih na slici 5:



Sl. 4 – Povezanost grupa stanja u okviru petog stanja



Sl. 5. – Prikaz povezanosti stanja TK centrale

$$\begin{aligned} P_{(5)1} &= \frac{\mu_p^4}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4} \\ P_{(5)2} &= \frac{\lambda_p\mu_p^3}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4} \\ P_{(5)3} &= \frac{\lambda_p^2\mu_p^2}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4} \\ P_{(5)4} &= \frac{\lambda_p^3\mu_p}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4} \\ P_{(5)5} &= \frac{\lambda_p^4}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4} \end{aligned} \quad (6)$$

Posredstvom određivanja verovatnoće prelaza sistema iz petog u četvrto stanje:

$$\mu_{52}\Delta t = P_I P_{52} \mu_v \Delta t = \mu_v^{*11} \Delta t,$$

može se odrediti uslovni intenzitet opravke linija veza:

$$\begin{aligned} \mu_v^{*11} &= \frac{\mu_p^4}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4} \cdot \\ &\cdot \frac{\mu_v^3}{6\mu_v^2 + 24\lambda_v\mu_v + 24\lambda_v^2} \end{aligned} \quad (7)$$

gde je $P_{52}=P_{(5)1}$.

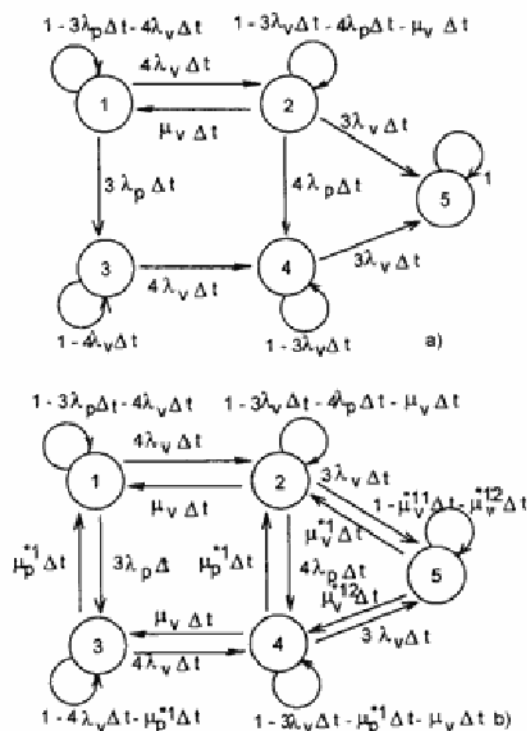
Posredstvom verovatnoće prelaza sistema iz petog u drugo stanje:

$$\mu_{54}\Delta t = P_I P_{54} \mu_v \Delta t = \mu_v^{*12} \Delta t,$$

može se odrediti uslovni intenzitet opravke linija veza

$$\begin{aligned} \mu_v^{*12} &= \left(1 - \frac{\mu_p^4}{\mu_p^4 + 4\lambda_p\mu_p^3 + 6\lambda_p^2\mu_p^2 + 4\lambda_p^3\mu_p + \lambda_p^4} \right) \cdot \\ &\cdot \frac{\mu_v^3}{6\mu_v^2 + 24\lambda_v\mu_v + 24\lambda_v^2} \end{aligned} \quad (8)$$

gde je $P_{54}=4P_{(5)2}+6P_{(5)3}+4P_{(5)4}+P_{(5)5}$



Sl. 6 – Konačan grafički prikaz modela Markova za:
a) pouzdanost sistema, b) raspoloživost sistema

Modeli pouzdanosti i raspoloživosti sistema

Model Markova kojim se analizira pouzdanost i raspoloživost razmatranog sistema, sa unetim uslovnim intenzitetima prelaza, može se grafički prikazati kao na slici 6, gde je:

$$\lambda_v = \lambda_{v1} + \lambda_{v2}; \lambda_p = \lambda_{p1} + \lambda_{p2}$$

$$\mu_v = \mu_{v1}; \mu_p = \mu_{p2}$$

Odgovarajući sistem diferencijalnih jednačina, koje opisuju prelaze i verovatnoće nalaženja u pojedinim stanjima za pouzdanost (za sliku 6 a), glasi:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= -(4\lambda_v + 3\lambda_p)P_1(t) + \mu_v P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= 4\lambda_v P_1(t) - (3\lambda_v + 4\lambda_p + \mu_v)P_2(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= 3\lambda_p P_1(t) - 4\lambda_p P_3(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} &= 4\lambda_p P_2(t) + 4\lambda_v P_3(t) - 4\lambda_v P_4(t) \\ \frac{dP_5(t)}{dt} &= 3\lambda_v P_2(t) + 3\lambda_v P_4(t) \end{aligned} \quad (9)$$

Rešavanjem sistema jednačina (9) na način kao u [1, 2] dolazi se do izraza za pouzdanost kao sume verovatnoća da se sistem nalazi u povoljnim stanjima, tj. $R(t) = P_1(t) + P_2(t)$

$$R(t) = \frac{7\lambda_v + 4\lambda_p + \mu_v - r_1}{r_2 - r_1} e^{-r_1 t} - \frac{7\lambda_v + 4\lambda_p + \mu_v - r_2}{r_2 - r_1} \cdot e^{-r_2 t}$$

gde su:

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{7\lambda_v + 7\lambda_p + \mu_v}{2} - \frac{\sqrt{(7\lambda_v + 7\lambda_p + \mu_v)^2 - 4(12\lambda_v^2 + 12\lambda_p^2 + 25\lambda_v \lambda_p + 3\lambda_p \mu_v)}}{2} \\ r_2 &= \frac{7\lambda_v + 7\lambda_p + \mu_v}{2} + \frac{\sqrt{(7\lambda_v + 7\lambda_p + \mu_v)^2 - 4(12\lambda_v^2 + 12\lambda_p^2 + 25\lambda_v \lambda_p + 3\lambda_p \mu_v)}}{2} \end{aligned}$$

Na sličan način, formirajući sistem diferencijalnih jednačina za raspoloživost, za dijagram stanja na slici 6b, i rešavajući ga, takođe, na analogan način nalazio bi se izraz za raspoloživost ovog sistema. S obzirom na to da je nalaženje

izraza za raspoloživost u funkciji vremena, u ovom slučaju, veoma složeno, pribeglo se traženju izraza za raspoloživost za stacionarno stanje, $A=p_1+p_2$. Pri tome se dobija:

$$A = \left[\begin{array}{l} \frac{A_1 \mu_1 (\mu_v^{*11} + \mu_v^{*12}) [4\lambda_v + 3\lambda_p + \mu_v (A_2 B_1 - A_1 B_2)]}{3\lambda_v A_1 (A_2 B_1 - A_1 B_2) (4\lambda_v + 3\lambda_p)} \\ - \frac{3\lambda_v A_1 (A_2 C_1 - A_1 C_2) (1 + \mu_v)}{3\lambda_v A_1 (A_2 B_1 - A_1 B_2) (4\lambda_v + 3\lambda_p)} \\ + \frac{3\lambda_v \mu_p^{*1} [B_1 (A_2 C_1 - A_1 C_2) - C_1 (A_2 B_1 - A_1 B_2)]}{3\lambda_v A_1 (A_2 B_1 - A_1 B_2) (4\lambda_v + 3\lambda_p)} \end{array} \right] p_3$$

gde su:

$$A_1 = 4\lambda_v \quad B_1 = 3\lambda_v + 4\lambda_p + \mu_v + \mu_p^{*1} \quad C_1 = \mu_v^{*12} + \frac{4\lambda_p (\mu_v^{*11} + \mu_v^{*12})}{3\lambda_v}$$

$$A_2 = \frac{3\lambda_p \mu_v}{4\lambda_v + 3\lambda_p} - 4\lambda_v + \mu_p^{*1} \quad B_2 = \frac{3\lambda_p \mu_v}{4\lambda_v + 3\lambda_p} \quad C_2 = \mu_v + \frac{\lambda_p \mu_v (\mu_v^{*11} + \mu_v^{*12})}{\lambda_v (4\lambda_v + 3\lambda_p)}$$

$$X = 1 + \frac{\mu_p^{*1}}{4\lambda_v + 3\lambda_p} \quad Y = \frac{\mu_v}{4\lambda_v + 3\lambda_p}$$

$$Z = 1 + \frac{\mu_v (\mu_v^{*11} + \mu_v^{*12})}{3\lambda_v (4\lambda_v + 3\lambda_p)} \quad D = A_2 B_1 - A_1 B_2 \quad E = A_2 C_1 - A_1 C_2$$

Zaključak

Prezentirani analitički modeli za pouzdanost i raspoloživost razmatranog telekomunikacionog sistema, dobijeni grupisanjem stanja u kojima se sistem može naći, relativno su jednostavni, a dovoljno precizni, što je osnovni zahtev pri modelovanju. Na osnovu njih može se izvršiti analiza razmatranog sistema.

Na analogan način može se doći i do modela za drugačije konfiguracije istog sistema. Prema kriterijumima vrednosti uložених sredstava i gubitaka kada sistem ne funkcioniše, može se izvršiti detaljna analiza najraznovrsnijih konfiguracija telekomunikacionih sistema od četiri TK centrale, i na osnovu takve analize preporučiti optimalna rešenja, što je samo jedan od ciljeva daljeg rada na modelovanju ovakvih i sličnih sistema.

Literatura:

- [1] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1990.
- [2] Pokorni, S., Ramović R., Parčina N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, zbirka rešenih zadataka, VA VJ, Beograd, 1997.
- [3] Clymes, J. R.: System Analysis Using Simulation and Markov Models, Prentice-Hall Int. Inc., Toronto, 1990.
- [4] Parčina, N., Ramović, R.: Reliability Symulation of Aircraft Data Transfer Main Lines, Warszawa, Prace Instytutu Lotnictwa, 1996.
- [5] Reliability of EWSD, Siemens Information Systems, Munchen, 1990.
- [6] Ramović, R., Pokorni, S., Parčina, N.: Određivanje pouzdanosti sistema metodom konstantnih odnosa intenziteta opravke i otkaza elemenata, Zbornik radova konferencije SYM-OP-IS, 1998, str. 155–158.
- [7] Mikevski, D., Ramović, R.: Model za analizu pouzdanosti i raspoloživosti sistema veza između tri centra, Zbornik radova konferencije SYM-OP-IS, 1999, str. 295–298.
- [8] Danajlić, N., Ramović, R., Pešić, S.: Optimizacija raspoloživosti SIEMENS-ovog EWSD-a, Zbornik radova TELFOR-2000, str. 122–125.
- [9] Lazarević, A.: Modeli za analizu pouzdanosti i raspoloživosti sistema veza sa četiri telekomunikaciona centra, diplomski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1999.
- [10] Ramović, R., Pokorni, S.: Modeli za analizu pouzdanosti i raspoloživosti sistema od četiri u prsten povezane TK centrale, Zbornik radova TELFOR-2001, str. 141–144.
- [11] MIL-HDBK-217E.
- [12] Pokorni, S.: Provera ispunjenja zahtjeva za pouzdanost elektronskih uređaja savremenih aviona, Vojnotehnički glasnik 1/1993.

Mr Dušan Korolija,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

PRIJEMNIK SA DIREKTNOM KONVERZIJOM RADIO-FREKVENCIJSKOG SIGNALA

UDC: 621.396.62 : 681.3.06

Rezime:

Pojačani zahtevi za smanjenje troškova hardvera, veličine i potrošnje uređaja u ćelijskim mobilnim komunikacijama naveli su konstruktore na intenzivniju primenu prijemnika sa direktnom konverzijom. Dugo napušten u senci superheterodinskog prijemnika, prijemnik sa direktnom konverzijom češće je korišćen u poslednjoj deceniji. Prijem sa direktnom konverzijom ima nekoliko prednosti koje ga čine pogodnim za integraciju, kao i za rad u više opsega i za višestandardni rad. U ovom radu opisane su karakteristike prijemnika s direktnom konverzijom, kao i inherentni nedostaci superheterodinskog prijemnika sa stanovišta integracije.

Ključne reči: superheterodinski prijemnik, simetrična frekvencija, direktna konverzija, jednosmerni pomak, softverski radio.

DIRECT CONVERSION OF RADIO-FREQUENCY SIGNAL RECEIVER

Summary:

Increased demands for low cost of hardware, small size and low power consumption of equipment in cellular mobile communications have driven designers to resurrect the direct conversion receiver. Long abandoned in favor of the mature superheterodine receiver, the direct conversion receiver has emerged over the last decade. Direct conversion reception has several qualities which makes it very suitable for integration as well as multi-band, multi-standard operation. This paper describes the characteristics of the direct conversion receiver as well as the inherent imperfections of the superheterodine receiver from the aspect of integration.

Key words: superheterodine receiver, image frequency, direct conversion, DC offset, software radio.

Uvod

Na zadacima razvoja ćelijskih mobilnih komunikacija poslednjih desetak godina angažovan je veliki broj naučnika i istraživača, čiji je zadatak bio da konstruišu optimalan sistem, koji će zadovoljiti interese i potrebe proizvođača, pro-

vajdera i korisnika sistema. Zahtevi koje je mobilni uređaj trebalo da zadovolji bili su: niska cena, mala potrošnja energije, male dimenzije i dobar kvalitet veze. Svi podsistemi mobilnog uređaja (obradu signala u osnovnom opsegu, napajanje, predaja, antena) do sada su u velikoj meri odgovorili ovim zahtevima, osim pri-

jemnika koji se u ovom periodu sporo menjao. Glavna prepreka za ovu promenu bio je heterodinski princip prijemnika, koji je još od dvadesetih godina prošlog veka pa do danas dominantan kod većine prijemnika. Ovaj prijemnik sastoji se od mnogo diskretnih, relativno skupih komponenti koje je teško integrisati kako bi se smanjila cena, potrošnja i ukupne dimenzije prijemnika.

Za rešavanje ovog problema uloženo je dosta napora. Rešenje je nađeno u primeni druge vrste prijemnika – prijemnika sa direktnom konverzijom¹ (PDK), koji je poznat još od 1924. godine. Prvi put ga je koristila britanska kompanija za radio sredinom šezdesetih godina. U odnosu na superheterodinski prijemnik PDK je jednostavniji i ima znatno manje komponenti i nema skupih filtara, pa je pogodniji za integraciju. Uspešno je primenjen kod pejdžera, mobilnih telefona, personalnih računara, satelitskih prijemnika, itd.

U ćelijskim mobilnim komunikacijama danas se koristi više standarda, što znatno otežava korišćenje mobilnog telefona na širim geografskim područjima.² Mali su izgledi da će se i u budućnosti dobiti jedinstveni svetski standard mobilnih komunikacija. Zbog toga se pred mobilne uređaje postavlja i dodatni zahtev da rade sa različitim vrstama rada³ i u više opsega,⁴ što obezbeđuje višestandardni rad. Ovakav zahtev može da zadovolji novi koncept radija – softverski radio. Arhitektura superheterodinskog radija ima više nedostataka i ne može poslužiti

kao hardverska podloga za softverski radio. Arhitektura PDK je i ovde pokazala znatne prednosti i omogućava realizaciju softverskog radija.

Na početku ovog rada analizirani su nedostaci superheterodinskog radija sa stanovišta zahteva savremenih ćelijskih mobilnih uređaja, opisan je PDK i istaknute njegove prednosti u odnosu na superheterodinski prijemnik. Opisani su i nedostaci PDK, na koje su istraživači u svetu poslednjih desetak godina uložili dosta energije da bi ih rešili. Na kraju rada prikazana je primena PDK u softverskom radiju.

Superheterodinski prijemnik

Arhitektura superheterodinskog prijemnika je zbog svoje visoke osetljivosti i selektivnosti u različitim varijantama jezgro skoro svih radio-prijemnika koji su poslednjih 80 godina u upotrebi (profesionalni radio-uređaji, radio i TV prijemnici, GPS prijemnici, itd.). Na slici 1 prikazana je principiska blok-šema superheterodinskog prijemnika.

Kod ovog prijemnika pomoću radio-frekvencijskog (RF) pojasnog filtra izdvaja se, više ili manje selektivno, korisni signal iz mnogobrojnih signala indukovanih u anteni. U malošumnom pojačavaču⁵ korisni signal se pojačava, a filter iza njega služi da oslabi neželjenu simetričnu frekvenciju. Korisni signal se u prvom mešaču množi sa harmonijskim signalom iz prvog lokalnog oscilatora. Rezultat toga je translacija spektra korisnog signala na određenu, višu ili nižu frekvenciju. Ako se sa f_k obeleži central-

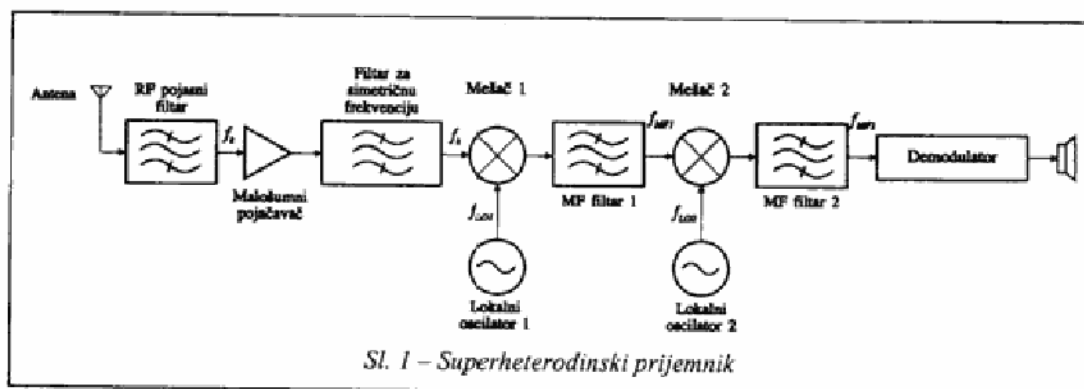
¹ Direct conversion receiver

² Roaming service

³ Multimode

⁴ Multiband

⁵ Low noise amplifier (LNA)



na frekvencija spektra korisnog signala, a sa f_{LO1} frekvencija signala prvog lokalnog oscilatora, tada se na izlazu međufrekvencijskog (MF) filtra 1 dobija centralna frekvencija transliranog spektra korisnog signala (takozvana prva međufrekvencija):

$$f_{MF1} = f_k \pm f_{LO1} \quad (1)$$

Pri promeni radne frekvencije za Δf i frekvencija prvog lokalnog oscilatora menja se za isti iznos. Na taj način se na izlazu prvog mešača uvek dobija korisni signal konstantne centralne frekvencije f_{MF1} . Zahvaljujući tome svi sklopovi iza prvog mešača podešeni su na fiksnu frekvenciju, čime se potrebna selektivnost, pojačanje i stabilnost jednostavnije postižu nego da se to izvodi pri promenljivoj frekvenciji. Pomoću drugog mešača i drugog lokalnog oscilatora spektar korisnog signala se translira na nižu frekvenciju (u odnosu na frekvenciju RF signala) koja je pogodna za dalju obradu (filtriranje, pojačanje i demodulacija). Sa stanovišta selektivnosti i osetljivosti ovo rešenje translacije spektra korisnog signala na fiksnu međufrekvenciju dalo je znatnu prednost superheterodinskom prijemniku u odnosu na ostale postojeće vrste pri-

jemnika, zbog čega je i dominirao u radio-tehnici dugi niz godina.

Sa stanovišta optimizacije arhitekture savremenog mobilnog uređaja radi njegove minijaturizacije, smanjenja cene i potrošnje energije, glavni nedostaci superheterodinskog prijemnika su:

- potreba za relativno skupim i glomaznim filtrima koje je teško integrisati i koji nisu pogodni za promenu propusnog opsega,

- postojanje simetrične frekvencije.⁶

Kod superheterodinskog prijemnika se iza mešača nalaze međufrekvencijski filtri, koji daju glavni doprinos selektivnosti čitavog prijemnika. Zbog toga ovi filtri zahtevaju rezonatore sa visokim Q faktorom. Što je viša međufrekvencija (manji odnos širine međufrekvencije i njene centralne frekvencije) to je potreban veći Q faktor. Visoki zahtev za Q faktorom postiže se korišćenjem filtara sa površinskim akustičnim talasom,⁷ piezoelektričnih ili kristalnih filtara. Potreba za visokim Q faktorom unosi dodatna ograničenja, jer ovi filtri često zahtevaju neuobičajene završne impedanse, i podešavanja propusnog opsega filtra mogu pogoršati šum, pojačanje, linearnost i

⁶ Image frequency

⁷ Surface-acoustic-wave filter (SAW)

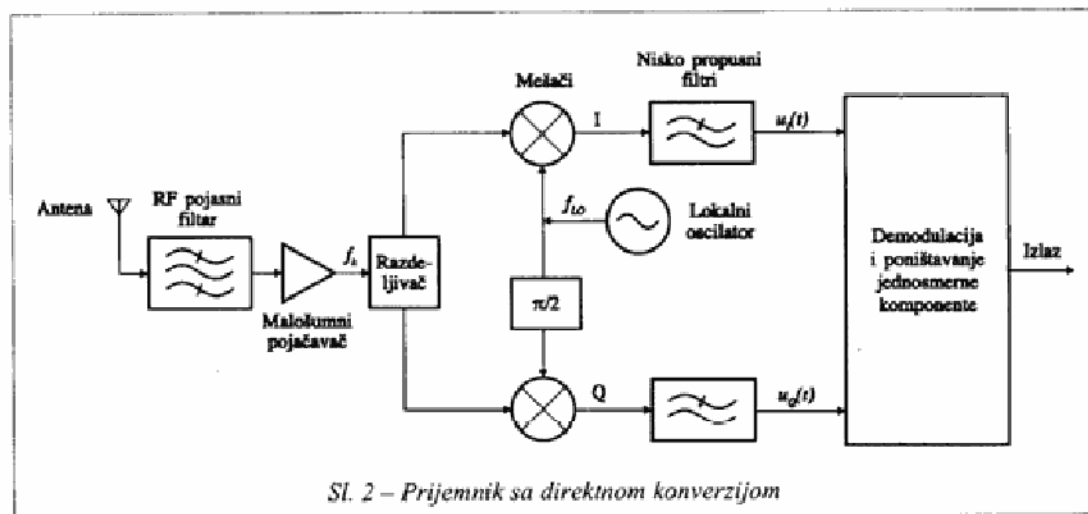
disipaciju snage susednih aktivnih stepena. Što je manji odnos širine međufrekvencije i centralne frekvencije to je propusna karakteristika filtra osetljivija na varijacije vrednosti podešavajućih elemenata. Zato je širina opsega međufrekvencijskog filtra podešena na određeni signal i nije je pogodno podešavati za drugi. To znači da superheterodinski prijemnik nije pogodan za višestandardni rad.

Kod superheterodinskog prijemnika frekvencija f_s koja je za $2f_{FMI}$ udaljena od frekvencije f_k i to na onu stranu na kojoj je frekvencija f_{LOI} , predstavlja simetričnu frekvenciju. Ako se signal ove frekvencije probije od prvog mešača, on dalje prolazi kroz prijemnik na isti način kao i korisni signal na frekvenciji f_k i izaziva neželjeni odziv prijemnika. Zbog visoke verovatnoće pojavljivanja ovog signala kod ovog prijemnika je potrebno preduzeti mere za slabljenje ove frekvencije. Jedna od njih je postavljanje filtra za potiskivanje simetrične frekvencije između malošumnog pojačavača i prvog mešača. Ovaj filter je najčešće pasivan. Pored toga što povećava troškove prijemnika i što

ga je teško integrisati, on postavlja i dodatni zahtev za malošumni pojačavač – njegovo prilagođavanje na ulaznu impedansu filtra od 50Ω . Dvostrukim mešanjem kod superheterodinskog prijemnika smanjuje se uticaj simetrične frekvencije na taj način što se uzima visoka prva međufrekvencija (čak i viša od f_k), ali je i kod njega neophodan filter za potiskivanje simetrične frekvencije. Odavno su poznate dve arhitekture prijemnika koje dobro eliminišu simetričnu frekvenciju i kod kojih posle malošumnog pojačavača nije potreban filter za gušenje simetrične frekvencije, a to su arhitekture Hartley i Weaver za potiskivanje simetrične frekvencije [1].

Prijemnik sa direktnom konverzijom

Na slici 2 prikazan je PDK, koji rešava dobar deo nedostataka superheterodinskog prijemnika sa stanovišta miniaturizacije, smanjenja cene, smanjenja potrošnje energije i mogućnosti višestandardnog rada.



Prva dva sklopa PDK – RF pojasni filter i malošumni pojačavač isti su kao i kod superheterodinskog prijemnika. Kod ovog prijemnika frekvencija lokalnog oscilatora f_{LO} jednaka je frekvenciji korisnog signala f_k , tako da je:

$$f_k - f_{LO} = 0 \quad (2)$$

Na osnovu jednačine (2) može se zaključiti da ovaj prijemnik nema međufrekvenciju, tj. da je međufrekvencija jednaka nuli, tako da se na izlazu niskopropusnih filtera u I i Q grani dobija signal u osnovnom opsegu:

$$\begin{aligned} u_I(t) &= U(t)\cos[\phi(t)] \\ u_Q(t) &= -U(t)\sin[\phi(t)] \end{aligned} \quad (3)$$

gde je informacija sadržana u fazi $\phi(t)$ i/ili u amplitudi $U(t)$. Kvadraturene komponente dalje se obrađuju u demodulatoru. Zbog toga što je kod ovog prijemnika međufrekvencija jednaka nuli, on se naziva i prijemnik sa nula-međufrekvencijom.⁸ U teoriji digitalnih demodulatora kod prijemnika na slici 2 mešači sa lokalnim oscilatorom predstavljaju deo demodulatora, zbog čega se ovaj prijemnik često naziva i direktni.

Prijemnik sa direktnom konverzijom ima više prednosti u odnosu na superheterodinski prijemnik. Budući da je kod ovog prijemnika međufrekvencija jednaka nuli on nema simetričnu frekvenciju. Zbog toga nisu potrebni sklopovi koji smanjuju uticaj ove frekvencije – filter za slabljenje simetrične frekvencije i sklopovi za drugu međufrekvenciju. Kod ovog prijemnika koristi se samo

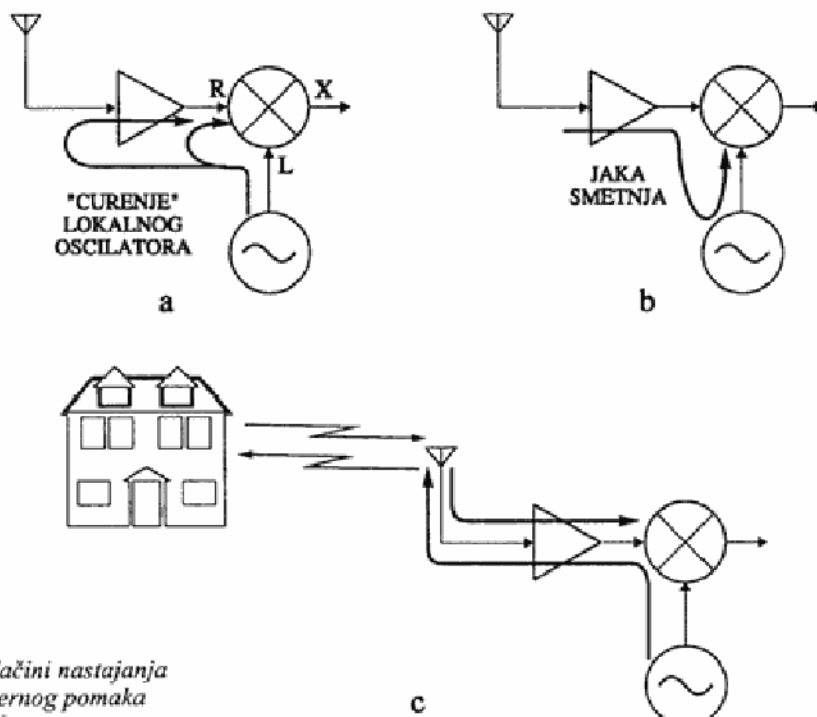
jedan lokalni oscilator, što znači da se unosi samo fazni šum jednog lokalnog oscilatora. Kako se na izlazu mešača ovog prijemnika izdvaja signal u osnovnom opsegu, nisu mu potrebni glomazni međufrekvencijski filteri sa velikim Q faktorom, već se na izlazu mešača koriste jednostavni niskopropusni filteri. Ovaj prijemnik podešava se na signale različite širine u osnovnom opsegu jednostavnim podešavanjem gornje granične frekvencije niskopropusnih filtera u I i Q grani.

Pored prednosti u odnosu na superheterodinski prijemnik, PDK ima i ozbiljne inherentne nedostatke, koji su ga dugi period držale u senci superheterodinskog koncepta.

Pošto se korisni RF signal kod direktne konverzije odmah konvertuje u osnovni opseg, sa relativno slabim filtriranjem u RF pojasom filteru, različiti fenomeni doprinose stvaranju jednosmernih signala (jednosmerni pomak),⁹ koji se direktno pojavljuju kao ometajući signali u osnovnom opsegu korisnog signala. Signal lokalnog oscilatora može, konduktivnim ili radijacionim putem, da stigne na RF ulaz (R port) mešača i, mešajući se sa samim sobom, da proizvede jednosmernu komponentu na izlazu mešača (sl. 3a). Ako ovo „curenje“ signala lokalnog oscilatora stigne na ulaz malošumnog pojačavača proizvodi još jače ometanje (sl. 3a). Ovaj efekat predstavlja veliku teškoću pri integraciji lokalnog oscilatora, mešača i malošumnog pojačavača na jednom silikonskom substratu, gde brojni mehanizmi mogu doprineti slaboj izolaciji. Sa druge strane, jaka

⁸ Zero-IF receiver

⁹ DC offset



Sl. 3 – Načini nastajanja jednosmernog pomaka kod PDK

smetnja u blizini korisnog signala (koju propušta RF pojasni filter), pojačana u malošumnom pojačavaču, može doći do ulaza za lokalni oscilator (L-port) i na taj način izazvati mešanje sa samim sobom i proizvesti jednosmernu komponentu (sl. 3b). I kod superheterodinskog prijemnika i kod PDK postoji mogućnost da deo energije lokalnog oscilatora konduktivnim putem preko mešača, malošumnog pojačavača i RF pojasnog filtra (zbog njihove nedovoljne reverzne izolacije) dođe do antene, koja je zrači u okolni prostor. Ovaj signal pojavljuje se kao smetnja za ostale prijemnike u blizini. Kod PDK ova pojava može izazvati i jednosmerni signal u osnovnom opsegu. Naime, zračeni signal može se odbiti od zgrada i pokretnih objekata i vratiti u

prijemnik (sl. 3c). Ipak, ovaj efekat kod ovog prijemnika je manje opasan za stvaranje jednosmernog pomaka od „curenja“ lokalnog oscilatora i jake smetnje.

„Curenje“ signala iz lokalnog oscilatora ili RF signala na neodgovarajući ulaz mešača nije jedini način na koji se neželjeni jednosmerni signal može proizvesti. Sklopovi prijemnika koji imaju nelinearnost parnog reda će, takođe, proizvesti jednosmernu komponentu signala.

Da li će jednosmerni pomak učiniti prijemnik manje osetljivim zavisi od tipa sistema. Očigledno je da kapacitivna sprega na izlazu mešača eliminiše jednosmernu komponentu. Neke modulacione tehnike kao, na primer, modulacija sa frekvencijskim pomeranjem (FSK), pokazuju malu degradaciju ako se iz spek-

tra odstrane niske frekvencijske komponente, pa se uticaj jednosmernog pomaka eliminiše pomoću kondenzatora na izlazu mešača. Međutim, neke modulacione tehnike imaju značajnu spektralnu snagu na niskim frekvencijama, pa će kapacitivna sprega izazvati značajan gubitak signala, kao i degradaciju verovatnoće greške u prenosu. Zato se za eliminaciju jednosmernog pomaka koriste druge metode. Jedna od njih zasniva se na primeni digitalnog signala procesora (DSP) u okviru obrade signala u osnovnom opsegu.

Sledeći problem kod PDK je nelinearnost. Kao i superheterodinski prijemnik i PDK je izložen sporednim neželjenim odzivima, koji su posledica nelinearnosti malošumnog pojačavača i mešača. Kod superheterodinskog prijemnika oni se pojavljuju pri ulaznim RF sporednim frekvencijama f_{NO} , pri kojima je:

$$|nf_{NO} \pm mf_{LO}| = f_{MF} \quad (4)$$

a kod PDK na sporednim frekvencijama f_{NO} pri kojima je:

$$nf_{NO} - mf_{LO} = 0 \quad (5)$$

Ako se na ulazu PDK nalazi RF signal:

$$u_{RF} = U \cos(\omega t) \quad (6)$$

i pod pretpostavkom da je nelinearnost prijemnika modelovana polinomom:

$$u_z(u_{RF}) = a_1 u_{RF} + a_2 u_{RF}^2 + a_3 u_{RF}^3 + \dots \quad (7)$$

dobiće se izlazni signal u kojem se nalazi i jednosmerna komponenta:

$$\begin{aligned} u_z(u_{RF}) &= a_1 U \cos(\omega t) + \\ &+ a_2 U^2 \left(\frac{\cos(2\omega t) + 1}{2} \right) + \dots \\ &= \underbrace{\frac{a_2 U^2}{2}}_{\text{jednosmerna komponenta}} + a_1 U \cos(\omega t) + \\ &+ \frac{a_2 U^2}{2} \cos(2\omega t) + \dots \end{aligned} \quad (8)$$

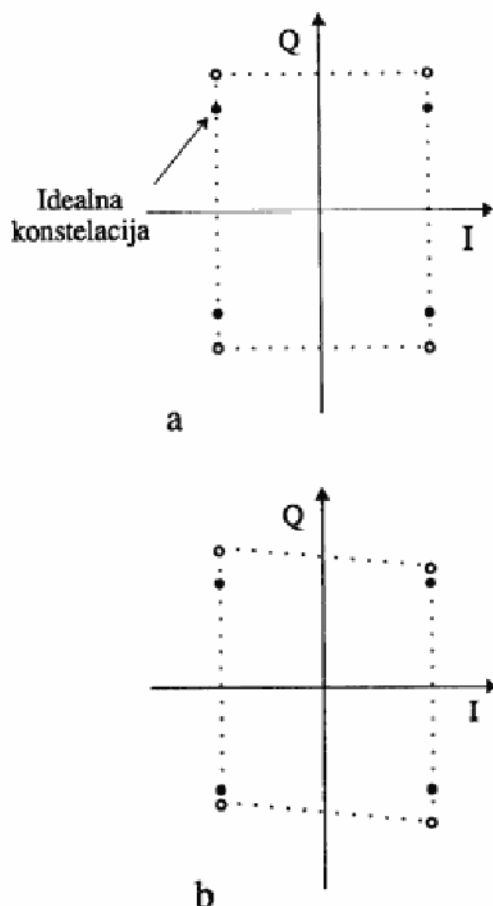
Važno je uočiti da kod PDK, zbog njegove nelinearnosti, jak ometajući RF signal izaziva jednosmernu komponentu na izlazu mešača bez obzira na to da li je taj signal na sporednoj frekvenciji ili ne. Ova komponenta se pojavljuje na izlazu mešača primarno usled nelinearnosti PDK drugog reda, koja se karakteriše tačkom preseka¹⁰ drugog reda IP(2).

Zbog visoke frekvencije lokalnog oscilatora, kod PDK nije moguće realizovati digitalni IQ demodulator. Analogni IQ demodulator karakteriše nejednaka podešenost dveju grana. Zbog toga dolazi do narušavanja potrebnog faznog i amplitudnog odnosa između signala u IQ granama (slika 4), a time i do greške u demodulisanoj signalu. Tipično, poželjno je držati amplitudsku nepodešenost ispod 1dB i faznu nepodešenost ispod 5°. Zahvaljujući usavršavanju monolitne integracije to postaje sve dostižnije.

Mada je koncept PDK dao rešenja na mnoge konstrukcione probleme, doveo je i do komplikacija pri realizaciji. Samo mali broj kompanija uspeo je da realizuje PDK, i to u frekvencijskom opsegu pejdžera i bežičnih telefona do 900

¹⁰ Intercept point

MHz. Na otvorenom tržištu jedino kompanija Analog Devices nudi GSM čip set Othelo sa direktnom konverzijom (frekvencijski opseg 880 MHz do 960 MHz i 1710 MHz do 1880 MHz) [2].



Sl. 4 – *Nebalansiranost analognog IQ demodulatora:*
a – nebalansiranost pojačanja, b – fazna nebalansiranost

Prijemnik sa konverzijom na nisku međufrekvenciju

Zbog teškoća pri otklanjanju nedostataka kod PDK, odnedavno se pojavila arhitektura prijemnika kod koje su elimi-

nisani glavni nedostaci PDK, a istovremeno zadržane sve njegove prednosti. To je prijemnik kod kojeg se koristi konverzija RF signala na nisku međufrekvenciju, koja obično iznosi oko širine jednog kanala. Tako, na primer, ako je širina kanala 1 MHz međufrekvencija se postavlja između 500 kHz i 1,5 MHz. Ovaj prijemnik naziva se i prijemnik sa međufrekvencijom blizu nule.¹¹ Kod ovog prijemnika odnos širine međufrekvencije i njene centralne frekvencije je veliki, pa je međufrekvencijski filter moguće realizovati sa komponentama koje imaju mali Q faktor. Međufrekvencijski filter sa površinskim akustičnim talasom ili kristalni filter, potrebni u slučaju visoke međufrekvencije, mogu se zameniti aktivnim RC filtrom ili nekim drugim filtrom za niske frekvencije, koji su pogodni za silikonsku integraciju. Niska međufrekvencija može se translirati u osnovni opseg pomoću dodatnog mešača ili, još bolje, u digitalnom domenu dovođenjem međufrekvencijskog signala na analogno-digitalni konvertor. U [3] su opisani postupci ove translacije.

Primena PDK u softverskom radiju

Na slici 5 prikazana je arhitektura idealnog softverskog prijemnika.

Idealni softverski prijemnik na sadašnjem tehnološkom i tehničkom stepenu razvoja još je teško realizovati. Glavna prepreka je analogno/digitalni (A/D) konvertor koji se ne može upotrebiti na radio-frekvencijama zbog rigoroznih zahteva koje on mora da zadovolji (viso-

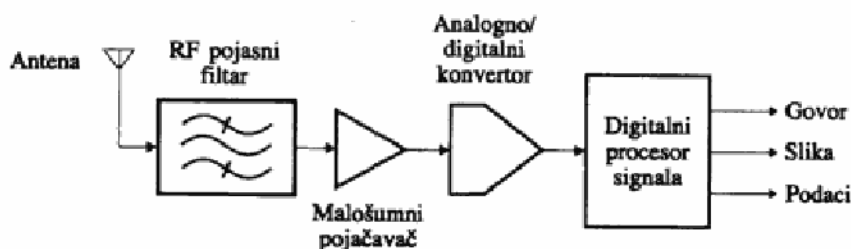
¹¹ Near-zero IF-NZIF

ka frekvencija uzorkovanja, visoka rezolucija, efekat džitera itd.). Zbog toga se vrši translacija signala na nižu frekvenciju na kojoj se obavlja A/D konverzija. Princip heterodinskog prijemnika nije pogodan za realizaciju softverskog prijemnika, zbog svih njegovih ranije nabrojanih nedostataka (simetrična frekvencija, glomazni i skupi filtri, nepogodnost za višestandardni rad, itd.).

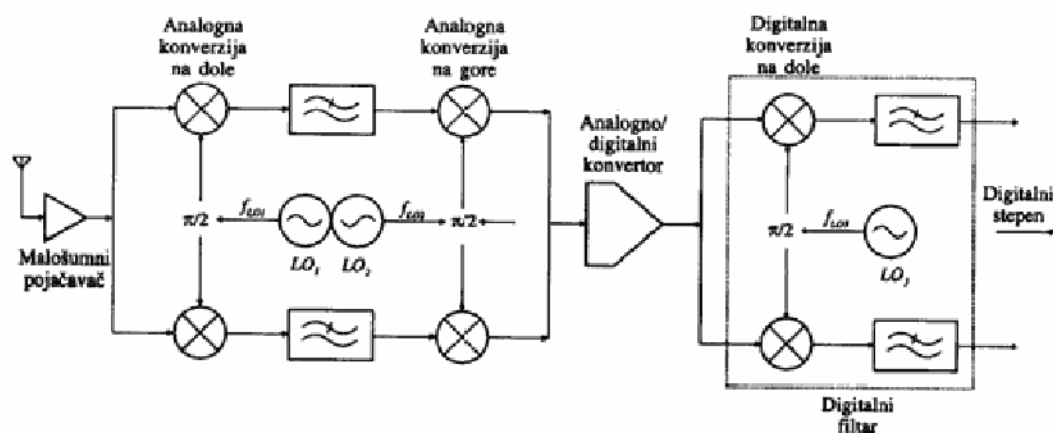
Koncept PDK može se upotrebiti za implementaciju softverskog prijemnika. Pri tome se signali u I i Q granama posle mešanja vode na niskopropusne filtre, kojima se programski menja gornja granična frekvencija u slučaju promene vrste rada. Zatim se ovi signali konvertuju

iz analognog u digitalni oblik pomoću IQ A/D konvertora. Izlaz iz A/D konvertora vodi se u digitalni stepen gde se selekcija potrebnih kanala ostvaruje pomoću softverski definisanih filtara sa programabilnom graničnom frekvencijom. Nedostatak ove konfiguracije je pojava neželjenih odziva u blizini $f = 0$ (jedsosmer-na komponenta). Zbog toga se koristi nešto složenija konfiguracija softverskog prijemnika u kojem se, takode, koristi koncept PDK (slika 6) [4].

Kod ovog prijemnika prijemni signal se direktno konvertuje u osnovni opseg, gde se ceo ulazni opseg grubo selektuje u niskopropusnom filtru. Posle filtriranja cela širina opsega signala se transli-



Sl. 5 – Idealni softverski radio-prijemnik



Sl. 6 – Primena PDK u softverskom prijemniku

ra na programabilnu međufrekvenciju. Međufrekvencijski signal ima tačno određenu širinu. Nakon toga signal se digitalizuje i digitalno translira u osnovni opseg.

Zaključak

Zbog prednosti u odnosu na superheterodinski prijemnik, PDK će u budućnosti nalaziti sve veću primenu, naročito u onim uređajima gde se traži mala potrošnja, male dimenzije, niski troškovi sastavnih delova i višestandardni rad.

U ćelijskim mobilnim komunikacijama trenutno je važna tranzicija od mobilnih uređaja koji prenose samo glas ka uređajima koji prenose i podatke i sliku. Standardizovani servis koji GSM sistemu omogućava ovu tranziciju jeste GPRS (General Packet Radio Service), kao ključni element za premošćavanje procesa između druge generacije (2G) mobilnih uređaja za prenos govora i multime-

dijalno orijentisanih uređaja treće generacije (3G). Koncept softverskog radija i arhitektura PDK i prijemnika sa konverzijom na nisku međufrekvenciju predstavljaju jaku podršku razvoja 3G.

Efekti primene PDK značajni su i za vojnu primenu, posebno kod ručnog i prenosnog radio-uređaja, koji se po zahtevima sve više približavaju univerzalnom mobilnom terminalu treće generacije mobilnih komunikacija. Zbog toga je angažovanost na istraživanju i praćenju trendova razvoja ćelijskih mobilnih komunikacija sve intenzivnija.

Literatura:

- [1] Mashhour, A.; Domino, W.; Beamish, N.: On the direct conversion receiver – a tutorial, *Microwave Journal*, June, 2001.
- [2] Mannion, P.: Direct conversion prepares for cellular prime time, *Electronic Design*, November 22, 1999.
- [3] Droinet, Y.: Advanced RF technologies for the wireless market, *Microwave Journal*, September, 2001.
- [4] Zgonjanin, D.; Mitrevski, K.; Zelenbaba, Lj.: Software radio: Principles and overview, IX Telekomunikacioni Forum, Beograd, 2001.
- [5] Sunjevarić, M.: Radio-tehnika 1 – skripta, Vojnotehnička akademija, Beograd, 2002.

ISTRAŽIVANJE UTICAJA NEKIH PARAMETARA NA OSETLJIVOST EKSPLOZIVNIH MATERIJA NA TOPLOTNI IMPULS

UDC: 662.1/4 : 620.181.4

Rezime:

Ispitivana je osetljivost nekoliko vrsta eksplozivnih materija na toplotni impuls merenjem vremena zadržke u zavisnosti od temperature. Na osnovu eksperimentalnih rezultata određene su vrednosti energije aktivacije i predeksponencijalni faktori u jednačini Semjonova. Istraživan je i uticaj mase ispitivanog uzorka, granulacije i veličine kristala eksploziva na osetljivost na toplotni impuls. Pokazano je da ovi parametri imaju značajan uticaj na osetljivost eksplozivnih materija, pa je neophodno standardizovati postupak pripreme uzoraka za ispitivanje, kako bi rezultati bili međusobno uporedivi.

Ključne reči: eksplozivne materije, toplotni impuls, energija aktivacije, masa uzorka, granulacija uzorka, veličina kristala uzorka.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SOME PARAMETERS ON EXPLOSIVES SENSITIVITY TO HEAT IMPULSE

Summary:

Sensitivity of several types of explosives to heat impulse has been examined by measuring the delay time as a function of temperature. The values of activation energy and the pre-exponential factors in the Semionov equation have been determined on the basis of the experimental results. The effects of the examined sample mass, granulation and crystal size on the sensitivity to heat impulse have been also investigated. These parameters are shown to have a significant effect on the sensitivity of explosives. Therefore, it is necessary to standardize the procedure of test sample preparation in order to get comparable results.

Key words: explosives, heat impulse, activation energy, sample mass, sample granulation, sample crystal size.

Uvod

Proces eksplozivnog, odnosno spontanog hemijskog razlaganja eksplozivnih materije, može se inicirati dejstvom nekog spoljnog impulsa, čija veličina i oblik zavise od vrste i sastava eksplozivne materije, kao i uslova u kojima se vrši inicijacija.

Osetljivost eksplozivnih materija na različite početne impulse jedan je od najvažnijih kriterijuma za proizvodnju, čuvanje, transport, manipulaciju i primenu ubojnih sredstava u kojima su one laborisane.

Sa praktičnog stanovišta, eksplozivne materije moraju zadovoljiti dva kontradiktorna zahteva: s jedne strane, uz pridržavanje odgovarajućih propisa, one

moraju da budu bezbedne pri čuvanju, transportu i manipulaciji, dok, s druge strane, moraju da budu dovoljno osetljive da reaguju na odgovarajući spoljni impuls kada se to od njih očekuje.

U odnosu na osetljivost eksplozivnih materija na spoljno dejstvo određuje se i veličina početnog ili inicijalnog impulsa, koji je, pri određenim uslovima, potreban za pobuđivanje eksplozivnih procesa. Ne postoje apsolutni pokazatelji osetljivosti eksplozivnih materija na osnovu kojih se pouzdano može proceniti minimalan impuls potreban za inicijaciju. To je posledica složenosti fenomena inicijacije. Osetljivost ne zavisi samo od hemijske strukture eksplozivnih materija nego i od velikog broja faktora fizičke prirode, od kojih se neki odnose na fizičko stanje eksplozivnih materija, a drugi na uslove u kojima se odvija proces inicijacije. Podaci o osetljivosti eksplozivnih materija predstavljaju samo statističke parametre na osnovu kojih se može utvrditi kolika je verovatnoća da u određenim uslovima može doći do inicijacije. Ako se spoljni uslovi ili fizičko stanje eksplozivnih materija promene, za istu jačinu impulsa verovatnoća inicijacije može se mnogostruko izmeniti.

Količina energije neophodna za iniciranje procesa eksplozivnog razlaganja za istu eksplozivnu materiju menja se u širokim granicama, što, pre svega, zavisi od oblika početnog impulsa i načina prenosa energije na eksplozivnu materiju.

U uslovima brzog zagrevanja eksplozivnih materija, koje se ostvaruje pri visokim temperaturama, iniciranje procesa eksplozivnog razlaganja može se postići mnogo manjom količinom energije

nego u uslovima sporog zagrevanja koje se ostvaruje pri nižim temperaturama. Do analogne pojave dolazi i pri mehaničkom spoljnom dejstvu na eksplozivne materije. Pri sporom sabijanju nekih eksplozivnih materija relativno male osetljivosti, do inicijacije neće doći čak ni pri visokim pritiscima i relativno velikoj količini utrošene energije. S druge strane, u uslovima brzog sabijanja, koje ima karakter udara, inicijacija procesa eksplozivnog razlaganja može se izazvati sa mnogo manjim količinama energije.

Za inicijaciju eksplozivnog razlaganja nije presudna količina energije, već koncentracija energije u vremenu i prostoru, jer se na taj način mnogo brže dostiže energetska barijera za otpočinjanje procesa razlaganja na nivou molekula eksplozivne materije.

Proces eksplozivnog razlaganja može se inicirati različitim početnim impulsima, kao što su:

- toplotni (zagrevanje, plamen, iskra, usijano telo i dr.),
- mehanički (udar, trenje, smicanje, rezanje, prostrel zrna, potres pri opaljenju i dr.),
- eksplozivni (energija eksplozije inicijalne ili druge brizantne eksplozivne materije),
- dejstvo ultrazvuka, lasera, elektrona, jona, rendgenskih zraka i nuklearnih čestica.

Za iniciranje inicijalnih eksplozivnih materija u praksi se uglavnom primenjuju mehanički (udar i trenje) i toplotni (plamen, iskra, usijana žica) početni impuls. Pobuđivanje detonacije brizantnih eksploziva postiže se udarnim talasom inicijalnih eksplozivnih materija, dok se

pripaljivanje potisnih eksplozivnih materija vrši toplotnim impulsom u obliku plamena.

Osetljivost eksplozivnih materija na toplotni impuls

Toplotni impuls može delovati na eksplozivne materije u obliku homogenog i lokalnog zagrevanja.

Homogeno (lagano) zagrevanje odvija se po čitavoj masi eksplozivne materije, izvorom toplote bez plamena, do neke kritične temperature (temperature samopaljenja). Dalji razvoj procesa eksplozivnog razlaganja odvija se po zakonu toplotne eksplozije, po kojem dolazi do samozapaljenja eksplozivne materije usled narušene ravnoteže između oslobađanja toplote i njene razmene sa okolinom. Inicirani proces sagorevanja dalje može preći u detonaciju, zavisno od vrste eksplozivne materije i uslova u kojima je izvršeno iniciranje. Kod inicijalnih eksplozivnih materija proces, po pravilu, prelazi u detonaciju.

Lokalno zagrevanje (plamen, varnica, usijana žica) primenjuje se za pripalu baruta i raketnih goriva pri opalenju projektila, kao i za pobuđivanje detonacije u detonatorima. U tom slučaju uspostavlja se značajan gradijent temperature, pri čemu je karakteristična pojava lokalne zone razlaganja koja se kroz eksplozivnu materiju širi samorasprostrućim mehanizmom.

Kao mera osetljivosti eksplozivnih materija na toplotni impuls obično služi temperatura paljenja, odnosno vreme zadržke (period indukcije).

Za eksplozivne materije veza između vremena zadržke i temperature palje-

nja se izražava pomoću zavisnosti koju je prvi dao Semjonov [1], i koja glasi:

$$\tau = Ce^{\frac{E}{RT}} \quad (1)$$

gde je:

τ – vreme zadržke (s),

E – energija aktivacije procesa eksplozivnog razlaganja eksplozivne materije (J/mol),

R – univerzalna gasna konstanta (8,314 J/molK),

C – konstanta koja zavisi od sastava eksplozivne materije,

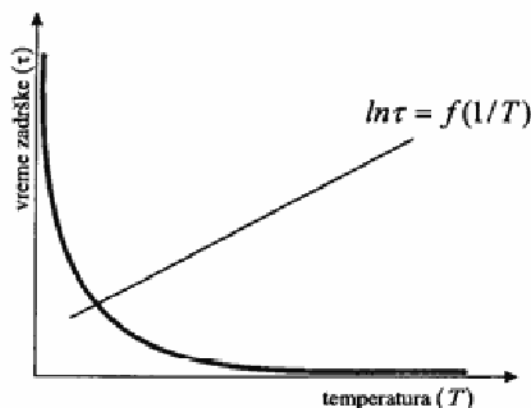
T – temperatura paljenja eksplozivne materije (K).

Na osnovu izraza Semjonova očigledno je da se sa smanjenjem energije aktivacije i povećanjem temperature zagrevanja vreme zadržke eksponencijalno smanjuje (slika 1).

Zavisnost (1) pogodno je predstaviti u linearnom obliku:

$$\ln \tau = \ln C + \frac{E}{RT} \quad (2)$$

Izraz (2) pokazuje da između logaritma vremena zadržke i recipročne tem-



Sl. 1 – Zavisnost vremena zadržke od temperature

perature postoji linearna zavisnost koja omogućuje određivanje energije aktivacije eksplozivnih materija.

Osetljivost eksplozivnih materija može varirati u širokim granicama, zavisno od uticaja različitih parametara. Osnovni parametri koji utiču na osetljivost su: temperatura, toplotni kapacitet i toplotna provodljivost, isparljivost, agregatno stanje, struktura, gustina, veličina i oblik kristala, prisustvo primesa i dr. Njihov uticaj ispoljava se na osetljivost u različitom stepenu, zavisno od karaktera početnog impulsa koji se primenjuje za iniciranje eksplozivne materije.

Opis eksperimenta

Za ispitivanje osetljivosti na toplotni impuls odabrano je sedam različitih eksplozivnih materija, od kojih je jedna barut (pogonska EM), a šest su čisti brižantni eksplozivi ili njihove smeše. Sastav ispitivanih eksplozivnih materija prikazan je u tabeli 1.

Ispitivanje osetljivosti EM na toplotni impuls obavljano je na standardnom uređaju marke „Jullius Peters“, a temperatura paljenja prema standardu JUS H.D8.004 [2]. Priprema uzoraka obuhvatala je njihovo usitnjavanje i sušenje, a za ispitivanje su odmeravane konstantne mase uzorka od po 0,200 g. Sva ko merenje obavljano je sa po šest ponavljanja pri istim uslovima.

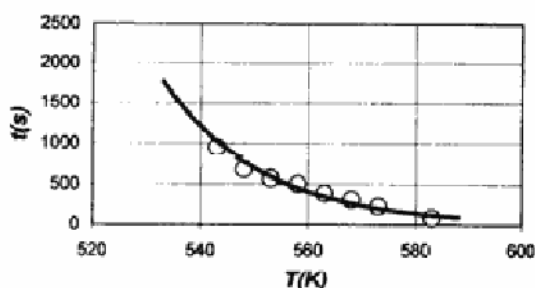
Pri određivanju vremena zadržke pre početka merenja uređaji su temperirani na zadatoj temperaturi u trajanju od 60 minuta. Vreme do paljenja registrovano je štopericom na osnovu zvučnog ili vizuelnog efekta pri paljenju.

Određivanje temperature paljenja obavljano je pri brzini grejanja od 10°C/min.

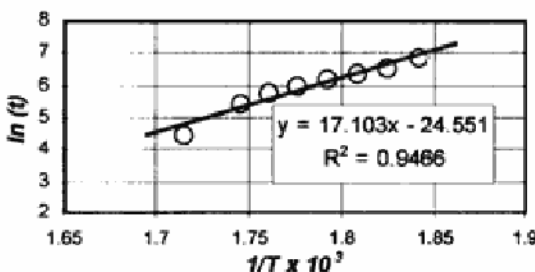
Rezultati i diskusija

Određivanje vremena indukcije ispitivanih EM obavljeno je na nekoliko temperatura sa po šest ponavljanja. Na osnovu dobijenih vremena računato je srednje vreme zadržke na datoj temperaturi. Rezultati eksperimentalnog određivanja vremena zadržke ispitivanih EM na različitim temperaturama prikazani su na tabeli 2, a na slici 2 grafička zavisnost vremena zadržke od temperature za TNT. Kao što se vidi, ta zavisnost je u skladu sa jednačinom Semjonova (1), što je potvrđeno i za ostale ispitivane eksplozivne materije.

Na osnovu logaritamske zavisnosti $\ln t - 1/T$ (slika 3) određene su energije



Sl. 2 – Zavisnost vremena zadržke od temperature za TNT



Sl. 3 – Zavisnost logaritma vremena zadržke od recipročne vrednosti temperature za TNT

Eksplzivna materija	Sastav
Barut	sferični jednobazni barut sa 1% DFA
Trotil (TNT)	čist
Heksogen (RDX)	čist
Pentrit (PETN)	čist
Oktol	HMX 96%, TNT 6%, vosak 1%
Oktogen (flegmatizovani)	HMX 96%, flegmatizatora 4%
Heksotol	RDX 93%, TNT 6%, vosak 1%

Rezultati merenja vremena zadržke u zavisnosti od temperature

Tabela 2

Barut		Pentrit		RDX		Heksotol		HMX		Oktol		TNT	
T(K)	τ (s)	T(K)	τ (s)	T(K)	τ (s)	T(K)	τ (s)	T(K)	τ (s)	T(K)	τ (s)	T(K)	τ (s)
443	743	433	783	463	2723	473	1314	523	1034	533	188	543	949
453	202,3	443	432	473	965	483	723	528	593	543	134	548	686
463	141,3	453	245	483	343	493	299	533	372	548	125	553	573
468	120	463	168	488	211	503	143	538	240	553	115	558	503
473	91,6	473	118	493	154	513	72	543	151	558	105	563	390
478	81,6	483	88	498	101	518	51	548	94	563	97	568	313
483	67,6	493	50	503	61			553	62	568	83,5	573	229
488	55									573	63	583	87
493	35									578	54		
										583	43		

Vrednosti parametara u jednačini Semjonova za ispitivane EM

Tabela 3

Vrsta EM	Energija aktivacije (KJ/mol) [3,4]	Energija aktivacije, dobijena proračunom (KJ/mol)	Predeksponencijalni faktor
Barut	100,4	90,9	$9 \cdot 10^{-10}$
Trotil (TNT)	143,9	148,1	$2,054 \cdot 10^{-11}$
Heksogen (RDX)	197,1	188,4	$8,003 \cdot 10^{-18}$
Heksotol		151,5	$3,583 \cdot 10^{-14}$
Oktogen (flegmatizovani)	221	224,4	$4,356 \cdot 10^{-20}$
Oktol		71,2	$2,37 \cdot 10^{-5}$
Pentrit (PETN)	176	156,3	$5,07 \cdot 10^{-7}$

aktivacije ispitivanih EM, kao i predeksponencijalni faktori u jednačini Semjonova (tabela 3).

Vrednosti energija aktivacija ispitivanih eksplozivnih materija, dobijene na ovaj način, u dobroj su korelaciji sa vrednostima iz literature koje su dobijene drugim metodama [3].

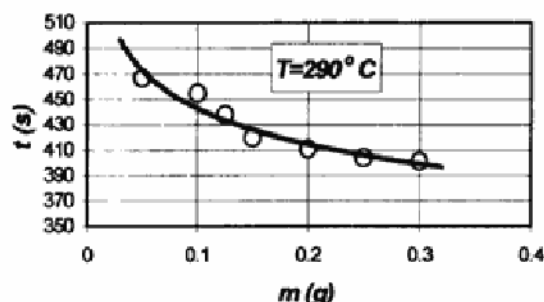
Dobijeni rezultati pokazuju da se dodatkom trotila heksogenu smanjuje njegova osetljivost na toplotni impuls, što se objašnjava činjenicom da TNT ima

višu temperaturu paljenja (300°C) od heksogena (260°C).

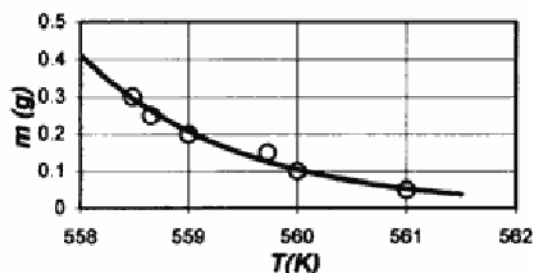
Takođe, dodatkom flegmatizatora heksogenu i oktogenu smanjuje se njihova osetljivost na toplotni impuls, analogno smanjenju osetljivosti na mehanički impuls.

Ispitivanje uticaja mase uzorka

Uticaj mase uzorka na osetljivost na toplotni impuls ispitivan je na uzorku TNT-a granulacije od 1,25 mm. Eksperiment je



Sl. 4 – Uticaj mase uzorka na vreme zadržke za TNT



Sl. 5 – Uticaj mase uzorka na temperaturu paljenja TNT-a

vršen na temperaturi od 290°C, a rezultati ispitivanja prikazani su grafički na slici 4.

Očigledno, sa povećanjem mase ispitivanog uzorka osetljivost na toplotni impuls eksponencijalno raste, što je u skladu sa teorijom toplotne eksplozije [5]. Što je masa uzorka veća, stvaraju se povoljniji uslovi za akumuliranje toplote koja se oslobađa usled egzotermnih auto-katalitičkih procesa i, samim tim, brže dostizanje temperature paljenja.

Analogni rezultati dobijeni su i ispitivanjem uticaja mase na temperaturu paljenja TNT-a (slika 5). Sa smanjenjem mase uzorka temperatura paljenja raste.

Na osnovu ovih rezultata može se predvideti da ispod određene kritične mase uzorka ne bi došlo do paljenja eksplozivne materije, jer bi pre toga došlo do njene potpune termičke destrukcije.

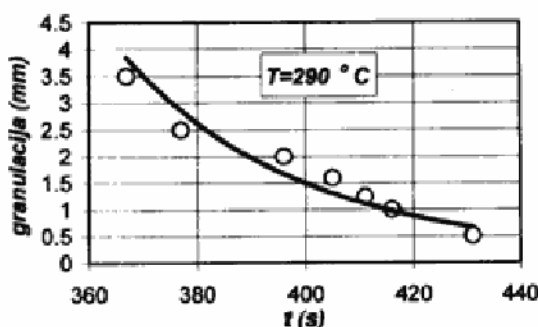
Slična pojava desila bi se ako bi se uzorak zagrevao veoma sporo. Tada bi se veći deo eksplozivne materije razložio u oblasti nižih temperatura, pa bi pri višim temperaturama količina eksplozivne materije bila suviše mala da bi došlo do paljenja.

Ispitivanje uticaja granulacije uzorka

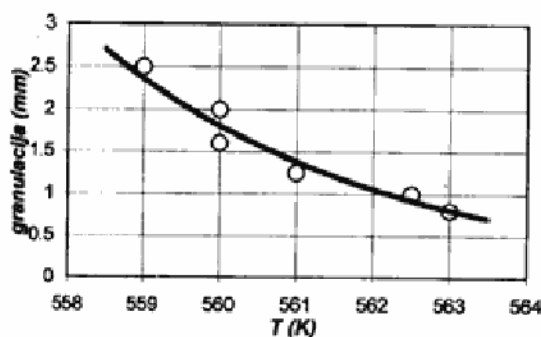
Različite granulacije dobijene su prosejavanjem kroz sita različitih veličina otvora, a ispitivanje je obavljeno, kao i u prethodnom slučaju, na temperaturi od 290°C. Rezultati merenja prikazani su na slici 6.

Sa povećavanjem granulacije eksponencijalno raste i osetljivost na toplotni impuls, što je u korelaciji sa rezultatima uticaja mase. I ovde se pojava može objasniti činjenicom da je kod većih granulacija uzorka razmena toplote sa okolinom sporija (manji odnos između površine i zapremine uzorka), pa se brže dostiže temperatura paljenja.

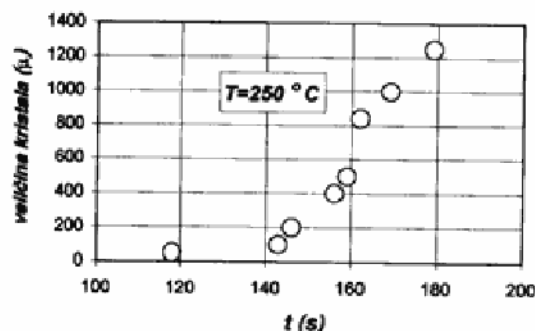
Ispitivanjem uticaja granulacije na temperaturu paljenja TNT-a dobijeni su analogni rezultati – sa povećavanjem granulacije snižava se temperatura paljenja (slika 7).



Sl. 6 – Rezultati merenja uticaja granulacije uzorka TNT na vreme zadržke



Sl. 7 – Uticaj granulacije na temperaturu paljenja kod TNT-a



Sl. 8 – Uticaj veličine kristala na vreme zadržke kod oktogena

Ispitivanje uticaja veličine kristala

Na kraju, na primeru kristalnog oktogena ispitivan je i uticaj veličine kristala na vreme zadržke. Ispitivanje je obavljeno na temperaturi od 250°C, a veličine kristala varirane su u granicama od 100 do 1250 μm. Dobijeni rezultati prikazani su grafički na slici 8.

Može se primetiti da se sa povećanjem veličine kristala smanjuje osetljivost oktogena na toplotni impuls, što nije u skladu sa prethodnim rezultatima, a i činjenicom da su, po pravilu, krupniji kristali osetljiviji od sitnijih. Međutim, slična pojava uočena je i kod nekih dru-

gih eksploziva, kao na primer, kod pikrinske kiseline [6]. To je, najverovatnije, posledica promene vrednosti kinetičkih parametara procesa termičke dekompozicije za različite veličine kristala, što bi trebalo posebno istražiti.

Da bi se dobili rezultati ispitivanja koji se međusobno mogu upoređivati, određivanje osetljivosti eksplozivnih materija na toplotni impuls, kao i temperatura paljenja, mora se provoditi u strogo određenim, standardnim uslovima, što podrazumeva i standardizaciju pripreme uzorka za ispitivanje.

Zaključak

Fenomen osetljivosti eksplozivnih materija na toplotni impuls predstavlja veoma složen problem, koji do sada nije u potpunosti istražen. Rezultati istraživanja pokazuju da masa, granulacija, kao i veličina kristala ispitivanog uzorka znatno utiču na vreme zadržke i temperaturu paljenja eksplozivnih materija. Neophodno je odgovarajućim standardom precizno propisati način pripreme uzoraka za ispitivanje osetljivosti eksplozivnih materija, kako bi rezultati bili jednoznačni i međusobno uporedivi.

Literatura:

- [1] Baum, F. A.; Orlenko, L. P.; Stanjuković, K. P.; Čeljšev, V. P.; Šešter, B. I.: Fizika vzriva, Nauka, Moskva, 1975.
- [2] JUS H.D8.004, Određivanje temperature paljenja, Jugoslovenski zavod za standardizaciju, Beograd, 1972.
- [3] Hristovski, M.: Eksplozivne materije, NIU Vojiska, Beograd, 1994.
- [4] Čolaković, M.: Probability Estimation for the Self-Ignition of the Gun Powder, Prop. Expl. Pyrot., 17, (1992).
- [5] Merzhanov, A. G.; Abramov, V. G.: Thermal explosion of explosives and propellants. A review, Prop. Expl., 6, 1981.
- [6] Andrejev, K. K.; Beljajev, A.F.: Teorija vzrivačih vešestv, Oborongiz, Moskva, 1960.

ISPITIVANJA UTICAJA PARA ACETONA NA MEHANIČKE OSOBINE DVOBAZNIH RAKETNIH GORIVA

UDC: 621.45.07-6 : 547.284.3-134

Rezime:

Ova istraživanja obuhvatila su eksperimentalno i teorijsko izučavanje uticaja delovanja para acetona na mehaničke osobine dvobaznih raketnih goriva. Istraživanja su izvedena na dva definisana dvobazna raketna goriva. Prikazani su rezultati mehaničkih ispitivanja netretiranih i tretiranih dvobaznih raketnih goriva i nastojano je da se objasni uočeni fenomen.

Ključne reči: mehaničke osobine, dvobazno raketno gorivo.

INVESTIGATION OF THE ACETONE VAPOUR INFLUENCE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF DOUBLE BASE PROPELLANTS

Summary:

These investigations included experimental and theoretical study of acetone vapours influence on the propellant mechanical properties. The tests were carried out on two defined propellants. Herein shown are the results of the mechanical tests of both non-treated and treated propellants as well as an attempt to explain the observed phenomenon.

Key words: mechanical properties, double base propellant.

Uvod

Dvobazna raketna goriva (DRG) jesu materije koje u procesu sagorevanja, u relativno kratkom vremenu, oslobađaju veliku količinu gasovitih produkata. Ovako nastali gasoviti produkti sagorevanja pokreću raketu. Da bi se ona kretala zahtevanom putanjom, pogonskom punjenju (od DRG) mora se dati tačno određeni geometrijski oblik, tj. omogućiti kontrolisani dotok produkata sagorevanja. Za vreme trajanja procesa sagoreva-

nja pogonsko punjenje izloženo je mehaničkim naprezanjima usled ubrzanja rakete, rotacije oko uzdužne ose (centrifugalne sile), razlike pritisaka u motoru (erozije baruta) i dr. Ukoliko u toku leta rakete dođe do loma pogonskog punjenja, tada dolazi do nekontrolisane promene u količini nastalih gasovitih produkata sagorevanja, što ima za posledicu nekontrolisanu promenu u parametrima putanje rakete, a može dovesti i do njenog razaranja. Odavde se vidi važnost kvantitativnog i kvalitativnog poznavanja meha-

ničkih naprezanja kojima je izloženo pogonsko punjenje (određenog geometrijskog oblika) u datom raketnom motoru, radi izbora DRG odgovarajućih mehaničkih osobina [1].

U praksi se može javiti slučaj da DRG zadovoljavajućih kinetičkih osobina mora imati bolje mehaničke osobine od postojećih. To može biti slučaj npr. kod impulsnih raketnih motora, gde odgovarajuće kinetičke osobine poseduju jedan do dva barutna sastava, ali imaju niže vrednosti mehaničkih osobina od zahtevanih. Ukoliko bi promenom u sastavu (npr. povećanjem masenog udela nitroceluloze) dobili porast u mehaničkim osobinama, tada bi izgubili zahtevane kinetičke ili toplotne osobine. U ovom radu učinjen je pokušaj da se poboljšaju mehaničke osobine na nekoliko DRG, koji nalaze ili bi mogli naći primeru u impulsnim raketnim motorima, ne menjajući sastav DRG, tj. ne menjajući značajnije njihove kinetičke osobine.

Osnovu za pokušaje iznalaženja poboljšanja mehaničkih osobina predstavljala su zapažanja da se pod dejstvom para organskih rastvarača (npr. acetona) bitno menjaju mehaničke osobine DRG, tako da su uočeni fenomeni pobudili interes i za detaljnija proučavanja.

Dvobazna raketna goriva, koja su razmatrana, proizvedena su postupkom ekstruzije (presovanja), čiji je postupak proizvodnje odavno poznat [2, 3].

Pored nitroceluloze (NC), nitroglicerina i hemijskog stabilizatora kao osnovnih komponenti, koje su sastavni deo svakog DRG, barutna masa sadrži i plastifikatore, balističke i tehnološke aditive.

Želatinizacija nitroceluloze

Želatinizacija NC je od fundamentalnog značaja za njenu primenu koja je ogromna [4]. Nitroceluloza se dobija esterifikacijom celuloze, što je karakterističan primer topohemijske reakcije [4], tj. reakcije čvrste faze u tečnoj sredini, bez razlaganja, čak i bez izmene strukture te čvrste faze.

Prostorni izgled NC razlikuje se od prostornog izgleda celuloze. Razlog je uvođenje voluminoznih NO_2 grupa, koje mogu zauzimati razne položaje, jer postoji mogućnost slobodne rotacije oko veza C-O i O- NO_2 .

Nitroceluloza i dalje zadržava vlaknastu strukturu, ali je stereoregularnost mnogo manja nego kod celuloze, posebno zbog mogućih različitih prostornih položaja bočnih nizova (O- NO_2 grupa) [5]. Dakle, sa porastom razgranatosti (porastom broja O- NO_2 grupa), tj. porastom procenta azota smanjuje se udeo kristaličnosti, odnosno dolazi do razmicanja lanaca NC. Time se i objašnjava različita rastvorljivost NC u funkciji stepena nitracije.

U svojoj strukturi NC sadrži zone u kojima je kristalična i zone u kojima je amorfna. Pristupačnost ovih zona delovanju agensa je različita, što se u velikoj meri odražava na proces želatinizacije. Kada je NC suva ona je opasan eksploziv, osetljiv na udar i trenje. Njena primena je rešena tek kada je njen oblik sitnih pahuljica transformisan u želatinisanu, pravu plastičnu masu, čije je sagorevanje relativno sporo i kontrolisano po paralelnim slojevima [4].

Da bi se izvršila želatinizacija NC mora postojati afinitet između NC i mo-

lekula sposobnih da se „vežu“, ne razarujući u potpunosti strukturu NC. Ostvareni gel mora biti hemijski stabilan i otporan na povratne procese migracije želatinizatora na površinu.

Postoji više postupaka želatinizacije NC. Spomenućemo dva i to pomoću „rastvarača“ ketonskog tipa i teško isparljivih plastifikatora tipa „nitroestara“. Pri želatinizaciji rastvaračem ketonskog tipa po obavljenoj želatinizaciji rastvarač se odstranjuje iz NC. To su rastvarači koji nakon obavljene funkcije želatinizacije bivaju eliminisani iz NC. Tu spadaju: aceton (najaktivniji i rastvara sve tipove NC), etilacetat (takođe je pravi rastvarač NC), butilacetat i smeša etiletar-etanola (65:35) koja rastvara NC sadržajem azota od 10,5 mas% do 12,8 mas%. Ovde spadaju i neisparljive materije koje ostaju u barutu: estri ftalne kiseline (dietilftalat i dibutilftalat), triacetin, pojedini nitrili, centralit I i drugi.

Jedno od mogućih objašnjenja delovanja acetona na NC jeste da je pri vezivanju acetona na nitrocelulozu ona kiselog karaktera, a aceton baznog. Svi elektroni u vezama gde je došlo do esterifika-

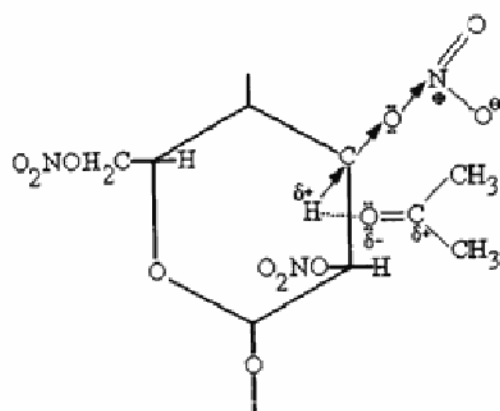
cije pomereni su ka azotu (slika 1) zbog negativnog indikacionog efekta nitro grupa. Zbog toga je vodonikov atom vezan za ugljenik sa izraženim kiselim karakterom, tako da je u stanju da za sebe veže atom sa slobodnim elektronskim parom (tj. za kiseonikov atom u acetonu). Svaki vodonikov atom vezan za sekundarne ugljenikove atome ima više izražen kisel karakter, od vodonikovih atoma vezanih za primarne ugljenikove atome, s obzirom na to da je pomeranje elektrona raspoređeno na jedan vodonikov atom [1]. S druge strane, aceton ima bazni karakter. Elektroni su pomereni ka elektro-negativnom kiseoniku, zbog čega kiseonik ima mali negativni naboj (δ^-), a ugljenik mali pozitivni naboj (δ^+).

S obzirom na kiselo svojstvo vodonikovog atoma iz NC i na bazno svojstvo kiseonika iz acetona, lako se uspostavlja vodonična veza. Ako u NC ima slobodnih hidroksilnih grupa takođe bi se mogla uspostaviti vodonična veza sa acetonom.

U radu [6] ustanovljeno je da neisparljivi želatinizatori ketonskog tipa (npr. centralit I) grade vodonične veze sa hidroksilnim grupama NC. Pri želatinizaciji plastifikatorima tipa nitroestara, plastifikator ostaje u konačnom sastavu DRG [4]. U ovu grupu spadaju: nitroglicerina, nitroglikol, dietilenglikoldinitrat, dinitrotoluol i dr. Detaljan prikaz mehanizma želatinizacije dat je u radovima [1, 7].

Već je pomenuto da je najaktivniji rastvarač nitroceluloze aceton. Rastvaranje nitroceluloze odvija se u dve faze, pri čemu je prva faza bubrenje, a druga rastvaranje [1].

Pri bubrenju nitroceluloze molekuli rastvarača mogu difundirati između ma-



Sl. 1 – Delovanje želatinizatora ketonskog tipa na nitrocelulozu

kromolekula NC, pri čemu dolazi do povećanja zapremine i mase NC. Porast mase jednak je masi apsorbovanog rastvarača. Bubrenje NC je istovremeno i kapilarno i molekularno. Kod kapilarnog bubrenja [1] rastvarač prodire u praznine – kanale, pri čemu se micide razdvajaju.

Kod molekularnog bubrenja [5] rastvarač prodire između makromolekula NC. Nitroceluloza pri neprestanom dotoku rastvarača neograničeno bubri, tj. postepeno gubi svoj oblik i na kraju prelazi u rastvor. Prodirlanjem molekula acetona dolazi do povećanja rastojanja između makromolekula NC, što dovodi do smanjenja broja i jačine poprečnih sekundarnih veza.

Ukoliko se prekine dotok rastvarača pre nego što NC izgubi svoj spoljni oblik dolazi do ograničenog bubrenja NC.

Kada se nabubreloj NC dovodi rastvarač, postepeno dolazi do potpunog raskidanja međumolekulskih veza u NC, (makromolekuli se međusobno potpuno odvoje molekulama rastvarača) pa dolazi do rastvaranja NC. Kada se iz ovakvog rastvora potpuno odstrani rastvarač, NC će ponovo preći u čvrsto stanje, ali sa drugačijim rasporedom makromolekula. Ovakva NC potpuno gubi vlaknastu strukturu [1].

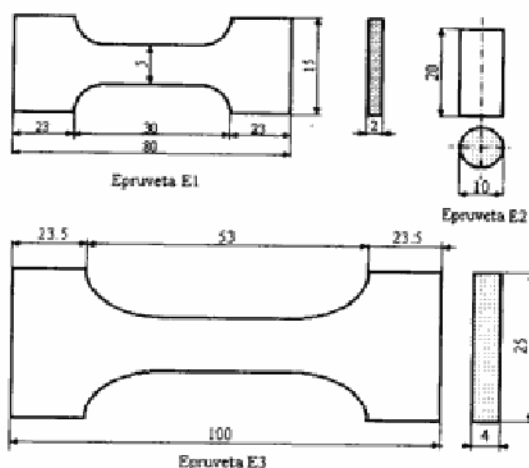
Rezultati eksperimentalnih ispitivanja

Hemijski sastavi i fizičko-hemijske osobine opitnih modela DRG1 i DRG2 prikazani su u radu [1]. Sadržaj čvrstih balističkih aditiva u DRG1 je oko 3%, a u DRG2 oko 4%. Sadržaj NC u oba sastava je isti i iznosi oko 55,5%. U DRG2 ima oko 3% NGL manje nego u DRG1, ali ima oko 3% dietilftalata.

Ispitivanje uticaja delovanja para acetona na mehaničke osobine DRG

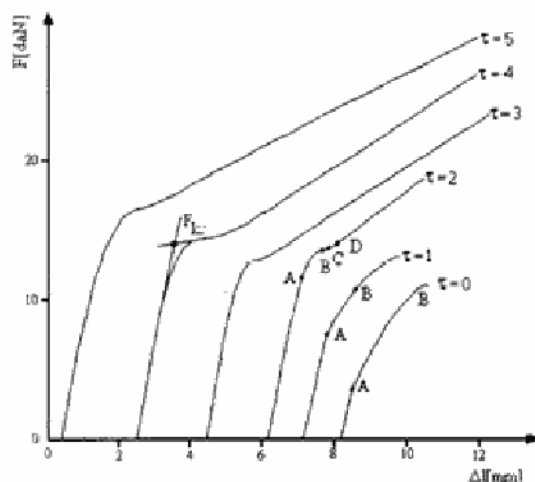
Ova ispitivanja radena su na sastavi-
ma DRG1 i DRG2. Epruvete za ispitiva-
nje zatezne čvrstoće isecane su iz barut-
nog platna, debljine 2 mm, u smeru va-
ljanja [1]. Oblik i dimenzije epruveta pri-
kazane su na slici 2. Sva ispitivanja me-
haničkih osobina, ukoliko nije posebno
naznačeno, radena su na normalnoj tem-
peraturi.

Epruvete tipa E1 (slika 2) tretirane
su delovanjem para acetona u zatvorenoj
posudi [1] na temperaturi od 20°C u vre-
menu 1, 2, 3, 4 i 5 sati (DRG1), odnosno
1, 2, 3, 4, 5, 6 i 7 sati (DRG2). Nakon za-
vršenog tretiranja, epruvete su na 20°C
sušene do konstantne mase. Rezultati is-
pitivanja jednoosnim zatezanjem, pri br-
zini hoda hvataljki 100 mm/min, kao
srednje vrednosti 5 merenja (DRG1), od-
nosno 7 merenja (DRG2), prikazani su u
tabeli 1. U tabeli 1 su: σ_z – prekidna zate-
zna čvrstoća, ϵ – prekidna deformacija, σ_k
– kritična zatezna čvrstoća i τ – vreme tre-
tiranja. Kritična zatezna čvrstoća uzimana



Sl. 2 – Epruvete za ispitivanje mehaničkih osobina

je u tački pojave prvog maksimuma na krivoj sila (F) – apsolutna deformacija (Δl), ukoliko je postojao ili u tački preseka tangenti na krivu $F = f(\Delta l)$ (slika 3).



Sl. 3 – Karakteristični oblici krivih sila – deformacija pri zatezanju za DRG1

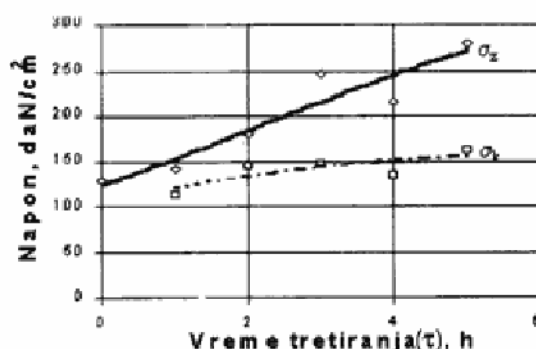
Tabela 1

Mehaničke osobine DRG1 i DRG2 za razna τ

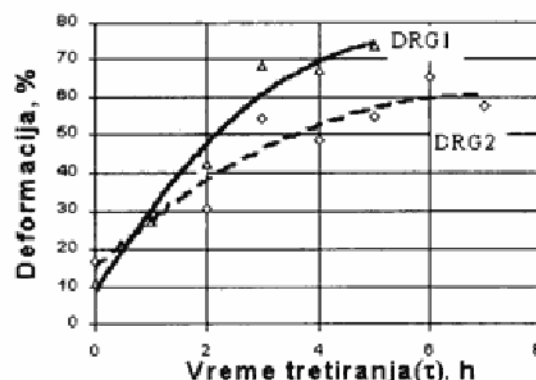
σ_z (daN/cm ²)		ϵ (%)		σ_k (daN/cm ²)		τ (h)
DRG1	DRG2	DRG1	DRG2	DRG1	DRG2	
140,8	211,6	27,6	-	112,8	-	1
179,4	238,6	42,2	30,8	144,6	177,0	2
245,4	388,3	68,4	54,3	146,0	188,4	3
215,4	358,2	67,4	48,4	133,6	188,6	4
278,8	394,1	73,8	54,6	162,0	203,3	5
-	474,5	-	65,1	-	212,6	6
-	415,5	-	57,4	-	-	7
127,4	164,8	10,9	16,7	-	-	0

Karakteristični oblici krivih $F=f(\Delta l)$ prikazani su na slici 3, a σ_z , ϵ i σ_k u funkciji τ na slikama 4, 5 i 6.

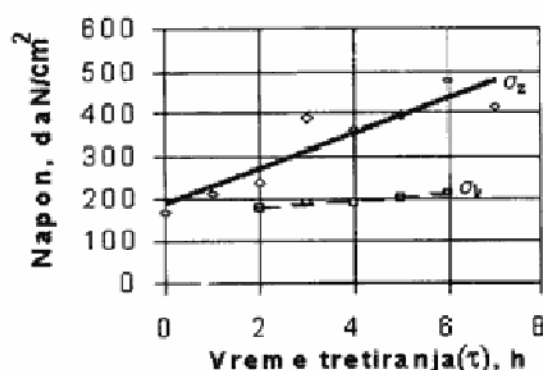
Prikazani rezultati pokazuju promene karaktera krivih $F = f(\Delta l)$ (slika 3) i povećanje zatezne, kritične zatezne čvrstoće i prekidne deformacije, za DRG1 i



Sl. 4 – Zatezna i kritična zatezna čvrstoća DRG1 u funkciji τ



Sl. 5 – Prekidna deformacija DRG1 i DRG2 u funkciji τ



Sl. 6 – Zatezna i kritična zatezna čvrstoća DRG2 u funkciji τ

DRG2, sa povećanjem vremena tretiranja (slike 4, 5 i 6).

σ_z (daN/cm ²)		ϵ (%)		τ (h)		Primedba
DRG1	DRG2	DRG1	DRG2	DRG1	DRG2	
127,4	164,8	10,9	16,7	0	0	bez naknadnog valjanja
115,4	160,6	10,1	16,4	0	0	sa naknadnim valjanjem
194,7	310,1	19,4	45,0	5	3,5	bez naknadnog valjanja
128,4	162,2	12,9	14,8	5	3,5	sa naknadnim valjanjem

Utjecaj naknadnog termičkog i mehaničkog tretmana DRG na efekte delovanja para acetona

Dobijeni rezultati pokazali su da delovanje para acetona dovodi do znatnog povećanja mehaničkih osobina DRG. Međutim, DRG u obliku barutnih ploča javljaju se u proizvodnji kao međufazni proizvod od kojeg se ekstruzijom oblikuju pogonska punjenja zahtevanih oblika i dimenzija.

S obzirom na to da su DRG termoplastični materijali, ovo oblikovanje se obavlja na povišenoj temperaturi mehaničkim delovanjem na prethodno pripremljene barutne mase. Dakle, naknadni termički i mehanički tretman može uticati na efekte ostvarene delovanjem para acetona, pa su sprovedena ispitivanja uticaja dalje prerade barutnih ploča na efekte ostvarene delovanjem para acetona. Ova ispitivanja vršena su na barutnim pločama od DRG1 i DRG2, koje su prethodno tretirane 5, odnosno 3,5 sati para acetona i isecane epruvete tipa E1.

Tretirane i osušene barutne ploče propuštane su 18 puta kroz valjke zagrejane na 98°C. U toku ovog valjanja uzeti su uzorci barutnog platna i iz njih isečene epruvete tipa E1. Ispitane mehaničke osobine, za DRG1 i DRG2, navedene su u tabeli 2.

Posle valjanja i formiranja svitka izvršeno je oblikovanje ekstruzijom i dobijena su pogonska punjenja u obliku punog cilindra prečnika 31,5 mm koja su sečena na dužinu 110 mm. Iz ovih punjenja isecane su epruvete tipa E2 i E3 (slika 2), a dobijene mehaničke osobine navedene su u tabelama 3, 4 i 5.

U tabelama 3 i 5 σ_p označava maksimalnu čvrstoću na pritisak, σ_{pk} kritičnu čvrstoću na pritisak i E modul elastičnosti. On je određivan povlačenjem tangente na početni (linearni) deo krive i izračunavanjem nagiba tangente.

Tabela 3
Mehaničke osobine DRG1 nakon ekstrudovanja

σ_p (daN/cm ²)	σ_{pk} (daN/cm ²)	E (daN/cm ²)	τ (h)	Primedba
306,0	96,6	2708	5	epruvete tipa E2
292,2	79,8	2767	0	epruvete tipa E2

Tabela 4
Mehaničke osobine DRG2 nakon ekstrudovanja na 29°C

σ_z (daN/cm ²)	ϵ (%)	τ (h)	Primedba
153,2	19,2	0	epruvete tipa E3
142,5	18,1	3,5	epruvete tipa E3

Tabela 5
Mehaničke osobine DRG2 nakon ekstrudovanja na 50°C

σ_p (daN/cm ²)	σ_{pk} (daN/cm ²)	τ (h)	Primedba
141,6	18,0	3,5	epruvete tipa E2
141,5	18,8	0	epruvete tipa E2

Rezultati ispitivanja pokazuju da naknadna prerada i tretiranih i netretiranih DRG1 i DRG2, bilo ponovo u barutne ploče (tabela 2), bilo u ekstrudovana pogonska punjenja (tabele 3, 4 i 5) izaziva značajne promene u mehaničkim osobinama tretiranih i male promene kod netretiranih DRG. U svim slučajevima, pri naknadnoj preradi, dobijene vrednosti mehaničkih osobina čak su malo ispod odgovarajućih vrednosti netretiranih, odnosno neprerađivanih DRG. Verovatni uzrok ovom padu mehaničkih osobina jeste degradacija makromolekula NC usled mehaničkog tretmana.

Analiza rezultata

Želatinizacija NC nitroglicerinom u procesu izrade DRG obavlja se termičkim i mehaničkim tretmanom barutne mase, pri čemu ona dobija željeni geometrijski oblik, a izrađeni DRG definišu fizičku strukturu. Po završetku izrade DRG, u toku odležavanja, dolazi do izvesne kontrakcije po dužini u smeru primenjene spoljne sile i do ekspanzije po širini punjenja, dakle, normalno na smer primenjene sile. Ovaj proces naziva se relaksacija naprezanja. Kako se proces relaksacije ne može u potpunosti ostvariti u nekom konačnom vremenu, u DRG zaostaju unutrašnji naponi. Kada se DRG podvrgne delovanju para acetona dolazi do njegovog bubrenja. Naime, molekuli acetona difunduju u DRG, interreaguju sa aktivnim mestima u NC, razmiču susedne makromolekule, odnosno, stvaraju uslove da delovi makromolekula NC zauzimaju energetski stabilnije konformacione položaje i tako, zavisno od vreme-

na delovanja para acetona, dolazi do potpunije relaksacije unutrašnjih napona u barutu.

Rezultati sprovedenih ispitivanja potvrdili su ovakva razmatranja. Poboljšanje mehaničkih osobina u odnosu na netretirani DRG, npr. DRG1 (za $\tau = 5$ h), iznosi oko 118% za zateznu čvrstoću, a za izduženje oko 570%, dok su odgovarajući porasti mehaničkih osobina za DRG2 (za $\tau = 7$ h) oko 150% za zateznu čvrstoću i za izduženje oko 240%.

Oblici krivih sila – deformacija, koji se dobijaju pri jednoosnom istezanju, razlikuju se od oblika odgovarajućih krivih tretiranih DRG (slika 3). Na početnom delu krivih sila – deformacija netretiranih DRG (slika 3, $\tau = 0$), javlja se linearni deo koji odgovara trenutno povratnoj elastičnoj deformaciji (do tačke A). Dalje se javlja krivolinijski deo, koji odgovara viskoelastičnoj deformaciji (oblast AB).

Oblici krivih sila – deformacija, koji se dobijaju pri jednoosnom istezanju tretiranih DRG, razlikuje se od oblika odgovarajućih krivih netretiranih baruta (slika 3, krive $\tau = 1$, $\tau = 2$, $\tau = 3$, $\tau = 4$ i $\tau = 5$). Sa porastom vremena tretiranja na dijagramima se uočava infleksija. Dakle, na dijagramima sila – deformacija javlja se linearni deo (tačka A na slici 3), koji odgovara trenutno povratnoj elastičnoj deformaciji, zatim krivolinijski deo AB (konveksan u odnosu na apscisnu osu), koji odgovara viskoelastičnoj deformaciji i na kraju se javlja oblast BC koja odgovara viskoplastičnoj deformaciji. U ovoj oblasti dolazi do izvesne orijentacije delova makromolekula (pri delovanju jednoosnog naprezanja) [3, 8]. Ova ori-

jentacija makromolekula (u oblasti CD) izaziva nagli porast sile (tzv. „očvršćavanje“), a što na krivama sila – deformacija odgovara nastajanju drugog linearnog dela krive, počev od tačke D, i u ovoj oblasti dolazi do loma epruvete. Dakle, do loma dolazi pri većim vrednostima sile i deformacije nego kod netretiranih DRG.

Kada se i tretirani i netretirani DRG podvrgne ponovnoj preradi, dolazi do smanjenja mehaničkih osobina u oba slučaja, čak na niži nivo nego što je imao odgovarajući DRG pre ponovne prerade. Moguće objašnjenje je da, pri ponovnom termičkom i mehaničkom tretmanu DRG, dolazi do izvesne orijentacije delova makromolekula NC, što je praćeno ponovnim stvaranjem unutrašnjih napona, kao i do dodatne degradacije makromolekulskih lanaca.

U ovom ispitivanju korišćena su barutna platna debljine 2 mm. Tretiranje barutnog platna većih debljina verovatno bi zahtevalo dugotrajnije sušenje da bi se izbegao uticaj zaostalog acetona, što bi moglo biti predmet nekog budućeg rada.

Zaključak

Rezultat delovanja para acetona na DRG je povećanje stepena želatinizacije NC i potpunija relaksacija unutrašnjih

napona u barutu, pa se kao rezultat javlja poboljšavanje mehaničkih osobina DRG. Delovanje para acetona na DRG pokazuje znatan porast kritične i prekidne zatezne čvrstoće i prekidnog izduženja. Acetonom tretirana DRG, ukoliko se podvrgavaju naknadnom termičkom i mehaničkom tretmanu, pokazuju smanjenje mehaničkih osobina čak na niži nivo nego što su imala odgovarajuća netretirana DRG pre ponovne prerade.

Može se zaključiti da acetonom tretirana DRG, ukoliko se ne podvrgavaju naknadnom termičkom i mehaničkom tretmanu, treba koristiti za laboraciju u raketne motore. Na taj način zadržava se postignuti visoki nivo mehaničkih osobina.

Literatura:

- [1] Tot, L.: Istraživanje uticaja delovanja para organskih rastvarača na mehaničke osobine dvobaznih raketnih baruta, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, magistarski rad, 1989.
- [2] Maksimović, P. V.: Tehnologija eksplozivnih materijala, Vojnotehnički zavod, Beograd, 1972.
- [3] Miles, F. D.: Cellulose nitrate, Imperial chemical industries limited, 1955.
- [4] Petrović, M.; Hristovski, M.; Mačić K.: XII Simpozijum o eksplozivnim materijalima, Knjiga 1, str. 177–213.
- [5] Stojanović, O.; Stojanović N.: Hemija ugljenih hidrata, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd 1979.
- [6] Brodman, B. W.; Lampner, N.; Devin M. P.: J. Appl. Polym. Sci., 26(5), 1981.
- [7] Stojanović, R.: Uticaj tehnoloških parametara želatinizacije na mehaničke karakteristike i prijedlog metoda za određivanje stepena želatinizacije dvobaznih raketnih goriva, Tehnološki fakultet, Novi Sad, magistarski rad, 1988.
- [8] Gulj, V. E.: Struktura i mehaničke osobine polimera, Moskva, 1972.

ODREĐIVANJE PADA POČETNE BRZINE PROJEKTILA NA OSNOVU MERE PRODUŽENJA BARUTNE KOMORE

UDC: 623.522.4

Rezime:

U radu je prikazan postupak za proračun pada početne brzine projektila na osnovu mere produženja barutne komore. Proračuni su urađeni za artiljerijska oruđa koja koriste dvodelni metak. Za poznate unutrašnjobalističke metode Drozdova i Opokova modifikovano je programsko rešenje i prilagođeno rešavanju navedenog problema. Dobljeni rezultati su upoređeni sa spoljnobalističkim tablicama i remontnom dokumentacijom.

Ključne reči: početna brzina projektila, barutna komora, prelazni konus, model Opokova, model Drozdova, unutrašnja balistika.

CALCULATION OF MUZZLE VELOCITY LOSS BASED ON PROPELLANT CHAMBER ELONGATION

Summary:

A method for calculation the loss of muzzle velocity is presented. The model is based on an erosion of the origin of rifling (elongation of propellant chamber and the known models of interior ballistics of Opokov and Drozdov. First, a computer version of these models is modified. The calculations are made for howitzers using a two-part cartridge. The numerical model has been applied to repair documents and ballistic tables.

Key words: muzzle velocity, propellant chamber, origin of rifling, models of Opokov and Drozdov.

Uvod

Pod pojmom erozije (trošenja) cevi artiljerijskih oruđa može se definisati promena dimenzija unutrašnje trase cevi (povećanje zapremine barutne komore i kalibra), uz istovremeno opadanje početne brzine projektila, dometa, tačnosti, a samim tim i efektivnosti oruđa [1].

Do ovih neželjenih efekata, u zavisnosti od intenziteta erozije, može doći i mnogo pre nego što se dostigne projekto-

vani upotrební vek cevi. Postoje oštećenja cevi koja nisu uzrokovana erozijom, a koja je čine neupotrebljivom. To su velika mehanička oštećenja, kao što su proboji, uboji, pokidanost polja i iskrivljenost cevi. Međutim, ovakvi oblici oštećenja umnogome govore o stanju cevi, i nisu razmatrani u ovom radu.

Kod nas se pojava erozije cevi veoma malo istraživala. Razlog takvom interesovanju je i dugogodišnji mirnodopski period, kada su cevi artiljerijskih naoru-

žanja imala mali koeficijent eksploatacije. Osim toga, znatno povoljnija finansijska situacija nije dovela u pitanje ekonomsku opravdanost zamene cevi, ukoliko su tadašnji kriterijumi za njenu zamenу bili po nekom osnovu ispunjeni. Međutim, poslednje decenije prošlog veka na ovim prostorima artiljerijska oruđa su ispalila po nekoliko hiljada projektila, što je neminovno izazvalo eroziju cevi.

Interesantno je istaći da su kod nas kriterijumi za ocenu stanja cevi artiljerijskih oruđa definisani prema literaturi [1] i [2].

Prema literaturi [1] kao osnovni kriterijum za kategorizaciju cevi (predviđanje preostalog upotrebnog veka) koristi se pad početne brzine projektila do određenog procenta, u zavisnosti od vrste i kalibra naoružanja. Budući da je ekonomski neopravdano direktno merenje početne brzine, u praksi se koristi posredna metoda – merenje produžetka dužine barutne komore. Zemlje NATO koriste isti osnovni kriterijum, s tim što u posrednoj metodi koriste utvrđivanje kalibra oruđa na tačno definisanom rastojanju od zadnjeg preseka cevi.

S obzirom na ekonomsku opravdanost i borbenu gotovost jedinica, važno je utvrditi tačan kriterijum dozvoljenog pada početne brzine projektila – v_0 za svaku vrstu artiljerijskih oruđa. Osim toga, za oruđa koja su još uvek u dozvoljenim granicama istrošenja cevi, potrebno je znati koliki je pad početne brzine projektila ispaljenih iz njihovih cevi. Koliko je taj podatak važan u pripremi elemenata za gađanje govore i balističke tablice [3], iz kojih se na osnovu stanja barutne komore uzima vrednost v_0 za određeno punjenje.

U teoriji i praksi održavanja artiljerijskih oruđa, kod nas nije propisana jedinstvena metodologija za ocenu stanja cevi. Metodologija pristupa merenju cevi određena je na osnovu podataka zemlje izvoznika naoružanja ili licence za proizvodnju naoružanja. Mogu se uočiti dve različite koncepcije. Prvu koncepciju, koja se uslovno može nazvati „istočna“, karakteriše:

- jednostavnost merenja i mernog alata (moguće je izvršiti merenje i uz pomoć orudnog RAP-a),

- masovnost mernog alata (kod nas se koristi na tri nivoa održavanja),

- neodređenost u pogledu preostalog upotrebnog veka oruđa (nije dat preostali broj opaljenja za ekvivalentni metak),

- „manja tačnost“, prema komentarima suprotne koncepcije.

Drugu koncepciju, nazvanu uslovno „zapadna“, karakteriše:

- konstrukcijski složeniji alat za merenje cevi (mikrometerska zvezda ili kontrolnik kalibra sa klizačem);

- veća cena mernog alata (mikrometerske zvezde se koriste samo na najvišem nivou održavanja);

- određivanje preostalog upotrebnog veka cevi (u broju ekvivalentnih metaka);

- tačnije definisanje pada početne brzine, prema sopstvenim tvrdnjama [2].

U procesu održavanja kod nas se primenjuju obe koncepcije, zavisno od porekla naoružanja. To stvara poteškoće u održavanju naoružanja, obuci korisnika i jednoznačnosti kriterijuma za ocenu i kategorizaciju cevi.

U ovom radu prikazan je postupak za proračun pada početne brzine projektila

la na osnovu promene zapremine barutne komore (njegov produženja), korišćenjem metode Drozdova i Opokova. Obe metode primenjene su na više modela haubica koje koriste dvodelni metak i metak bez čaure: X-122 mm D30J, 155 mm M1 i 105 mm M56, zatim za top 130 mm M46 i top-haubicu 152 mm M84. Dobijeni rezultati upoređeni su i komentarisani u odnosu na kriterijume za ocenu stanja cevi navedenim u tehničko-remontnoj dokumentaciji za konkretno sredstvo, prema „istočnoj“ ili „zapadnoj“ koncepciji. Pored toga, dobijeni rezultati upoređeni su i sa podacima iz spoljnobalističkih tablica koji se odnose na definisanje početnih elemenata za gađanje.

Osnovni pojmovi o eroziji cevi

Pod pojmom „život cevi artiljerijskog oruđa“ podrazumeva se upotrebnost cevi, pri čemu ona ispunjava svoju namenu pod određenim kriterijumima i definisanim uslovima. Ranije terminološko određenje pojma „život cevi“ odnosilo se na svojstvo cevi da se suprotstavi trošenju (eng. wear; rus. iznos) pri opaljenju u uslovima normalne eksploatacije. Život cevi meri se brojem ispaljenih projektila određenog tipa, pri određenom punjenju i režimu vatre do kojeg se balistička svojstva cevi menjaju u dozvoljenim granicama [1].

Erozija cevi vodi ka promeni (smanjenju) vrednosti maksimalnog pritiska barutnih gasova u kanalu cevi i samim tim padu početne brzine projektila. Pad početne brzine projektila dovodi do smanjenja maksimalnog dometa, a za kraj životnog veka cevi obično se uzima pad

početne brzine za 10%. Naravno, dozvoljeni pad početne brzine može biti i manji, što je obično uslovljeno konstrukcijskim karakteristikama sredstva i specifikacijom proizvođača.

Osim prethodnog kriterijuma, za kraj životnog veka cevi uzima se i pravilnost urezivanja vodećeg prstena projektila u cevi, kao i slika rasturanja projektila. U slučaju nepravilnog urezivanja vodećeg prstena projektila u izlebljenom delu cevi može doći do njegovog smicanja. To se karakteriše reskim zvukom u trenutku kada projektil napusti usta cevi, drastičnim padom tačnosti pogađanja i učestalim neaktiviranjem projektila na cilju [2]. Slika rasturanja pogodaka takođe se koristi kao kriterijum za ocenu stanja cevi, tako što se kontroliše rasturanje projektila po pravcu (Vp) i daljini (Vd). Ukoliko je proizvod izmerenih vrednosti Vd i Vp veći za osam puta od njihove tablične vrednosti, takva cev je neupotrebljiva, odnosno, nastupila je „balistička smrt“ cevi (deklasirana cev) [4].

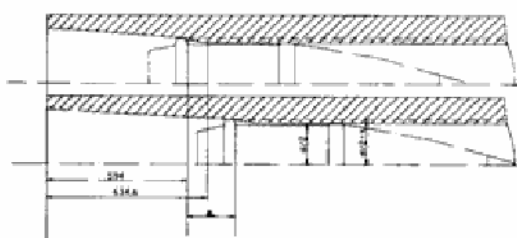
Iz navedenih kriterijuma za ocenu stanja cevi može se primetiti da se svi kriterijumi zasnivaju na proverama efekata pri ispaljivanju projektila, osim prvog kriterijuma koji, pored mogućnosti neposrednog merenja, omogućava i posredan način merenja preko promene dimenzija unutrašnje trase cevi. Svakako da je ovakav način neuporedivo ekonomičniji, jednostavniji i brži od prethodnih. U tom smislu razvijene su i različite metode za posredno određivanje pada početne brzine projektila, i to preko mere produžetka dužine barutne komore, i drugi način preko mere kalibra cevi.

Merne metode za određivanje pada početne brzine projektila

Pošto erozija cevi izaziva oštećenje ili skidanje materijala, koje ima za posledicu promenu dimenzija unutrašnjosti cevi, najbolji način za ocenu stanja cevi jeste merenje dimenzija na tačno određenom mestu u cevi, i dovodenje u vezu ove izmerene dimenzije sa ostatkom životnog – upotrebnog veka. U postojećoj teoriji i praksi održavanja sredstava naoružanja, kod nas se primenjuju dva načina za određivanje pada početne brzine projektila posrednim merenjem [4], i to:

- merenje prelaznog konusa ili dubine zalaženja projektila,
- merenje kalibra cevi na tačno određenom rastojanju od zadnjeg preseka cevi.

Merenje prelaznog konusa ili dubine zalaženja projektila. Pri ubacivanju projektila u ležište metka (slika 1) primećeno je da sa povećanjem broja ispaljenih projektila, projektil dvodelnog metka zalazi sve dalje u unutrašnjost cevi. Ova pojava poznata je kao povećanje dubine (ΔL) zalaženja projektila. Prema literaturi [2] njena primena je osnovana za haubice sa dvodelnim metkom i malim početnim brzinama. Već kod oruđa sa jednodelnim metkom, ili kod haubica i topova sa velikim početnim brzinama, ova-



Sl. 1 – Zalaženje projektila u cevi oruđa

kav način određivanja pada početne brzine daje manje tačne rezultate. U tabeli 1 prikazan je pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za top 130 mm M46 [5].

Tabela 1

Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za top 130 mm M46

Produženje barutne komore (mm)	10	26	53	210	600	675	706	732	757
Pad početne brzine (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9

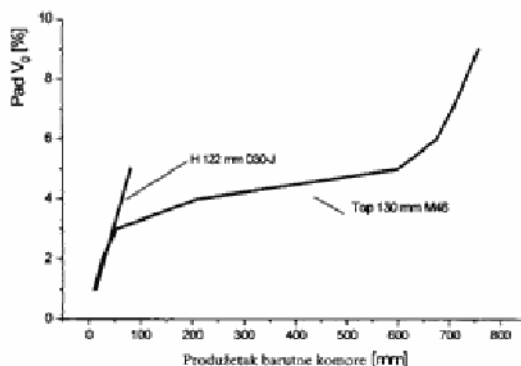
U tabeli 2 prikazan je pad početne brzine projektila za haubicu 122 mm D30J u zavisnosti od produžetka barutne komore [5].

Tabela 2

Pad početne brzine projektila za haubicu 122 mm D30J u zavisnosti od produžetka barutne komore

Produženje barutne komore (mm)	14	22	30	39	47	55	64	72	81
Pad početne brzine (%)	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5

Uočava se relativno velika razlika u promeni dubine zalaženja projektila kod topa 130 mm i mala promena pada početne brzine. Radi ilustracije na slici 2 prikazani su uporedni grafici pada početne



Sl. 2 – Uporedni pregled pada početne brzine u zavisnosti od produžetka barutne komore

brzine za ova dva oruđa u zavisnosti od produžetka barutne komore.

Ova očigledna disproporcija otvara pitanje relevantnosti podataka koji se koriste u procesu održavanja. U prilog osnovanoj sumnji ide i činjenica da se habanje cevi, pojednostavljeno rečeno, može tretirati kao težnja projektila da se uz što manje otpora provuče kroz cev. To znači da se od mesta početnog položaja projektila, deo cevi iza vodećeg prstena znatno manje troši od dela cevi koji se nalazi ispred vodećeg prstena, gde se urezuje i vodi projektil kroz cev. S druge strane, pomeranjem projektila ka ustima cevi povećava se zapremina barutne komore, čime se gustina punjenja i vrednost pritiska barutnih gasova smanjuje, a samim tim i brzina projektila na ustima cevi.

Merenje kalibra cevi na određenom mestu. Ova metoda [2] predstavlja jedan od pouzdanijih načina za određivanje pada početne brzine projektila. Prema literaturi [6] predviđeno je da se kalibar meri na udaljenosti od jedne širine vodećeg prstena projektila od početka izlebljenog dela cevi (mesta gde polja postiču punu visinu).

U literaturi se može naći i podatak da se merenje vrši na udaljenosti od jednog inča (25,4 mm) od početka izlebljenog dela cevi. To, u stvari, predstavlja prosečnu vrednost širine vodećeg prstena projektila kod savremenih artiljerijskih oruđa (15 do 40 mm). Merenjem kalibra oruđa na tom mestu dozvoljeno je povećanje kalibra za 1,7 ili 2% u zavisnosti od vrste oruđa. Primera radi, za kalibar X 155 mm M1 (154,94 mm nominalna je vrednost kalibra za novu cev) dozvoljeno je povećanje kalibra za 3,098 mm, tako da maksimalna vrednost kalibra može iz-

nositi $154,94 + 3,0988 = 158,0388$ mm. Zbog zahtevane tačnosti merenja, najpouzdanije merno sredstvo predstavlja mikrometerska zvezda. Međutim, zbog svoje osetljivosti i visoke cene, kao merni alat, ona nema primenu na nivou tehničkog održavanja i srednjem remontu. Na pomenuta dva nivoa održavanja kod nas se koristi kontrolnik kalibra sa klizačem, koji ima nešto manju tačnost merenja.

Proračunske metode za određivanje pada početne brzine projektila

Određivanje vrednosti pada početne brzine projektila može se izvršiti i proračunskim putem, korišćenjem poznate analitičke metode unutrašnje balistike.

Ukoliko se u barutnom punjenju nalazi jedna vrsta baruta koristi se metoda Drozdova, odnosno, za dve vrste baruta metoda Opokova. Programska rešenja za navedene metode razvijena su na Katedri mehanike naoružanja i balističkih sistema Vojne akademije, Odsek logistike [7]. Radi izračunavanja početne brzine projektila kod cevi artiljerijskog naoružanja koje imaju povećanu zapreminu barutne komore (produženja barutne komore), a do čega dolazi usled habanja prelaznog konusa, izvršene su određene izmene u programskom rešenju [8] za obe metode:

- varirana je zapremina barutne komore za vrednost njenog produženja (korak variranja jedan milimetar);
- za vrednost produženja barutne komore skraćena je dužina puta projektila kroz cev;
- u odnosu na nominalnu vrednost početne brzine projektila za određeno pu-

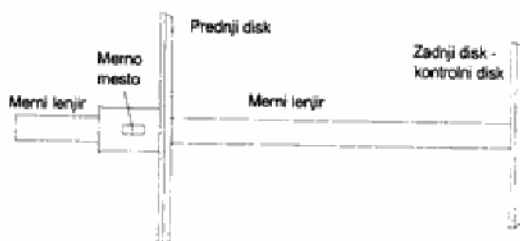
njenje izračunat je pad početne brzine za svaku vrednost produženja barutne komore.

Za ulazne podatke korišćene su vrednosti iz [9], koje su dobijene pri eksperimentalnim ispitivanjima unutrašnjebalističkih karakteristika baruta. Podaci koji se odnose na geometriju barutne komore pojedinih sredstava naoružanja, kao i vrednosti dimenzija vodećeg prstena na konkretnim vrstama projektila, uzeti su prema [10] i [11].

Osnovni problem koji se pojavio pri definisanju ulaznih podataka je vrednost dijametralnog prečnika cevi kod kojeg, prilikom punjenja, dolazi do pomeranja projektila ka ustima cevi. To, u stvari, predstavlja dimenziju kontrolnog (zadnjeg) diska [5] koji se koristi pri merenju produžetka barutne komore.

U teoriji i praksi održavanja kod nas navedeni merni alat je nazvan PZK, što je skraćenica od ruskog naziva mernog alata, pribor dlja pradalženija zarjadnoj komori [1]. Izgled navedenog alata prikazan je na slici 3.

Definisanje vrednosti prednjeg diska ne predstavlja poseban problem, budući da je njegova vrednost uslovljena geometrijom zadnjeg preseka cevi na koji naleže. U praksi se pri merenju cevi naoružanja koriste vrednosti date prema



Sli. 3 – Merni alat (PZK)

literaturi [5], koje su preuzete od proizvođača sredstva ili preuzete za slično sredstvo na upotrebi. U tabeli 3 prikazano je nekoliko ključnih vrednosti kako bi se uočila nedoslednost u kriterijumu za izbor mere zadnjeg (kontrolnog) diska, gde je:

- d – nominalna vrednost kalibra,
- d_1 – rastojanje između dva dijametralno suprotna žleba (mera preko žleba),
- $d_{1,7}$ – granična vrednost kalibra prema kriterijumu povećanja kalibra za 1,7%,
- d_2 – granična vrednost kalibra prema kriterijumu povećanja kalibra za 2%,
- d_{vp} – prečnik vodećeg prstena projektila,
- d_{PZK} – prečnik kontrolnog diska [5],
- h – visina polja, odnosno dubina žleba.

Na osnovu analize podataka u tabeli može se zaključiti da kriterijum „zapadne“ koncepcije povećanja kalibra cevi (za 1,7, odnosno 2%) ima svoju opravdanost za izlebljene cevi koje imaju relativ-

Osnovni konstrukcijski podaci za cevi i projekte artiljerijskih oruđa

Tabela 3

Red. broj	Naziv oruđa	Vrsta projektila	d (mm)	d_1 (mm)	$d_{1,7}$ (1,7%) (mm)	d_2 (2%) (mm)	d_{vp} (mm)	d_{PZK} (mm)	h
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	H 105 mm M56	HE 107	105,05	106,55	106,83	107,15	106,2	–	0,75
2.	H 122 mm D30J	OF 462	121,92	123,95	123,99	124,295	124,72	124,29	1,15
3.	T 130 mm M46	TF M79	130,00	135,4	132,21	132,60	135,7	135,5	2,7
4.	T H 152 mm M84	TF M84	152,40	155,4	154,65	155,45	155,96	155,96	1,5
5.	H 155 mm M1	M 107	154,94	157,48	157,573	158,038	157,99	–	1,27
6.	T 100 mm D10 TG	TF M63	100,00	103,00	101,70	102,00	106,5	103,19	1,5

no malu dubinu žleba (visinu polja). Pod rednim brojevima 1 i 5 navedena su artijerijska oruđa koja imaju takvu geometriju unutrašnje trase cevi. Ukoliko visina polja prelazi vrednost od 2% kalibra, ovaj kriterijum se ne može primeniti. Osim toga, samo kod ovih oruđa prečnik vodećeg prstena projektila ima manju vrednost od prečnika kalibra koji je uvećan za 2%. Otuda se za izlebljene cevi sa relativno višim poljem (visina polja veća od 2% nominalne vrednosti kalibra) ovakav kriterijum ne može usvojiti. Za merenja prema „zapadnoj“ koncepciji, za ovakve cevi, procenat graničnog povećanja kalibra treba posebno odrediti.

Budući da dubinu zalaženja projektila određuje geometrija vodećeg prstena (d_{vp}) barutne komore, kao i vrednost njenog trošenja, logično je da se za vrednost kontrolnog diska uzima vrednost d_{vp} .

Usvajanjem vrednosti d_{vp} za prečnik kontrolnog diska kompletirani su podaci za programsko rešenje metoda Drozdova i Opokova.

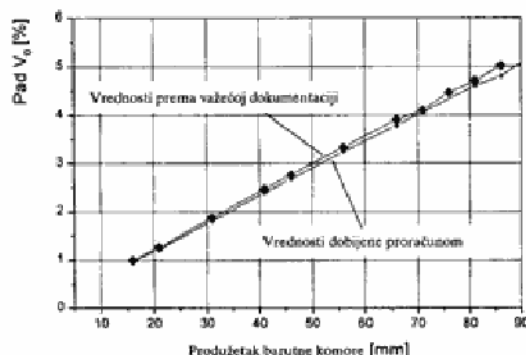
Rezultati programskog rešenja za haubicu 122 mm D30J prikazani su na slici 4.

Sa slike 4, može se uočiti da su proračunske vrednosti, dobijene primenom metode Opokova, i vrednosti date u važećoj dokumentaciji približno iste. Na slici su prikazane vrednosti produžetka barutne komore za pad početne brzine projektila samo do 5%. Valjanost tako postavljenog kriterijuma treba razmotriti i rešiti posebnim spoljnobalističkim proračunima i proveriti eksperimentalnim putem. Presudnu ulogu u svakom slučaju ima dozvoljeno rasturanje projektila na cilju i eventualno neaktiviranje upaljača pri padu projektila.

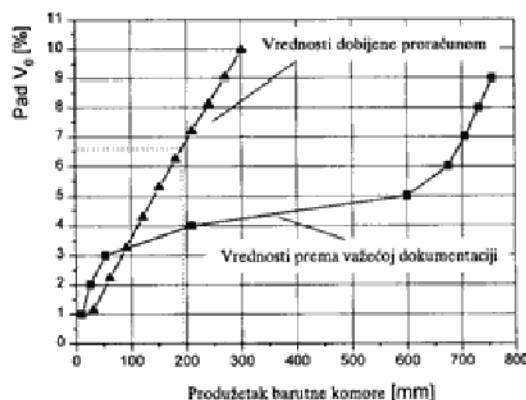
Na slici 5 prikazani su rezultati proračuna dobijeni metodom Drozdova za top 130 mm M46, i vrednosti prema remontoj dokumentaciji.

Proračunske vrednosti pada početne brzine projektila u znatnoj meri odstupaju od vrednosti iz remontoj dokumentacije, odnosno tablica gađanja za navedeno sredstvo. Pri razmatranju podataka koji se odnose na važeću dokumentaciju treba napomenuti sledeće:

- nije poznat način na koji su dobijene vrednosti pada početne brzine projektila za dati produžetak barutne komore;



Slika 4 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za haubicu 122 mm D30J



Slika 5 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za top 130 mm M46

– podaci su preuzeti iz inostrane literature, mada nije poznata stvarna vrednost kontrolnog diska (kriterijum određenja);

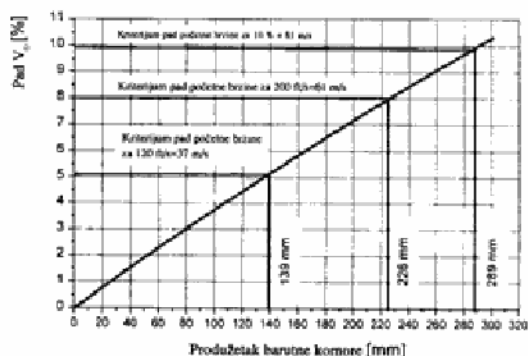
– relativno mali pad početne brzine projektila (od 4 do 5%) odgovara relativno velikom produžetku barutne komore od 200 mm i 600 mm;

– posle produžetka barutne komore od 600 mm za relativno mali produžetak nastupa nagli pad početne brzine.

Navedene činjenice upućuju na to da je osnovana sumnja u verodostojnost ovih podataka. Nasuprot njima, proračunske vrednosti daju realniju sliku o odnosu produžetka barutne komore i pada početne brzine projektila. Iz razloga koji su navedeni za haubicu 122 mm D30J i za ovo oruđe, proračun pada početne brzine projektila izvršen je do granice od 10%, ne ulazeći u dalje razmatranje koja vrednost pada početne brzine projektila je granična. Prema literaturi [2, 6] dozvoljeni pad početne brzine projektila iznosi 200 fita u sekundi ili 61 m/s. Imajući u vidu da je početna brzina projektila TF M79 za puno punjenje 930 m/s, pad početne brzine za 61 m/s iznosi 6,55%, što bi prema proračunskim vrednostima odgovaralo produžetku barutne komore od oko 190 mm (slika 5).

Na slici 6 prikazan je pad početne brzine projektila za top-haubicu 152 mm M84 u zavisnosti od produžetka barutne komore. Proračun je rađen za projektil TF M84 sa punim punjenjem, korišćenjem metode Drozdova.

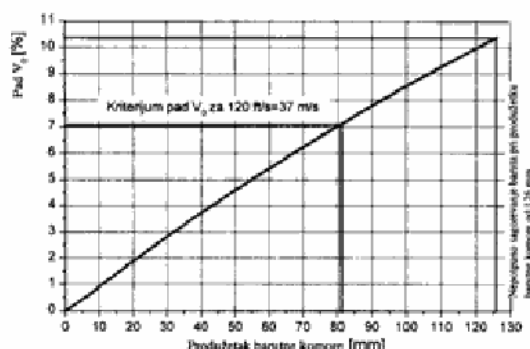
Budući da u praksi održavanja ovih sredstava ne postoje podaci sa kojima bi se mogle uporediti proračunske vrednosti, na slici su prikazane granice pada početne brzine koje se odnose za haubice (37 m/s) prema literaturi [2], 61 m/s pre-



Slika 6 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za top-haubicu 152 mm M84

ma [6] i pad početne brzine od 10%. Za projektil TF M84 sa punim punjenjem nominalna vrednost početne brzine iznosi 806 m/s. Pad početne brzine od 37 m/s iznosi 5,05% od nominalne vrednosti, što odgovara produžetku barutne komore od 139 mm. Pad početne brzine od 61 m/s iznosi 8% od nominalne vrednosti, što odgovara produžetku barutne komore od 226 mm. I, na kraju, padu početne brzine od 10% odgovara produžetak barutne komore od 289 mm.

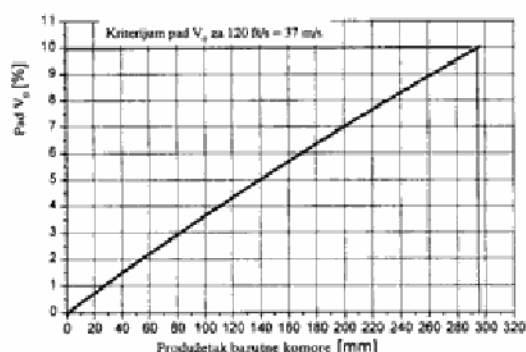
Za haubicu 105 mm M56 sa projektilom HE 107 izvršen je proračun metodom Opokova. Dobijeni proračunski rezultati prikazani su na slici 7. Kao i u prethodnom slučaju, u domaćoj teoriji i praksi održavanja ovog sredstva nije dokumentovana zavisnost produžetka barutne komore i pada početne brzine. Važeći kriterijumi odnose se na merenje kalibra cevi na tačno određenom rastojanju, pri čemu je dozvoljen pad početne brzine od 37 m/s. Za projektil HE 107 nominalna vrednost početne brzine projektila je 492 m/s, a s obzirom na prethodno iznet kriterijum dobija se da je dozvoljen pad početne brzine projektila do 7,1%. Prema



Sl. 7 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za haubicu 105 mm M56

slici 7 ta vrednost dobija se za produžetak barutne komore od 82 mm. Vrednost pada početne brzine od 10% dobija se pri produženju barutne komore od 120 mm. Kriterijum pada početne brzine od 61 m/s ne može se primeniti, jer kao što se sa slike može videti, pri produžetku barutne komore od 126 mm zapremina barutne komore toliko naraste da usled smanjenja gustine punjenja dolazi do potpunog sagorevanja baruta u cevi.

Sledeći primer proračuna urađen za haubicu 155 mm M1 (slika 8) pokazuje koliko je bitno uspostaviti zavisnost od-

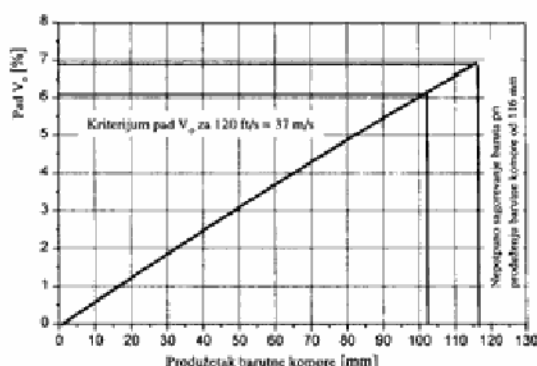


Sl. 8 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za haubicu 155 mm M1 sa projektilom M107 (HE) i barutnim punjenjem M3

ređivanja pada početne brzine projektila na osnovu mere produžetka barutne komore. Osim vrednosti zapremine barutne komore, vrlo značajan uticaj na početnu brzinu projektila imaju masa projektila, vrsta i masa barutnog punjenja. U konkretnom slučaju analizirane su dve različite vrste barutnog punjenja za identičan projektil M107 (HE). Prva vrsta baruta (oznaka barutnog punjenja M3) prema nominalnim vrednostima daje početnu brzinu projektilu od 372 m/s. Budući da je reč o jednoj vrsti baruta korišćena je metoda Drozdova, a dobijeni rezultati prikazani su na slici 8. Do pada početne brzine projektila za 37 m/s (približno 10%) dolazi pri produžetku barutne komore za 296 mm.

Za identični metak haubica 155 mm M1 postiže veće domete koristeći barutno punjenje M4A1. Početna brzina projektila iznosi 546 m/s. Budući da je reč o dve vrste baruta korišćena je metoda Opokova. Dobijeni rezultati prikazani su na slici 9.

Može se uočiti da se pad početne brzine za 37 m/s (6,29%) dobija pri produžetku barutne komore od 105 mm, a već kod



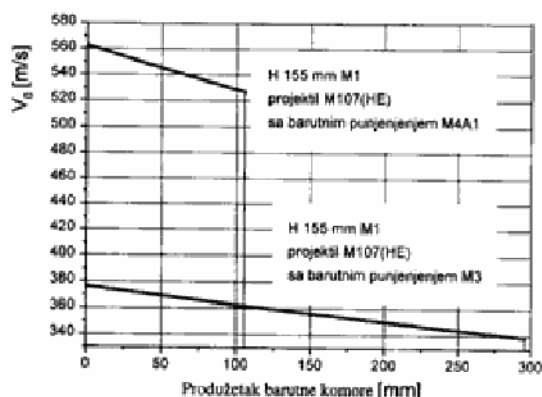
Sl. 9 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za haubicu 155 mm M1 sa projektilom M107 (HE) i barutnim punjenjem M4A1

produžetka barutne komore za 116 mm nastupa nepotpuno sagorevanje baruta.

Na osnovu prikazanih rezultata na slikama 8 i 9 može se konstatovati da kod savremenih artiljerijskih oruđa koja koriste različite vrste projektila, različite vrste baruta i različite mase barutnog punjenja, maksimalno dozvoljeno produženje barutne komore ne sme biti jednoznačno definisano (slika 10).

Osim toga, može se reći da je kriterijum dozvoljenog pada početne brzine projektila od 37 m/s za haubicu 155 mm M1 dobro definisan. Potvrdu ove konstatacije mogu dati jedino spoljnobalistička ispitivanja za konkretno oruđe i projektile. Slično ovom primeru, radi potpunog uvida u uticaj produženja barutne komore na pad početne brzine projektila, potrebno je izvršiti proračune za sve vrste projektila i sva barutna punjenja. Radi bolje ilustracije ove problematike, poslužiće citat iz tablica za gađanje haubice 122 mm D30J:

„Svi podaci su dati za početne brzine iz nove cevi. Pošto se cevi upotrebom



Sl. 10 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od produžetka barutne komore za različita barutna punjenja

troše, smanjuje se početna brzina i povećava rasturanje pogodaka. Opadanje početne brzine projektila zavisi od broja ispaljenih projektila i produženja barutne komore. Ako je broj ispaljenih projektila iz oruđa manji od 4000, onda se odstupanje početne brzine određuje u zavisnosti od broja ispaljenih projektila (Pregled 1), a u ostalim slučajevima kao zavisnost od produženja barutne komore (Pregled 2).

Pregled 1

Broj ispaljenih projektila	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
za puno punjenje									
Odstupanje početne brzine (%)	0	0,125	0,250	0,375	0,500	0,375	0,250	0,125	0
za smanjeno, prvo, drugo, treće i četvrto punjenje									
Odstupanje početne brzine (%)	0	0,250	0,500	0,750	1,000	0,750	0,500	0,250	0

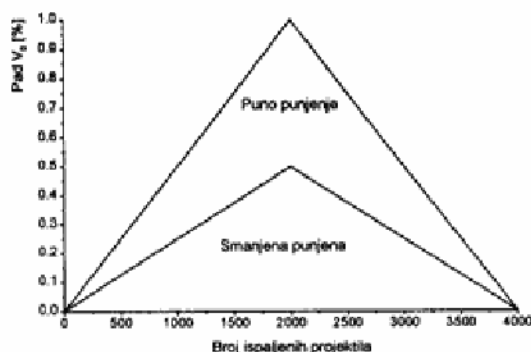
Pregled 2

Pad početne brzine (%)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
za puno punjenje										
Produženje barutne komore (mm)	7	14	22	30	39	47	55	64	72	81
za smanjeno, prvo, drugo, treće i četvrto punjenje										
Produženje barutne komore (mm)	9	20	31	42	53	64	76	88	100	113

Za određivanje produžetka barutne komore potrebno je izmeriti dubinu zalaženja iste i od izmerene dužine oduzeti dubinu zalaženja barutne komore za novu cev (594 mm). Merenje dužine barutne komore vrši se priborom PZK sa merničkim prstenom prečnika 124,29 mm i korišćenjem diska usmerivača, prečnika 139,8 mm¹.

Brojna literatura [2, 6, 12, 13, 14, 15 i 16] u kojoj se, pored ostalog, razmatra zavisnost broja ispaljenih metaka u odnosu na pad početne brzine projektila, obavezno dovodi u vezu eroziju cevi sa svakim ispaljenim metkom. Za artiljerijska oruđa projektovani životni vek cevi iznosi od 15 000 za pojedine vrste haubica¹ do 1000 opaljenja za protivoklopne i tenkovske topove. Drugim rečima, sa svakim opaljenjem cev se troši i približava ispunjenju projektovanog resursa. Iz toga sledi da je nemoguće da prvih par stotina ispaljenih projektila daje isti pad početne brzine kao nekoliko hiljada projektila (slika 11), kao što je to prikazano u Pregledu 1 u literaturi [3].

Navedene činjenice upućuju na neophodnost revizije podataka koji su prisutni u procesu eksploatacije i održavanja sredstava artiljerijskog naoružanja, a radi dovođenja u vezu geometrije istrošene cevi sa početnom brzinom projektila i preostalim upotrebnim vekom (resansom). Na osnovu tačno uspostavljenih zakonitosti za svaki model artiljerijskih



Sl. 11 – Pad početne brzine projektila u zavisnosti od broja ispaljenih metaka za haubicu 122 mm D30J



Sl. 12 – Efekti poboljšanja

oruđa, mogu se očekivati poboljšanja u pogledu tačnosti gađanja, uštede novčanih sredstava i povećanja borbene gotovosti (slika 12).

¹ Radi bolje prodaje naoružanja, proizvođači često iznose reklamne podatke o projektovanom životnom veku cevi. Provera tačnosti prospektivnih podataka vrlo je skupa, jer zahteva brojna ispaljenja projektila. Kako način održavanja i režim vatre takođe imaju uticaj na intenzitet erozije cevi, proizvođači uvek imaju vremena i način da opravdaju svoje tvrdnje u slučaju reklamacije kupca.

Zaključak

U teoriji i praksi održavanja sredstava naoružanja kod nas postoje određeni problemi vezani za dijagnostiku stanja cevi artiljerijskih oruđa, a uzrokovani su brojnim različitim modelima naoružanja, kao i oskudnošću relevantnih podataka za proces održavanja. To se, pre svega, odnosi na:

- izbor dijagnostičkog parametra,
- izbor metode merenja,
- definisanje kriterijuma kojim bi se vrednovala dobijene vrednosti dijagnostičkog parametra,
- tumačenje brojnih podataka iz inostrane literature koji se odnose na eksploataciju i održavanje.

Jedan od mogućih puteva za prevazilaženje ovih problema jeste definisanje sopstvene metodologije za dijagnostiku stanja cevi artiljerijskih oruđa. Dosadašnja iskustva i brojna dokumentacija iz eksploatacije i održavanja sredstava naoružanja, zatim institucije u zemlji koje direktno ili indirektno učestvuju u procesu razvoja ili modifikacija artiljerijskih oruđa, više su nego dovoljan osnov za uspešno rešenje navedenog problema.

U ovom radu prikazan je samo jedan segment neophodnih analiza i proračuna koji bi pri definisanju sopstvene metodologije u dijagnostici cevi artiljerijskih oruđa morao da se sprovede. U razvoju sopstvene metodologije, uopšteno govoreći, potrebno je izvršiti:

- spoljnobalističke proračune na konkretnim sredstvima i projektilima radi definisanja minimalne dozvoljene brzine na ustima cevi,

- teorijska istraživanja uticaja erozije cevi na pad početne brzine projektila,
- teorijska istraživanja međusobnog uticaja cevi i projektila,
- unutrašnjobalističke proračune kojima bi se definisala početna brzina projektila za istrošenu cev,
- proračun mere erozije cevi po jednom opaljenju,
- eksperimentalno potvrđivanje i eventualnu reviziju dobijenih rezultata.

Literatura:

- [1] Ministarstvo odbrane SSSR: Instrukcija po kategorizovanju artiljerijskovo vuženja, Vojno izdavaštvo ministarstva odbrane, Moskva 1951.
- [2] TU SSNO: Uputstvo o oštećenjima cevi artiljerijskih oruđa i načini ocene ishažabanosti, TU JNA, bilten br. 25, Beograd, 1959.
- [3] Uprava artiljerije GŠ VJ: Tablice gađanja za haubice 122 mm D30J i D30, Vojna Stamparija, Beograd, 1998.
- [4] Maričić, Z.: Tehnologije održavanja naoružanja, VTA VJ, Beograd, 2001.
- [5] TRZ Čačak: Instrukcija za korišćenje alata za proveru dubine zalaženja zrna, 2001.
- [6] Progress in Astronautics an Aeronautics: Gun Propulsion Technology, American Institute of Astronautics an Aeronautics, vol. 109, Washington, 1984.
- [7] Cveković, M.: Unutrašnja balistika, SŠONID, VTA VJ, Beograd, 2000.
- [8] Ilić, S.: Modifikacija programskog rešenja metode Drozdov i Opokov, katedra naoružanja, VA VJ, Beograd, 2002.
- [9] VTI VJ: Fizičko-hemijske karakteristike baruta, Interna dokumentacija, Beograd, 2002.
- [10] VTI VJ: Konstrukcijska dokumentacija cevi artiljerijskih oruđa, Interna dokumentacija, Beograd, 2002.
- [11] VTI VJ: Konstrukcijska dokumentacija artiljerijske municije, Interna dokumentacija, Beograd, 2002.
- [12] Paul J. Conroy: Theoretical Thermal and Erosion Investigations, Technical report, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, 2001.
- [13] Sopok, S.; Fleszar M.: Ablative erosion model for the M256-M829E3 gun system, US Army Armament Research, Development and Engineering Center, Watervliet, New York, 2001.
- [14] Conroy, Paul J. i dr.: An Investigation of the Erosion Physics-Mechanisms of Current Army Systems, Technical report, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, 2001.
- [15] Sopok, S.; Vottis P.: Comprehensive erosion model for the 120 mm gun system, US Army Armament Research, Development and Engineering Center, Watervliet, New York, 2001.
- [16] Weinacht P.: A numerical method for predicting thermal erosion in gun tubes, Technical report, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, 2001.

NEKI ASPEKTI ISTRAŽIVANJA „LEPRŠANJA“ UPRAVLJAČKIH TOČKOVA TERETNOG MOTORNOG VOZILA

UDC: 623.437.44 : [629.11.012.355 : 534.13]

Rezime:

Vibracije upravljačkih točkova oko osovinica rukavaca, poznate pod nazivom „lepršanje“, štetne su za parametre upravljivosti motornih vozila. One nastaju usled dejstva neravnina na putu, postojanja zazora u sistemu za upravljanje, neuravnoteženosti točkova, neuniformnosti pneumatika i točkova i sl. Pri projektovanju sistema za upravljanje treba težiti optimalnom izboru parametara vozila sa aspekta minimizacije „lepršanja“ točkova. U ovom radu prikazano je modeliranje sistema za upravljanje teretnog motornog vozila sa ugrađenim servo, odnosno mehaničkim upravljačem, radi proučavanja „lepršanja“ upravljačkih točkova.

Ključne reči: vozilo, sistem za upravljanje, servoupravljač, mehanički upravljač, vibracije.

SOME ASPECTS OF INVESTIGATION OF MOTOR VEHICLES STEERING WHEELS SHIMMY

Summary:

Steering wheels vibrations around king pins, known as „shimmy“, produce a harmful influence on motor vehicle steering parameters. They appear to be a result of the influence of road irregularities, clearance in the steering system, wheels unbalance, wheels and tires nonuniformity, etc. In a vehicle steering system design process, an optimal choice of vehicle parameters is of major importance for minimum values of wheels shimmy. This paper presents an attempt to model a truck steering system with power and mechanical steering, so as to study steering wheels shimmy.

Key words: vehicle, steering system, power steering, mechanical steering, wheels shimmy.

Uvod

Vibracije u sistemu za upravljanje potiču od pobuda mikroneravnina puta, neuravnoteženih točkova, zazora, neuravnoteženosti u sistemu za prenos snage, delovanja vozača na točak upravljača, ne-

uniformnosti pneumatika, pobuda u servo ili mehaničkom upravljaču i sl. Poseban vid vibracija upravljačkih točkova, oko osovinice rukavaca, u literaturi [3, 6, 8, 15, 18] se naziva „lepršanje“ (shimmy). Ova pojava uočena je odavno [1] i štetna je za upravljivost motornih vozila, pa pri izboru parametara sistema za upravljanje treba težiti njenoj minimi-

* Akademik Akademije transporta i akademik Akademije kvaliteta Ruske Federacije, redovni član Inženjerske akademije Jugoslavije.

zaciji. U početnoj fazi projektovanja u te svrhe se koristi dinamička simulacija, koja omogućava analizu uticaja konstruktivnih parametara na lepršanje točkova, analizu stabilnosti sistema za slučaj da postoje sistemi automatske regulacije [10] i sl.

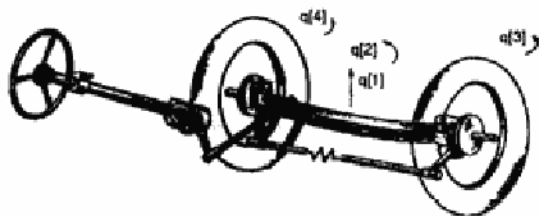
Cilj ovog rada bio je da se izvrši analiza uticaja vrste upravljača na „lepršanje“ upravljačkih točkova kamiona sa pogonom preko svih točkova (masa i ostali parametri su uzeti od vozila FAP 2226 [20]). Modeliranje sistema za upravljanje posmatranog vozila obuhvata dve varijante: sa servo i bez servoupravljača.

Treba uočiti da modeliranje prednjeg mosta sa ugrađenim servoupravljačem zahteva korišćenje principa klasične mehanike i hidraulike, a u slučaju vozila sa mehaničkim sistemom za upravljanje samo principa mehanike.

Modeliranje „lepršanja“ upravljačkih točkova

Radi daljeg razmatranja, na slici 1 šematski je prikazan sistem za upravljanje teretnog motornog vozila. Očigledno je da ga čine dva podsistema, i to:

- prednji (upravljački) most,
- upravljač sa mehanizmom za upravljanje (polužje, spone, trapez upravljanja).



Sl. 1 – Šematski prikaz prednjeg mosta i sistema za upravljanje teretnog motornog vozila

U ovom radu su posmatrane dve varijante upravljanja, sa i bez servodejstva. Razlika između njih se, prvenstveno, ogleda u činjenici da se kod servoupravljača stvara dodatni moment zaokretanja, usled servodejstva. U tom slučaju sabiraju se moment usled servodejstva i moment kojim vozač deluje na točak upravljača, pa se njegovim anuliranjem omogućava da se jednim modelom opišu oba tipa upravljača. Imajući u vidu da postoji granična vrednost momenta za zaokretanje vozila [11], očigledno je da će vozač, u slučaju postojanja servodejstva, delovati manjim momentom na točak upravljača, pa će se manje i zamarati [8-12, 19]. Prednosti i nedostaci sistema za upravljanje sa servoupravljačem detaljno su obrađeni u literaturi [7, 11]. Treba ukazati na činjenicu da servoupravljač izaziva dodatne vibracije u sistemu za upravljanje [11], pa će ta pojava biti analizirana u ovom radu.

Takođe treba istaći da servoupravljač sa mehanizmom za upravljanje i prednjim mostom predstavlja sistem automatske regulacije, čija je značajna karakteristika stabilnost. Imajući u vidu da je ovaj problem razmotren u [10] za slučaj linearnih dinamičkih sistema, a da još uvek ne postoje opšte metode za analizu stabilnosti nelinearnih dinamičkih sistema automatske regulacije, o ovom problemu u ovom radu neće biti reči.

Modeliranje mehaničkog podsistema

Imajući u vidu sliku 1 ocenjeno je celishodnim da se razmatraju sledeća kretanja:

- vertikalne vibracije prednjeg mosta $q[1]$,
- valjanje prednjeg mosta $q[2]$,
- „lepršanje“ desnog točka $q[3]$,
- „lepršanje“ levog točka $q[4]$.

Pored toga, u analizu je uključen i uticaj geometrije oslanjanja prednjih točkova kao i podizanje centra prednjeg mosta. Uticaj geometrije postavljanja upravljačkih točkova na podizanje centra prednjeg mosta analiziran je u [9, 11, 18], pa su te relacije korišćene i u ovom radu.

Zazori u sistemu za upravljanje su zanemareni, a u analizu su uključene sile i momenti koji deluju na površini dodira pneumatika i tla, kao i elastičnost spone trapeza.

Kinematika upravljačkog mehanizma, takođe, utiče na „lepršanje“ točkova, što je detaljno opisano u [3].

Imajući u vidu pravila koja propisuju programski paket NEWEUL, i usvojenja karakteristična oscilatorna kretanja posmatranog sistema sa slike 1 uvedeno je 16 koordinatnih sistema, šest linearizovanih veličina i 9 zamena. Pri tome nisu linearizovane veličine uglova „lepršanja“, što je dovelo do nelinearnosti u mehaničkom modelu.

Izbor koordinatnih sistema zavisi od broja stepeni slobode kretanja, a njihov broj je proizvoljan. Njima se dodeljuju mase, momenti inercije, sile i sl. Postupak unošenja ulaznih podataka definisan je pravilima NEWEUL-a [21].

Nakon izvršenja programa na računaru Pentium 133 MHz, 64Mb RAM, generisane su diferencijalne jednačine koje opisuju posmatrana oscilatorna kretanja prednjeg mosta i „lepršanje“ upravljačkih točkova.

Kako je posmatrani dinamički sistem neholonoman, u generisanim diferencijalnim jednačinama figurišu izrazi za sile i momente koje je neophodno definisati.

Imajući u vidu uticaj geometrije oslanjanja točkova na sile i momente koji se javljaju u dodirnoj površini točka i tla, na osnovu [6, 8, 9, 14, 15, 18], može se napisati:

$$\begin{aligned} Y_i &= Z_i (C_y q[3,4] + C_{xy} \chi + C_{yy} \gamma) \\ M_{si} &= Z_i (C_s q[3,4] + C_{xs} \chi + C_{ys} \gamma) \end{aligned} \quad (1)$$

gde su:

C_{xy} i C_{ys} – koeficijenti uticaja uglova konvergencije i bočnog nagiba točka na bočnu silu i moment stabilizacije, χ , γ – uglovi konvergencije i bočnog nagiba točka, respektivno, (indeksi y – sila, s – moment),

C_y i C_s – koeficijenti bočne krutosti pneumatika (indeksi y – sila, s – moment), $q[3]$, $q[4]$ – uglovi „lepršanja“ desnog i levog upravljačkog točka, respektivno, Z_i – radijalna sila tla ($i = 1, i = d$). Uobičajeno je da se njihove veličine definišu u obliku [8, 9]:

$$Z_i = \frac{G}{2} + G_i \quad (2)$$

gde je:

G – statička reakcija tla koja potiče od oslonjene mase,

G_i – sila usled mase točka.

Analize su pokazale da se uticaj diferencijala na preraspodelu sila sa levog na desni točak i obrnuto, može, pri pravolinijskoj vožnji, zanemariti [9]. Zbog

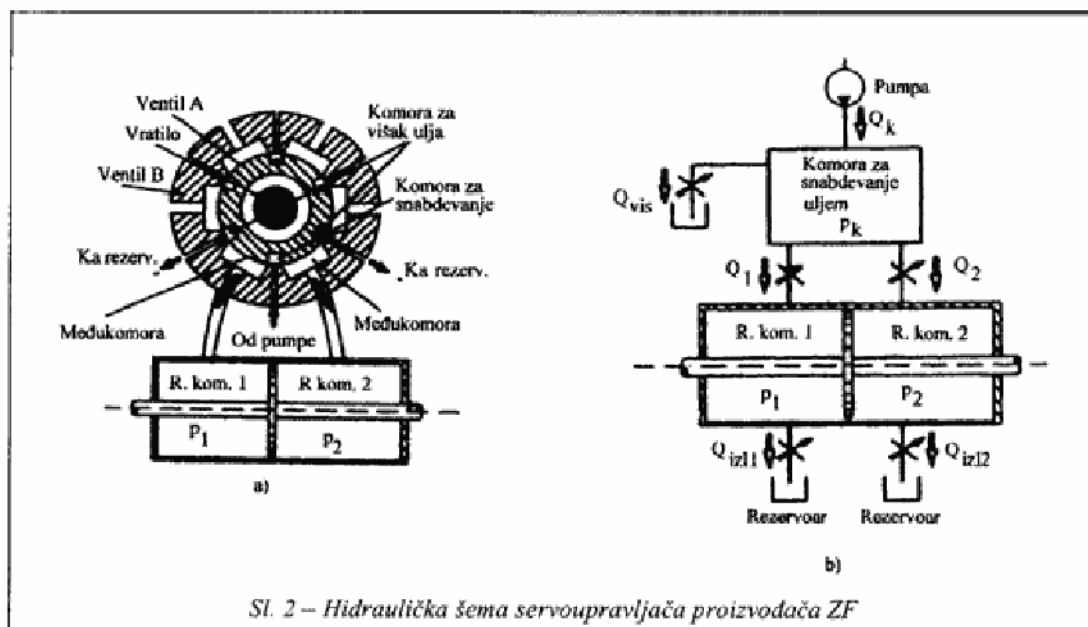
toga je to i ovde učinjeno, pa su i tangencijalne sile na levom i desnom točku međusobno jednake.

U radu je posmatrano vozilo FAP 2226, tako da su svi neophodni parametri dobijeni od proizvođača [20], i ovde nisu prikazani, a analize su obavljane za brzine 10, 15 i 20 m/s i za potpuno opterećeno vozilo.

Modeliranje hidrauličkog podsistema

Hidraulički sistem servoupravljača, koji je šematski u preseku prikazan na slici 2a, sastoji se od većeg broja komponenti [5, 12, 19, 22]: pumpe, vodova za napajanje sistema uljem, servoventila, radnog cilindra, rezervoara za zalihe, pritisknih komora i sl. Vozač deluje preko točka upravljača i izaziva okretanje vratila, koje je u vezi sa servohidrauličkim ventilom. Funkcionisanje servoupravljača detaljno je opisano u [5, 12, 19]. Radi

daljeg razmatranja, na slici 2b prikazana je funkcionalna hidraulička šema posmatranog servoupravljača, proizvođača ZF [22]. Očigledno je da se ulje od hidrauličke pumpe dovodi u komoru za napajanje uljem. Pri nultom položaju servovenila ulje se dovodi u dve međukomore, koje su povezane sa komorama radnog cilindra u kojem vladaju pritisci p_1 i p_2 . Pošto su pritisci međusobno jednaki, ulje direktno otiče u rezervoar. Zaokretanjem točka upravljača zakreću se i delovi servovenila, tako da se menja površina otvaranja ventila između komore za napajanje i međukomora (jedna se površina smanjuje a druga povećava u zavisnosti od smera rotacije vratila upravljača). Istovremeno se zatvara, odnosno otvara odgovarajuća površina između međukomora i malih komora. Time dolazi do pojave protoka u komori 1 i promene pritiska ulja, sa čime je u tesnoj vezi i povećanje pritiska ulja u radnom cilindru, jer dolazi do povećanja količine ulja. Suprotan proces odvija se u komori 2.



Sl. 2 – Hidraulička šema servoupravljača proizvođača ZF

Na osnovu datog opisa i osnovnih postavki hidraulike [8, 12, 13, 19] mogu se napisati osnovne hidrodinamičke jednačine sistema. Protok ulja ka komori za snabdevanje dat je izrazom [12]:

$$Q_k = \frac{p_p - 0,5p_k}{p_p - p_0} \quad (3)$$

gde je:

p_p – maksimalni radni pritisak pumpe (100 bara),

p_k – pritisak u komori,

p_0 – atmosferski pritisak.

Protok u komore radnog cilindra 1 i 2 opisuje jednačina [8, 12, 13, 19]:

$$Q_{1,2} = A_{1,2}\psi_{1,2}\sqrt{\frac{2}{\rho}}\sqrt{|p_k - p_{1,2}|}\text{sign}|p_k - p_{1,2}| \quad (4)$$

gde je:

$A_{1,2}$ – površine otvaranja,

$\psi_{1,2}$ – faktor strujanja,

ρ – gustina ulja.

Na sličan način može se napisati i relacija za protok ulja iz radnih komora ka izlaznim rezervoarima [8, 12, 13, 19]:

$$Q_{3,4} = A_{3,4}\psi_{3,4}\sqrt{\frac{2}{\rho}}\sqrt{|p_{1,2} - p_0|}\text{sign}|p_{1,2} - p_0| \quad (5)$$

pri čemu su oznake iste kao u izrazu (4).

Na osnovu [12] i slike 2, brzina promene pritiska u komori za snabdevanje uljem definisana je izrazom:

$$\dot{p} = (Q_k - Q_1 - Q_2 - Q_{vis}) \quad (6)$$

a brzine promena pritiska u komorama radnog cilindra:

$$\dot{p}_{1,2} = \frac{E}{v_r \pm xA_{kl}}(Q_{1,2} - Q_{iz1,2} \pm xA_{kl}) \quad (7)$$

gde je E modul stišljivosti ulja [13], dok su ostale oznake prikazane na slici 2.

Površina otvaranja prolaza može se aproksimirati izrazom [8, 12, 19]:

$$A_{1,2} = A_{nom} \left(1 - \sin \frac{\Delta\psi}{\Delta\psi_{max}} \right) \quad (8)$$

Veličina $\Delta\psi$ je u tesnoj vezi sa uglovima zaokretanja vratila upravljača, tj:

$$\Delta\psi = \varepsilon - \delta \quad (9)$$

pri čemu je:

$$\delta = \frac{x}{r_{puza}} \quad (10)$$

U izrazima (9, 10) korišćene su oznake:

ε – ugao zaokretanja puža,

x – pomeranje pužnog točka,

ψ_{max} – maksimalni ugao zaokretanja servoventila,

r_{puza} – poluprečnik puža.

Treba uočiti da su izrazi (3 do 10) nelinearnog karaktera, što svakako doводи do nelinearnosti čitavog posmatranog dinamičkog modela.

Dinamička simulacija

Pri dinamičkoj simulaciji bilo je neophodno uključiti u razmatranje i dejstvo vozača na točak upravljača, pa su usvojene sledeće hipotetičke zavisnosti:
– ugao zaokretanja točka upravljača

$$\theta_u = \frac{\pi}{6}(rnd - 0,5) \quad (11)$$

– moment kojim vozač deluje na točak upravljača

$$M_{voz} = 200^{\circ}(rnd - 0,5) \quad (12)$$

gde su *rnd* slučajni brojevi, ravnomerno raspoređeni u intervalu 0 i 1.

Kako je posmatrani kombinovani hidrodinamički i mehanički sistem nelinearan, diferencijalne jednačine kretanja i izrazi (1 do 12) rešavani su simultano, numerički, primenom metode Runge-Kuta, sa korakom integracije 0,0005 u 16384 tačke, što je omogućilo pouzdanu analizu podataka u intervalu 0,12 do 1000 Hz [2]. Pri tome su korišćeni parametri servoupravljača iz [8, 12, 19], koji su u skraćenom vidu dati u tabeli 1.

Tabela 1

Osnovni parametri korišćenog sistema servoupravljača

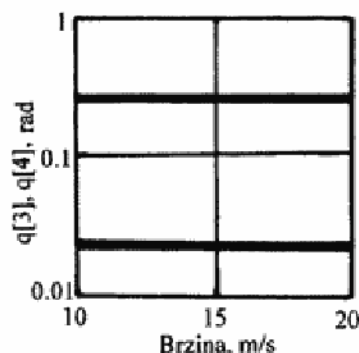
$p=10$ MPa
$Q=0,3$ m ³ /s
$Q_{vis}=0,15$ m ³ /s
$\rho=750$ kg/m ³
$E=6,12$ Pa
$v_r=0,1$ m ³
$v_k=0,05$ m ³
$A_1, A_2, A_3, A_4=0,000001$ m ²
$A_{k1}=0,009$ m ²
$\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \Psi_4=0,7$
$r_{puz}=0,01$ m

Vremenske realizacije dobijene numeričkom integracijom slučajnog su karaktera. To se lako može objasniti činjenicom da su pobude kojima vozač deluje na točak upravljača, kao i one koje potiču od mikroneravnina puteva, takođe slu-

čajne. Zbog toga je bilo neophodno da se izvrši obrada podataka. Najpre su izračunate efektivne vrednosti „lepršanja“ upravljačkih točkova, zatim unakrsni spektri i korelacione funkcije i, najзад, funkcija koherencije.

Pri analizi dobijenih podataka treba imati u vidu da cilj izvršenih istraživanja nije bio da se utvrdi uticaj vrste upravljača na zamor vozača, jer je ovaj efekat dobro poznat [7], već samo na „lepršanje“ prednjih točkova.

Radi ilustracije, na slici 3 prikazani su delimični rezultati koji se odnose na efektivne vrednosti „lepršanja“ točkova.



Sl. 3 – Uticaj brzine na „lepršanje“ točkova za slučaj ugrađenog servoupravljača

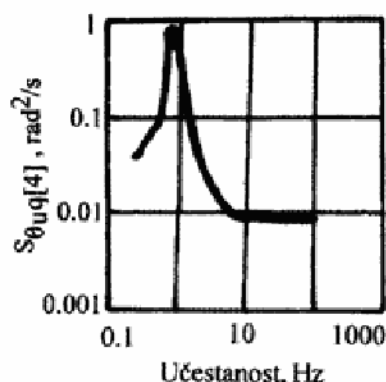
Analize su pokazale da brzina vozila neznatno utiče na veličine uglova „lepršanja“ točkova, i to kod oba tipa upravljača. Pri tome se javlja razlika u veličini uglova „lepršanja“ levog i desnog točka, što se može objasniti činjenicom da upravljač direktnije utiče na „lepršanje“ levog točka, zbog same konstrukcije.

Analizom unakrsnih spektara, čiji je ilustrativan primer prikazan na slici 4, utvrđeno je da postoji veća povezanost pobuda koje potiču od točka upravljača i

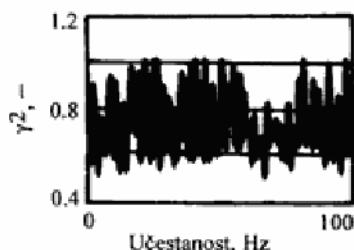
točkova, a manja kada se posmatra veza između točkova. Brzina vozila nije pokazala značajniji uticaj na izračunate vrednosti unakrsnih spektara, što je u saglasnosti sa izračunatim efektivnim vrednostima. Pored toga, tip upravljača nije pokazao veći uticaj na karakter uglova „lepršanja“ točkova, jer se radilo o istim karakteristikama pobuda koje je vozač prouzrokovao delovanjem na točak upravljača.

Do sličnih zaključaka došlo se i analizom unakrsnih (kros) korelacionih funkcija, pa one ovde neće biti posebno razmatrane.

Dodatne analize omogućene su posmatranjem funkcija koherencije, koje su delimično prikazane na slikama 5 do 9.



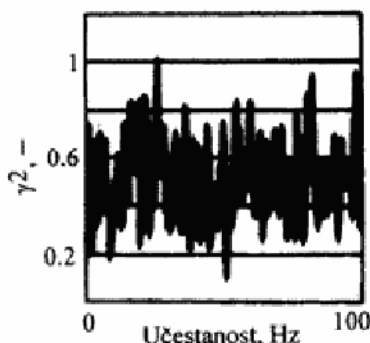
Sl. 4 – Unakrsni spektar: točak upravljača – levi točak, za brzinu vozila 10 m/s (varijanta sa servoupravljačem)



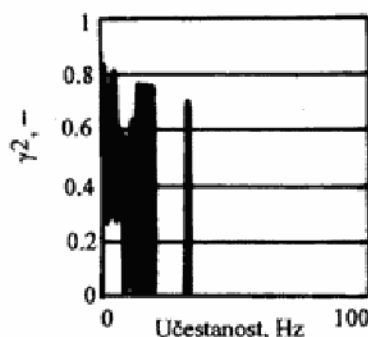
Sl. 5 – Funkcija koherencije: točak upravljača – levi točak, za brzinu vozila 10 m/s (varijanta sa servoupravljačem)

Analizom funkcija koherencije točak upravljača – levi točak vozila, pokazano je da u svim posmatranim eksploatacionim uslovima (tri brzine) postoji veća sprega nego što je to slučaj sa spregom točka upravljača i desnog točka (slika 6). To se objašnjava činjenicom da postoji bliža konstruktivna veza između levog točka i točka upravljača, nego u slučaju desnog točka.

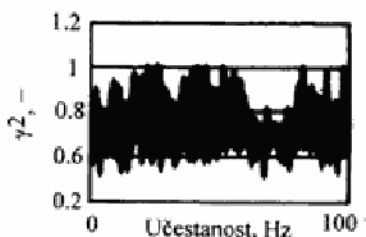
Sa slike 7 uočava se da postoji sprega „lepršanja“ levog i desnog točka, u značajnijem meri, samo pri nižim učestanostima (do 10 Hz), dok pri višim učestanostima ta sprega uopšte ne postoji, pa



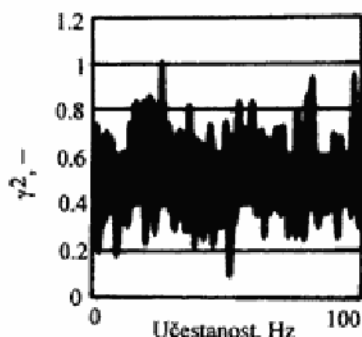
Sl. 6 – Funkcija koherencije: točak upravljača – desni točak, za brzinu vozila 10 m/s (varijanta sa servoupravljačem)



Sl. 7 – Funkcija koherencije: desni – levi točak, za brzinu vozila 10 m/s (varijanta sa servoupravljačem)



Sl. 8 – Funkcija koherencije: točak upravljača – levi točak, za brzinu vozila 10 m/s (varijanta sa mehaničkim upravljačem)



Sl. 9 – Funkcija koherencije: točak upravljača – desni točak, za brzinu vozila 10 m/s (varijanta sa mehaničkim upravljačem)

levi i desni točak imaju nezavisna „lepršanja“. To se lako može objasniti činjenicom da je spōna trapeza upravljanja posmatrana kao elastično telo.

Analizom podataka sa slika 8 i 9 može se uočiti da postoji slična zavisnost i kod vozila sa mehaničkim upravljačem, ali je u tom slučaju nivo sprege viši nego kod slučaja servoupravljača. To je logično, jer u ovom slučaju ne postoji prigušenje od strane ulja u sistemu za upravljanje.

Za obe varijante upravljača karakteristično je da je funkcija koherencije manja od jedinice, što potvrđuje činjenicu da su u pitanju bili nelinearni modeli sistema za upravljanje.

Treba naglasiti da se i u ovim rezultatima uticaj brzine kretanja vozila mo-

gao zanemariti, kao i da zbog objektivnih teškoća dobijeni rezultati nisu mogli biti verifikovani eksperimentalnim putem. Međutim, imajući u vidu višegodišnja iskustva [20], može se tvrditi da se radi o pouzdanim analizama.

Zaključak

Na osnovu izvršenih analiza može se zaključiti da vrsta upravljača utiče na „lepršanje“ levog i desnog upravljačkog točka, pri čemu postoji veća povezanost „lepršanja“ levog točka sa pobudama koje vozač ostvaruje preko točka upravljača, dok nivo sprege postoji između vibracija („lepršanja“) levog i desnog točka.

U slučaju ugradnje servoupravljača javlja se niži nivo povezanosti „lepršanja“ točkova i pobuda od točka upravljača, nego kod mehaničkog upravljača.

Brzina vozila nije pokazala veći uticaj na uglove „lepršanja“ točkova.

U narednom periodu treba izvršiti i istraživanja iz oblasti stabilnosti posmatranog dinamičkog sistema.

Literatura:

- [1] Becker, G., Fromm, H., Maruhn, H.: Schwingungen in Automobillenkungen (Shimmy), M. Krayn, Technische Verlag, G.M.B.H., Berlin, 1931.
- [2] Bendat, S., Piersol, E.: Analysis and Measuring Procedures, Wiley Interscience (na ruskom), Mir, Moskva, 1994.
- [3] Demic, M.: Analysis of Influence of Design Parameters on Steered Wheels Shimmy of Heavy Vehicles, Vehicle System Dynamics, 26 (1996), pp. 343–379.
- [4] Demic, M.: Optimization of Vehicles Elasto-Damping Element Characteristics from the Aspect of Ride Comfort, Vehicle System Dynamics, 23 (1994), pp. 351–377.
- [5] Duer, R., Schiehlen, W., Zamow, J.: Simulationsmodelle fuer Servolenkungen, VDI Berichte, Nr. 1283, 1996.
- [6] Ellis, J. R.: Vehicle Handling Dynamics, MEP, Ltd, London, 1994.
- [7] Fitch, J. W.: Motor Truck Engineering Handbook, SAE, Warrendale, USA, 1993.
- [8] Gillespie, T.: Fundamental of Vehicle Dynamics, SAE, 1992.

- [9] Hachaturov, A. A. and oth.: Dynamic of the Road-Tire-Vehicle-Driver System (na ruskom), Mashinostroenie, Moscow, 1976.
- [10] Janićijević, N.: Automatizacija sistema motornih vozila, Mašinski fakultet u Beogradu, 1993.
- [11] Milidrag, S. i dr.: Sistemi upravljanja motornih vozila, FTN, Novi Sad, 1996.
- [12] Meitinger, Th., Breidfild, C.: Simulation des dynamischen Verhaltens von Zahastangen-Hydrolenkungen, Achener Kolloquium Fahrzeug-und Motortechnik, 1998.
- [13] Merrit, H. E.: Hydraulic Control Systems, New York, John Willey and Sons, 1969.
- [14] Miliken, W., Miliken, D.: Race Car Dynamics, SAE, 1995.
- [15] Mitschke, M.: Dynamik der Kraftfahrzeuge, Springer, 1973.
- [16] Pars, A.: Treatise on Analytic Dynamics, Heinemann, London, 1971.
- [17] Simić, D.: Dinamika motornih vozila, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [18] Simić, D.: Dinamika motornih vozila – stabilnost upravljanja, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1973.
- [19] Ulrich, H., Boeker, M., Kettl, R.: Simulationen zur Optimierung von Servolenkungen, Internationales Fluid-technisches Kolloquium, Achen, 1998.
- [20] FAP: Informacije, 1977–2001.
- [21] NEWEUL, Manual, TU Stuttgart, 2000.
- [22] Prospektni materijal proizvađača ZF.

Rezime:

U ovom radu izloženo je nekoliko metoda odbacivanja ekstremnih vrednosti posmatrane slučajne promenljive u toku nekog eksperimenta ili ispitivanja. Radi ilustracije izloženih metoda predložen je određeni broj primera koji su urađeni primenom posebno razvijenog računarskog programa.

Ključne reči: ekstremna vrednost, Studentov ili t-test, Fišerov ili F-test, parametar raspodele, kvantil raspodele, Vejbulova raspodela, poverenje, granica poverenja.

**METHODS OF REJECTING THE RANDOM VARIABLE
EXTREME VALUES**

Summary:

This study deals with several methods of rejecting the extreme values of a particular random variable during an experiment or testing. The described methods are illustrated by a number of examples obtained by a specially developed computer program.

Key words: extreme values, Student or t-test, Fisher or F-test, distribution parameter, distribution quantiles, Weibull distribution, confidence, confidence limit.

Uvod

U toku izvođenja nekog eksperimenta ili ispitivanja, posmatrana slučajna promenljiva može poprimiti vrednosti koje se veoma razlikuju od ostalih vrednosti. To su tzv. ekstremne vrednosti čija je pojava malo verovatna. Ako je ukupan broj vrednosti mali, ekstremna vrednost nepovoljno utiče na tačnost ocenjivanja parametara raspodele, pa je treba odbaciti što je opravdano i u skladu sa statističkim testovima.

U ovom radu, izloženo je nekoliko metoda odbacivanja ekstremnih vrednosti koje je u toku nekog eksperimenta ili ispitivanja poprimila posmatrana slučajna promenljiva. Primenom izloženih metoda odbacuju se one ekstremne vrednosti čije realizacije imaju veoma malu verovatnoću, koja je manja ili jednaka, na primer, jednom promilu.

Prva izložena metoda koristi ceo skup vrednosti koje je poprimila slučajna promenljiva, i zasnovana je na Studentovom ili *t*-testu i Fišerovom ili *F*-testu po-

moću kojih se proveravaju jednakosti srednjih vrednosti i standardnih devijacija za dva slučaja: prvi, kada je u skupu vrednosti uključena i drugi, kada je isključena posmatrana ekstremna vrednost. Postavljeni kriterijumi u oba navedena testa moraju da budu ispunjeni da bi se posmatrana ekstremna vrednost odbacila ili u protivnom zadržala u skupu vrednosti.

Druga metoda je slična prvoj, a od nje se razlikuje po tome što se primenjuje na veći broj podskupova koji se izdvajaju na slučajan način iz osnovnog skupa vrednosti slučajne promenljive. Podskupovi vrednosti sadrže oko polovine broja vrednosti osnovnog skupa. Svi podskupovi se izdvajaju iz osnovnog skupa podataka po principu pseudoslučajnih brojeva koji predstavljaju redni broj vrednosti u posmatranom osnovnom skupu vrednosti. Svaki od ovih podskupova u prvom slučaju sadrži posmatranu ekstremnu vrednost, a u drugom ta vrednost je isključena. Na osnovu vrednosti u podskupovima određuju se srednje vrednosti i standardne devijacije na koje se dalje primenjuje t -test i F -test radi donošenja odluke o tome da li posmatranu ekstremnu vrednost treba odbaciti ili zadržati u skupu osnovnih vrednosti. Koristeći srednje vrednosti i standardne devijacije podskupova vrednosti slučajne promenljive i primenom t -testa i F -testa, prati se koliko puta od ukupnog broja podskupova posmatranu ekstremnu vrednost nije trebalo odbaciti.

Na osnovu ukupnog broja podskupova vrednosti i broja podskupova vrednosti u kojima je došlo do uspešnog ishoda postupka, određuje se uspešnost, kao i granice poverenja. Ako se unapred zada

minimalno prihvatljiva vrednost za ovu uspešnost i ako je donja granica poverenja veća od te minimalno prihvatljive vrednosti za uspešnost, posmatranu ekstremnu vrednost treba zadržati, a u protivnom je odbaciti, što je izloženo u okviru druge metode. Treća izložena metoda odbacivanja ekstremne vrednosti zasnovana je na upoređenju te vrednosti sa utvrđenim kvantilima poznate raspodele slučajne promenljive. U ovom radu razmatran je slučaj troparametarske Vcjbulove raspodele. Kriterijum za zadržavanje posmatrane ekstremne vrednosti je ako je ona veća od donjih kvantila i manja od gornjih kvantila. Donji i gornji kvantili određuju se na osnovu tačkastih ocena parametara raspodele za oba slučaja, kada je ekstremna vrednost prisutna u skupu vrednosti i kada je ona namerno isključena iz posmatranog skupa vrednosti. Rešavanje predmetnog problema je složeno i zahteva primenu elektronskog računara. Radi ilustracije izloženih metoda, dato je nekoliko primera koji su urađeni primenom računarskog programa koji je razvijen specijalno za rešavanje ove problematike.

Metode odbacivanja ekstremnih vrednosti

METODA STATISTIČKIH
TESTOVA NA CELOM
SKUPU VREDNOSTI

Odbacivanje donje ekstremne vrednosti

Neka su $t_1, t_2, \dots, t_n$ vrednosti koje je slučajna promenljiva t poprimila u toku jednog eksperimenta. Tačkaste ocene srednje vrednosti i standardne devijacije date su sledećim izrazima:

$$\hat{m}_1 = \bar{t}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (1)$$

$$\hat{\sigma}_1 = s_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \hat{m}_1)^2} \quad (2)$$

Ako se iz skupa vrednosti koje je uzela slučajna promenljiva t : $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ odbaci najmanja vrednost t_{min} , dobiće se „krnji“ skup od $n-1$ vrednost. Na osnovu ovih vrednosti „krnjeg“ skupa treba ponovo odrediti tačkaste ocene za srednju vrednost i standardnu devijaciju koristeći sledeće izraze:

$$\hat{m}_2 = \bar{t}_2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} t_i \quad (3)$$

$$\hat{\sigma}_2 = s_2 = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^{n-1} (t_i - \hat{m}_2)^2} \quad (4)$$

Koristeći tačkaste ocene $\hat{m}_1, s_1, \hat{m}_2, s_2$, kao slučajne promenljive, može se formirati nova slučajna promenljiva:

$$\hat{t} = \frac{\hat{m}_1 - \hat{m}_2}{\sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (5)$$

gde je $n_1 = n$ i $n_2 = n - 1$.

Slučajna promenljiva $\hat{t}$, data izrazom (5), ima Studentovu ili t -raspodelu sa $n_1 + n_2 - 2$ stepeni slobode. Kada se usvoji vrednost donjeg kvanta (rizika), p , za ovaj broj stepeni slobode $n_1 + n_2 - 2$ može se odrediti kvantil Studentove ili t -raspodele $t_p(n_1 + n_2 - 2)$.

Za ovako određenu vrednost kvantila t -raspodele, ako je ispunjen uslov:

$$-t_p(n_1 + n_2 - 2) < \hat{t} < t_p(n_1 + n_2 - 2) \quad (6)$$

ekstremnu vrednost t_{min} ne bi trebalo odbaciti. U protivnom, ako uslov dat izrazom (6) nije ispunjen, donju ekstremnu ili minimalnu vrednost t_{min} trebalo bi odbaciti.

Opravdanost odbacivanja t_{min} trebalo bi pojačati ispunjavanjem još jednog uslova. Radi toga treba formirati novu slučajnu promenljivu:

$$\hat{F} = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (7)$$

koja ima Fišerovu ili F -raspodelu sa $n_1 - 1$ i $n_2 - 1$ stepeni slobode.

Za usvojene vrednosti donjeg i gornjeg kvanta (rizika), p i q , respektivno, a za ove brojeve stepeni slobode $n_1 - 1$ i $n_2 - 1$, mogu se odrediti donji i gornji kvantili F -raspodele: $F_1(p; n_1 - 1; n_2 - 1)$ i $F_2(q; n_1 - 1; n_2 - 1)$. Za ovako određene vrednosti kvantila, ako je ispunjen uslov:

$$F_1(p; n_1 - 1; n_2 - 1) < \hat{F} < F_2(q; n_1 - 1; n_2 - 1) \quad (8)$$

donju ekstremnu vrednost t_{min} ne bi trebalo odbaciti. U protivnom, tj. ako uslov dat izrazom (8) nije ispunjen, t_{min} bi trebalo odbaciti.

Ispunjavanje uslova datog izrazom (6) ukazuje na to da nije došlo do značajnijeg pomeranja, a ispunjavanje uslova datog izrazom (8) da nije došlo do značajnijeg rasipanja posle odbacivanja donje

ekstremne ili minimalne vrednosti t_{min} . Dakle, ako su ispunjena oba uslova, data izrazima (6) i (8), tada vrednost t_{min} ne treba odbaciti. U protivnom, ako oba uslova istovremeno nisu ispunjena, tada vrednost t_{min} treba odbaciti. Na taj način, dobija se veća sigurnost u opravdanost odbacivanja vrednosti t_{min} .

Odbacivanje gornje ekstremne vrednosti

Neka su $t_1, t_2, \dots, t_n$ vrednosti koje je slučajna promenljiva t poprimila u toku jednog eksperimenta, i neka je t_{max} najveća vrednost u tom skupu vrednosti. Ne odbacujući ovu maksimalnu vrednost t_{max} , pomoću izraza (1) i (2) odrede se tačkaste ocene za srednju vrednost i standardnu devijaciju slučajne promenljive t .

Ako se iz skupa vrednosti koje je uzela slučajna promenljiva t : $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ odbaci najveća vrednost t_{max} , dobiće se „krnji“ skup od $n-1$ vrednost. Na osnovu ovih vrednosti „krnjeg“ skupa, treba ponovo odrediti tačkaste ocene za srednju vrednost i standardnu devijaciju koristeći izraze (3) i (4). Na isti način, kao i u slučaju prethodnog postupka odbacivanja minimalne vrednosti t_{min} , koristeći tačkaste ocene za srednje vrednosti i standardne devijacije, formira se slučajna promenljiva koja je data izrazom (5) i slučajna promenljiva koja je data izrazom (7).

Ako vrednosti tačkastih ocena, datih izrazima (5) i (7), ispunjavaju uslove date izrazima (6) i (8), tada gornju ekstremnu vrednost t_{max} ne treba odbaciti. U protivnom, ova vrednost se može odbaciti. Sigurnost, S , u opravdanost odbacivanja gornje ekstremne ili maksimalne vredno-

sti t_{max} može se izraziti pomoću usvojenih rizika p i q , tj. $S = 1 - (p + q)$.

METODA STATISTIČKIH TESTOVA NA PODSKUPOVIMA VREDNOSTI

Odbacivanje donje ekstremne vrednosti

a) postupak usrednjavanja

Neka su $t_1, t_2, \dots, t_n$ vrednosti koje je slučajna promenljiva t poprimila u toku jednog eksperimenta. Iz skupa ovih vrednosti izdvoji se na slučajan način podskup od N vrednosti. Broj N može se odrediti pomoću sledećeg izraza:

$$N = 1 + \left\lfloor \frac{1}{2}n \right\rfloor \quad (9)$$

gde je n ukupan broj vrednosti za t celog skupa, a $\lfloor Q \rfloor$ je celobrojna vrednost broja $Q = n/2$. Pri izdvajanju podskupa vodi se računa da donja ekstremna vrednost t_{min} bude prisutna.

Na osnovu tako izdvojenih vrednosti podskupa, pomoću izraza (1) i (2), određuju se tačkaste ocene za srednju vrednost i standardnu devijaciju, vodeći računa da se u tim izrazima n zameni sa N . Posle toga ponovo se iz celog skupa vrednosti na slučajan način izdvoji podskup od N vrednosti, ali tako da donja ekstremna vrednost t_{min} ne bude prisutna. Ponovo se odrede tačkaste ocene za srednju vrednost i standardnu devijaciju, vodeći računa da se i u ovom slučaju u izrazima (1) i (2) n zameni sa N .

Tako se dobijaju po dve ocene za srednju vrednost i standardnu devijaciju: $\hat{m}_1, s_1, \hat{m}_2$ i s_2 .

Ponavljajući ceo ovaj postupak N_p puta (preporučuje se da N_p bude veće od n), dobiće se skupovi vrednosti za $\hat{m}_1, s_1, \hat{m}_2$ i s_2 .

Usrednjene vrednosti za srednje vrednosti i standardne devijacije date su sledećim izrazima:

$$\hat{m}_1^* = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \hat{m}_{1i} \quad (10)$$

$$\hat{m}_2^* = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} \hat{m}_{2i} \quad (11)$$

$$s_1^* = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} s_{1i} \quad (12)$$

$$s_2^* = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} s_{2i} \quad (13)$$

Ako se u izrazima (5) i (7) tačkaste ocene za srednje vrednosti i standardne devijacije zamene sa usrednjenim vrednostima datim odgovarajućim izrazima od (10) do (13), a n_1 i n_2 sa N_p , dobiće se statistike: $\hat{t}^*$ i $\hat{F}^*$. Ako vrednosti ovih statistika ispunjavaju uslove date izrazima (6) i (8), onda donju ekstremnu vrednost t_{min} ne treba odbaciti; u protivnom ova vrednost t_{min} može se odbaciti.

b) postupak ocene uspešnosti

Kada se na osnovu vrednosti prvog podskupa odrede tačkaste ocene za srednje vrednosti i standardne devijacije: $\hat{m}_1, s_1, \hat{m}_2$ i s_2 , kao i statistike: $\hat{t}^*$ i $\hat{F}^*$ tada se pomoću izraza (6) i (8) izvrši provera da li se donja ekstremna vredno-

st t_{min} može zadržati. Ako se dobije potvrđan odgovor, onda se to smatra pozitivnim ishodom ili uspehom misije. Proveravanje se nastavlja sve do poslednje probe (izdvajanja podskupa iz osnovnog polaznog skupa vrednosti). Neka je N_p ukupan broj proba (izdvajanja podskupova) i neka je M broj povoljnih ishoda, tj. broj podskupova u kojima je dobijen potvrđan odgovor da se donja ekstremna vrednost t_{min} može zadržati. Na osnovu izloženog može se oceniti verovatnoća zadržavanja ekstremne vrednosti t_{min} pomoću sledećeg izraza:

$$\hat{P}_t = \frac{M}{N_p + 1} \quad (14)$$

Za ovu verovatnoću uspeha ili uspešnost mogu se odrediti i granice poverenja pomoću sledećih izraza:

$$P_1 = 1 - x_{N_p+1-M; M+1; \alpha_1} \quad (15)$$

$$P_2 = x_{M+1; N_p+1-M; \alpha_2} \quad (16)$$

gde je u prethodnim izrazima $x_{\alpha; b; y}$ gornji kvantil beta raspodele; α_1 i α_2 su donji i gornji rizik, respektivno.

Za usvojene vrednosti donjeg i gornjeg rizika α_1 i α_2 , kao i minimalno prihvatljivu vrednost verovatnoće uspeha P_{min} , da bi se zadržala donja ekstremna vrednost t_{min} , potrebno je da bude ispunjen sledeći uslov:

$$P_1 \geq P_{min} \quad (17)$$

Ako uslov dat izrazom (17) nije ispunjen, tada se donja ekstremna vrednost t_{min} može odbaciti sa poverenjem $P = 1 - (\alpha_1 + \alpha_2)$.

Odbacivanje gornje ekstremne vrednosti

a) postupak usrednjavanja

Neka su $t_1, t_2, \dots, t_n$ vrednosti koje je slučajna promenljiva t poprimila u toku jednog eksperimenta i neka je t_{max} najveća vrednost u tom skupu vrednosti. Iz skupa tih vrednosti izdvoji se, na slučajan način, podskup od N vrednosti. Broj vrednosti u podskupu N određuje se pomoću izraza (9). Dalji postupak je isti kao i u slučaju odbacivanja donje ekstremne vrednosti, samo što se umesto donje ekstremne vrednosti t_{min} posmatra gornja ekstremna vrednost t_{max} .

b) postupak ocene uspešnosti

Postupak utvrđivanja opravdanosti zadržavanja ili odbacivanja gornje ekstremne vrednosti isti je kao i postupak izložen u slučaju odbacivanja donje ekstremne vrednosti, samo što se umesto donje ekstremne vrednosti t_{min} posmatra gornja ekstremna vrednost t_{max} .

METODA POREĐENJA EKSTREMNE VREDNOSTI SA KVANTILIMA

Odbacivanje donje ekstremne vrednosti

Neka su $t_1, t_2, \dots, t_n$ vrednosti koje je slučajna promenljiva t poprimila u toku jednog eksperimenta i neka je t_{min} najmanja vrednost u skupu tih vrednosti. Pretpostavlja se da slučajna promenljiva t ima troparametarsku Vejbulovu raspodelu čija je funkcija gustine raspodele $f(t, a, b, c)$, gde je a – parametar položaja (početka) b – parametar razmere (skale) i c –

parametar oblika čije vrednosti treba odrediti. Tačkaste ocene $\hat{a}, \hat{b}$ i $\hat{c}$, za parametre a, b i c , respektivno, mogu se odrediti primenom jedne od poznatih metoda.

Donji kvantil troparametarske Vejbulove raspodele dat je sledećim izrazom:

$$t_p = a + b \left[-\ln(1-p) \right]^{\frac{1}{c}} \quad (18)$$

gde je $p = F(t_p)$ donji kvant (rizik) ili vrednost funkcije raspodele $F(t)$ za $t = t_p$.

Na osnovu skupa vrednosti slučajne promenljive t : $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, u koji je uključena i donja ekstremna vrednost t_{min} , odrede se tačkaste ocene $\hat{a}_1, \hat{b}_1$ i $\hat{c}_1$. Zamenom parametara a, b i c ovim odgovarajućim ocenama u izraz (18) dobija se tačkasta ocena donjeg kvantila troparametarske Vejbulove raspodele:

$$\hat{t}_{p1} = \hat{a}_1 + \hat{b}_1 \left[-\ln(1-p) \right]^{\frac{1}{\hat{c}_1}} \quad (19)$$

Zatim se iz skupa vrednosti $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ izbaci najmanja ili donja ekstremna vrednost t_{min} , tako da skup ostaje sa $n-1$ vrednosti. Koristeći ove vrednosti „krnjeg“ skupa, ponovo se odrede tačkaste ocene parametara raspodele: $\hat{a}_2, \hat{b}_2$ i $\hat{c}_2$. U izrazu (18) teorijski parametri a, b i c zamenene se ovim tačkastim ocenama i ponovo se odredi vrednost donjeg kvantila:

$$\hat{t}_{p2} = \hat{a}_2 + \hat{b}_2 \left[-\ln(1-p) \right]^{\frac{1}{\hat{c}_2}} \quad (20)$$

U izrazima (19) i (20) preporučuje se da vrednost za p bude jedan promil ($p = 0,001$). Pošto se odrede ove dve

tačkaste ocene donjih kvantila, pomoću izraza (19) i (20), tada se najmanja ili donja ekstremna vrednost t_{min} uporedi sa vrednostima ovih kvantila, pa ako je:

$$t_{min} < \hat{t}_{p1} \wedge t_{min} < \hat{t}_{p2} \quad (21)$$

tada se t_{min} može odbaciti, kao malo verovatna vrednost, autlajer (outlayer), jer verovatnoća njene pojave je najverovatnije manja od jednog promila (0,001). Ova tvrdnja je utoliko tačnija, ukoliko je veći broj vrednosti n , slučajne promenljive t . U protivnom, ako uslov dat izrazom (21) nije ispunjen, tada t_{min} ne treba odbaciti.

Odbacivanje gornje ekstremne vrednosti

Neka su $t_1, t_2, \dots, t_n$ vrednosti koje je slučajna promenljiva t poprimila u toku jednog eksperimenta i neka je t_{max} najveća vrednost u skupu tih vrednosti. Pretpostavlja se da slučajna promenljiva t ima troparametarsku Vejbulovu raspodelu čija je funkcija gustine raspodele $f(t, a, b, c)$, gde je a – parametar položaja (početka), b – parametar razmere (skale) i c – parametar oblika čije vrednosti treba odrediti. Tačkaste ocene $\hat{a}, \hat{b}$ i $\hat{c}$ za parametre a, b i c , respektivno, mogu se odrediti primenom jedne od poznatih metoda.

Gornji kvantil troparametarske Vejbulove raspodele dat je sledećim izrazom:

$$t_q = a + b(-\ln q)^{\frac{1}{c}} \quad (22)$$

gde je $q = 1 - F(t_q) = R(t_q)$ gornji kvantil (rizik) ili vrednost funkcije pouzdanosti $R(t)$ za $t = t_q$.

Na osnovu skupa vrednosti slučajne promenljive t : $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ u koji je uključena i gornja ekstremna vrednost t_{max} , odrede se tačkaste ocene $\hat{a}_1, \hat{b}_1$ i $\hat{c}_1$. Zamenu parametara a, b i c ovim odgovarajućim ocenama u izraz (22), dobija se tačkasta ocena gornjeg kvantila troparametarske Vejbulove raspodele:

$$\hat{t}_{q1} = \hat{a}_1 + \hat{b}_1 (-\ln q)^{\frac{1}{\hat{c}_1}} \quad (23)$$

Zatim se iz skupa vrednosti $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ izbaci najveća ili gornja ekstremna vrednost t_{max} , tako da skup ostaje sa $n-1$ vrednosti. Koristeći ove vrednosti „krnjeg“ skupa, ponovo se odrede tačkaste ocene parametara raspodele: $\hat{a}_2, \hat{b}_2$ i $\hat{c}_2$.

U izrazu (22) teorijski parametri a, b i c zamene se ovim tačkastim ocenama i ponovo se odredi vrednost gornjeg kvantila:

$$\hat{t}_{q2} = \hat{a}_2 + \hat{b}_2 (-\ln q)^{\frac{1}{\hat{c}_2}} \quad (24)$$

U izrazima (23) i (24) preporučuje se da vrednost za q bude jedan promil ($q = 0,001$).

Pošto se odrede ove dve tačkaste ocene gornjih kvantila, pomoću izraza (23) i (24), tada se najveća ili gornja ekstremna vrednost t_{max} uporedi sa vrednostima ovih kvantila, pa ako je:

$$t_{max} > \hat{t}_{q1} \wedge t_{max} > \hat{t}_{q2} \quad (25)$$

tada se t_{max} može odbaciti, kao malo verovatna vrednost, autlajer (outlayer), jer je verovatnoća njene pojave najverovatnije manja od jednog promila (0,001). Ova tvrdnja je utoliko tačnija, ukoliko je veći

broj vrednosti n , slučajne promenljive t . U protivnom, ako uslov dat izrazom (25) nije ispunjen, tada t_{max} ne treba odbaciti.

Ilustrativni primeri

PRIMER 1

Pri usvojenim vrednostima parametara Vejbulove raspodele: $a = 250$, $b = 100$ i $c = 2,5$ pomoću specijalno razvijenog računarskog programa, generisati $n = 50$ pseudoslučajnih brojeva koji predstavljaju vrednosti pseudoslučajne promenljive t koja ima Vejbulovu raspodelu sa datim vrednostima parametara ove raspodele. Koristeći tako dobijeni ceo skup vrednosti za t , proveriti da li se može odbaciti donja ekstremna vrednost t_{min} . Usvojiti da su rizici opravdanosti odbacivanja vrednosti t_{min} međusobno jednaki i da iznose 5% ($p = q = 0,05$). Pri rešavanju ovog problema koristiti empirijske vrednosti za srednju vrednost m i standardnu devijaciju σ .

Rešenje:

Za date vrednosti parametara Vejbulove raspodele, pomoću računara, dobijen je sledeći skup od $n = 50$ pseudoslučajnih brojeva.

308,60	383,94	337,82	352,81	334,92
328,63	337,19	315,94	431,45	303,98
321,88	273,17	365,51	426,29	306,37
310,01	347,14	335,99	379,92	392,61
341,88	373,64	271,37	265,04	347,68
311,50	340,32	371,16	340,00	338,33
294,32	340,45	366,59	331,48	274,00
330,34	363,20	376,33	440,85	277,47
301,20	423,33	294,69	319,37	285,65
290,30	352,36	308,88	348,98	352,72

Najmanja i najveća vrednost u datom skupu vrednosti su: $t_{min} = 265,04$ i

$t_{max} = 440,85$. Koristeći računarski program, dobijeni su sledeći rezultati:

Za $n = 50$ (kada je uključena vrednost t_{min}):

$$\hat{a} = 246,0517 \quad \hat{b} = 103,1371 \quad \hat{c} = 2,3342$$

$$\hat{m} = 337,3525 \quad \hat{\sigma} = s = 42,0800.$$

Za $n = 49$ (kada je isključena vrednost t_{min}):

$$\hat{a} = 260,2428 \quad \hat{b} = 88,6120 \quad \hat{c} = 2,0088$$

$$\hat{m} = 338,8283 \quad \hat{\sigma} = s = 41,1879.$$

Studentov ili t -test:

izračunata vrednost t -statistike, $t = -0,1763$

kritična vrednost t -statistike, $t_p(N) = -1,6607$

broj stepeni slobode $N = 97$

donji rizik $p = 0,05$.

Fišerov ili F -test:

izračunata vrednost F -statistike, $F = 1,0438$

donja kritična vrednost F -statistike, $F_p(N1, N2) = 0,6241$

gornja kritična vrednost F -statistike, $F_q(N1, N2) = 1,6044$

prvi broj stepeni slobode $N1 = 50$

drugi broj stepeni slobode $N2 = 49$

donji rizik $p = 0,05$

gornji rizik $q = 0,05$.

Pošto su istovremeno ispunjena oba uslova:

$$-1,6607 < t = -0,1763 < 1,6607 \quad \text{i}$$

$$0,6241 < F = 1,0438 < 1,6044,$$

to se sa poverenjem $P = 1 - (0,05 + 0,05) = 0,90$ može doneti odluka da ne treba odbaciti donju ekstremnu vrednost $t_{min} = 265,04$.

PRIMER 2

Korišćenjem podskupova vrednosti izdvajanih na slučajan način (sa vraćanjem) iz celog skupa vrednosti pseudo-

slučajnih brojeva datih u Primeru 1, proveriti da li se može odbaciti donja ekstremna vrednost t_{min}

a) na osnovu usrednjavanja m i σ po podgrupama;

b) na osnovu uspešnosti neodbacivanja t_{min} u podgrupama.

Usvojiti da su rizici opravdanosti odbacivanja vrednosti t_{min} međusobno jednaki i da iznose 5% ($p = q = 0,05$), kao i vrednosti donjeg i gornjeg rizika $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,05$. Takođe, usvojiti da je minimalna verovatnoća uspešnosti neodbacivanja t_{min} , $P_{min} = 0,90$.

Za rešavanje problema pod a) usvojiti da je broj podgrupa $N_p = 300$, a pod b) $N_p = 50$.

Rešenje:

a) Prosečne vrednosti za srednje vrednosti i standardne devijacije, kada je donja ekstremna vrednost t_{min} uključena i kada je ona isključena, respektivno:

$$m_1 = 336,59 \quad s_1 = 38,96$$

$$m_2 = 334,05 \quad s_2 = 40,78.$$

Studentov ili t -test:

izračunata vrednost t -statistike, $t = 0,7813$
kritična vrednost t -statistike, $t_p(N) = -1,6474$
broj stepeni slobode $N = 598$
donji rizik $p = 0,05$.

Fišerov ili F -test:

izračunata vrednost F -statistike, $F = 0,9126$
donja kritična vrednost F -statistike, $F_p(N1, N2) = 0,8265$
gornja kritična vrednost F -statistike, $F_q(N1, N2) = 1,2099$

prvi broj stepeni slobode $N1 = 299$
drugi broj stepeni slobode $N2 = 299$
donji rizik $p = 0,05$
gornji rizik $q = 0,05$.

Pošto su istovremeno ispunjena oba uslova:

$$-1,6474 < t = 0,7813 < 1,6474 \text{ i}$$

$$0,8265 < F = 0,9126 < 1,2099,$$

to se sa poverenjem $P = 1 - (0,05 + 0,05) = 0,90$ može doneti odluka da ne treba odbaciti donju ekstremnu vrednost $t_{min} = 265,04$.

b) Od $N = n = 50$ proba (podgrupa) bilo je $M = m = 50$ uspešnih ishoda (slučajeva kada t_{min} nije trebalo odbaciti). Na osnovu toga dobijena je ocenjena frekvencija uspešnosti $f = m/(n + 1) = 0,9804$ i granice poverenja $p_1 = 0,942952$ i $p_2 = 0,998995$.

Pošto je donja granica poverenja $p_1 = 0,942952$ veća od $P_{min} = 0,90$ sa velikim poverenjem se može zadržati donja ekstremna vrednost $t_{min} = 265,04$.

PRIMER 3

Znajući da skup vrednosti pseudo-slučajne promenljive t , dat u Primeru 1, ima Vejbulovu raspodelu sa parametrima: $a = 250$, $b = 100$ i $c = 2,5$ na osnovu poređenja donje ekstremne vrednosti t_{min} sa donjim kvantilima t_{1p} i t_{2p} , određenim kada je t_{min} prisutno i kada je ono odsutno, primenom odgovarajućeg izloženog postupka proveriti da li se donja ekstremna vrednost t_{min} može odbaciti. Usvojiti da je red kvantila (kvanti) $p = q = 0,001$.

Rešenje:

Na osnovu izloženog teorijskog postupka i primenom računarskog progra-

ma dobijene su sledeće vrednosti donjih kvantila: $t_{1p} = 251,40$ i $t_{2p} = 263,09$. Oni su određeni sa sledećim tačkastim ocenama parametara Vejbulove raspodele:

$\hat{a} = 246,0517$ $\hat{b} = 103,1371$ i $\hat{c} = 2,3342$;
za $n = 50$ (kada je uključena vrednost t_{min}) i

$\hat{a} = 260,2428$ $\hat{b} = 88,6120$ i $\hat{c} = 2,0088$;
za $n = 49$ (kada je isključena vrednost t_{min}).
Pošto su istovremeno ispunjena oba uslova:

$$t_{min} = 265,04 > t_{1p} = 251,40 \text{ i}$$

$$t_{min} = 265,04 > t_{2p} = 263,40,$$

sa velikim poverenjem se može doneti odluka da ne treba odbaciti donju ekstremnu vrednost $t_{min} = 265,04$.

PRIMER 4

Koristeći opisane postupke i odgovarajući računarski program za odbacivanje ekstremnih vrednosti, kao i skup vrednosti datih u Primeru 1, odrediti neku vrednost za t_{min} , koja je u datom skupu vrednosti jednaka 265,04, koja se po kriterijumima datim u tim postupcima može odbaciti. Za rešavanje ovog problema koristiti sve podatke date u primerima 1, 2 i 3.

Rešenje:

Ako se u skupu vrednosti pseudoslučajne promenljive t , koje su date u Primeru 1, donja ekstremna vrednost t_{min} smanji sa 265,04 na 240,5 i primene sva tri opisana postupka za odbacivanje ekstremnih vrednosti, kao u primerima 1, 2 i 3, onda prema kriterijumima prva dva postupka, vrednost $t_{min} = 240,5$ ne treba odbaciti.

Medutim, primenom trećeg postupka, koji se odnosi na upoređivanje t_{min} sa donjim kvantilima t_{1p} i t_{2p} , ovu vrednost treba odbaciti. U ovom slučaju dobijene su sledeće tačkaste ocene parametara raspodele:

$\hat{a} = 222,569$ $\hat{b} = 128,083$ i $\hat{c} = 2,8684$;
za $n = 50$ (kada je uključena vrednost $t_{min} = 240,5$) i

$\hat{a} = 259,719$ $\hat{b} = 89,232$ i $\hat{c} = 2,0260$;
za $n = 49$ (kada je isključena vrednost $t_{min} = 240,5$).

Na osnovu ovih tačkastih ocena dobijene su sledeće vrednosti donjih kvantila: $t_{1p} = 234,096$ i $t_{2p} = 262,669$.

Pošto nova donja ekstremna vrednost $t_{min} = 240,5$ nije veća od oba donja kvantila $t_{1p} = 234,096$ i $t_{2p} = 262,669$ prema postavljenom kriterijumu ovu vrednost treba odbaciti. Ovaj rezultat je prihvatljiv, kada se zna da su vrednosti date u Primeru 1 generisane sa parametrima raspodele: $a = 250$, $b = 100$ i $c = 2,5$, jer vrednost pseudoslučajne promenljive t ne može biti manja od parametra položaja $a = 250$.

Prva dva navedena postupka odnose se na slučajeve kada zakon raspodele slučajne promenljive t nije poznat i koriste se samo srednje vrednosti i standardne devijacije, a treći postupak se zasniva na poznatom zakonu raspodele (troparameterska Vejbulova raspodela). Zbog toga je i dobijen prihvatljiviji rezultat nego u prva dva slučaja, kod kojih, kada je veliki broj podataka n (vrednosti za t), odbacivanje donje ekstremne vrednosti ne utiče bitno na promenu srednjih vrednosti i standardnih devijacija. Dakle, prva dva postupka treba primenjivati u slučajevima kada nije poznat zakon raspodele posmatrane slučajne promenljive.

Zaključak

Izložene metode odbacivanja ekstremnih vrednosti, koje je u toku eksperimenta ili ispitivanja poprimila posmatrana slučajna promenljiva, uglavnom su poznate. Međutim, kriterijumi za ove metode su modifikovani. Tako, na primer, uveden je kriterijum istovremenog ispunjenja zahteva Studentovog ili t -testa i Fišerovog ili F -testa, da bi se posmatrana ekstremna vrednost odbacila ili zadržala u dobijenom skupu vrednosti slučajne promenljive. Drugim rečima istovremeno se proverava značajnost promene srednje vrednosti (mere istinitosti) i standardne devijacije (mere preciznosti) pri odsutnosti ili prisutnosti ekstremne vrednosti u skupu vrednosti. Uvođenjem ovakvog kriterijuma postiže se pouzdanija opravdanost odbacivanja ili zadržavanja ekstremne vrednosti.

Predložena metoda primene uspešnosti i metoda poredjenja ekstremne vrednosti sa kvantilima su, uglavnom, nove metode koje, takođe, daju dobre rezultate.

Metoda primene uspešnosti zasnovana je na prvoj izloženoj metodi i primeni granica poverenja za uspešnost, a metoda poredjenja ekstremnih vrednosti sa kvantilima zasnovana je na pretpostavci da je poznat zakon raspodele posmatrane slučajne promenljive.

Navedeni primeri, koji su urađeni korišćenjem računarskog programa, koji je razvijen specijalno za rešavanje ove problematike, pokazuju valjanost i osetljivost izloženih metoda odbacivanja ekstremnih vrednosti.

Literatura:

- [1] Fisž, M.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und Mathematische Statistik, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1962.
- [2] P. Chapouille et R. De Pazzis, Fiabilité des Systèmes, Masson et C^o, Pariz, 1968.
- [3] Gnedenko B.; Bélijev, Y.; Soloviev A.: Méthodes mathématiques en théorie de la fiabilité, Éditions, Mir, Moscou, 1972.
- [4] B. L. Van Der Waerden, Mathematische Statistik, Springer-Verlag, Berlin, 1965.
- [5] H. D. Brunk, An Introduction to Mathematical Statistics, Blaisdell Publishing Company, New York, 1965.
- [6] Ivanović, B.: Teorijska statistika, Naučna knjiga, Beograd, 1979.
- [7] Stojanović S.: Matematička statistika, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [8] Ivanović, Z.: Matematička statistika, Naučna knjiga, Beograd, 1976.

Rezime:

U radu su analizirane sile koje deluju na padobranski sistem pri njegovom aktiviranju na različitim visinama i brzinama leta. Najveća opterećenja javljaju se u momentu završetka procesa punjenja kupole padobrana vazduhom. Zbog toga se pri proračunima posebna pažnja posvećuje kupoli i elementima veze kupole sa ostalim elementima padobranskog sistema. Prikazana je metodologija proračuna padobranskih sistema bez kočjećeg padobrana, kao i sa jednim ili više kočjećih padobrana.

Ključne reči: kupola padobrana, kočjeći padobran, sila otpora.

CALCULATION OF THE ELEMENTS OF PARACHUTING SYSTEMS

Summary:

The study analyzes the forces affecting a parachuting system at the moment of its opening at different heights and flight velocities. The strain peak occurs at the moment when the filling of the parachute cupola with air is to be finished. Therefore, a special attention during calculations is paid to the cupola and the elements connecting it with the rest of the parachuting system. The study presents the calculation methodology for a parachuting system without a brake-parachute and for systems with one or more brake-parachutes.

Key words: parachute cupola, brake-parachute, resistance force, parachute calculation.

Uvod

Padobrani su našli veoma široku primenu: za odbacivanje različitih tereta od aviona, spuštanje ljudstva vazdušno-desantnih jedinica, instrumenata iz pilot-balona i radio-sondi, izviđačkih letelica i dr. Primenjuju se na različitim visinama (od nekoliko desetina metara do nekoliko desetina kilometara) i pri različitim brzinama leta (podzvučnim, transoničnim i nadzvučnim). Zbog toga se pri proračunima moraju uzeti u obzir uslovi primene radi obezbeđenja zahtevane pouzdanosti padobranskih sistema.

U daljem tekstu prikazan je proračun čvrstoće kupole padobrana, kao najbitnijeg konstrukcionog elementa padobranskog sistema, a na kraju je definisana i metodologija proračuna ostalih elemenata padobranskih sistema.

Proračun čvrstoće kupole padobrana

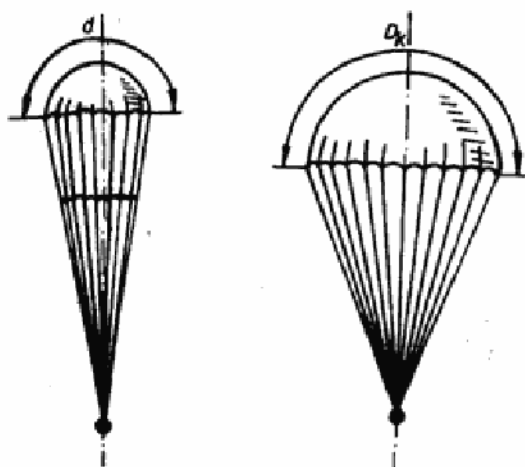
Pri procesu punjenja kupole padobrana vazduhom, na tkanine od kojih su izrađene kupole i užad, dejstvuju opterećenja promenljivog intenziteta. U nizu

slučajeva, intenzitet opterećenja je nekoliko desetina puta veći od mase sistema teret-padobran.

Da bi se obezbedila pouzdanost rada padobranskog sistema, potrebno je izvršiti dimenzioniranje elemenata konstrukcije, tako da intenzitet unutrašnjih naprezanja ne bude veći od dozvoljenih. Na osnovu proračuna čvrstoće kupole određuju se elementi konstrukcije i mesta na kojima dolazi do najveće koncentracije naprezanja, a zatim se, na osnovu najvećih vrednosti naprezanja, proračunavaju dimenzije elemenata konstrukcije kojima se obezbeđuju zahtevana čvrstoća i pouzdanost rada.

Pri procesu punjenja vazduhom kupola dobija oblik usečenog konusa sa polusfernom kapom (sl. 1).

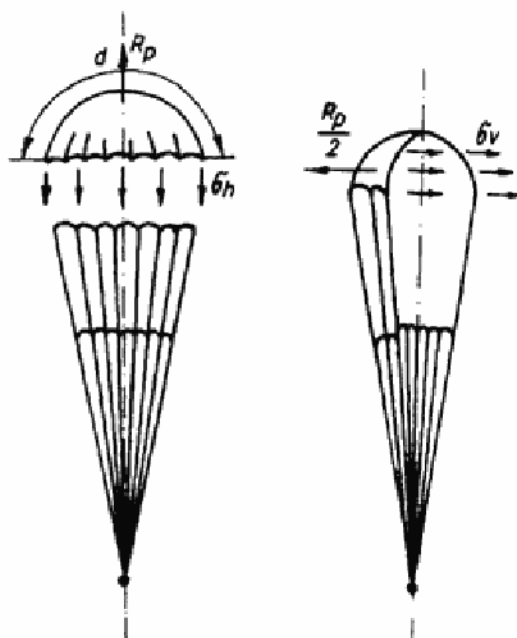
Kupola ima oblik ravnog kruga, prečnika D_k , a napunjeni deo kupole ima površinu koju obrazuje krug prečnika d . Tokom procesa punjenja kupole prečnik d se povećava i jednak je prečniku D_k u momentu kada je završeno punjenje kupole vazduhom.



Sl. 1 - Oblik kupole pri procesu punjenja - vazduhom

Razmatraće se presek kupole napunjene vazduhom, horizontalnom i vertikalnom ravni, kako je to prikazano na sl. 2.

Napon u tkanini, od koje je izrađena kupola padobrana, u horizontalnom preseku je σ_h a u vertikalnom preseku σ_v . Dužina tkanine, u horizontalnom preseku, koja je izložena istezanju usled sile otpora R_p jednaka je πd .



Sl. 2 - Određivanje vrednosti napona σ_h i σ_v

Napon u tkanini kupole, u horizontalnom preseku je:

$$\sigma_h = \frac{R_p}{\pi d} \quad (1)$$

Dužina tkanine u vertikalnom preseku, koja je izložena istezanju usled sile $R_p/2$, jednaka je d (pod uslovom da je deo kupole, koji je ispunjen vazduhom, oblika polusfere). Napon u tkanini kupole, u vertikalnom preseku je:

$$\sigma_v = \frac{R_p}{2d} \quad (2)$$

Deobom izraza (1) i (2) dobija se da je:

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_h} = \frac{\pi}{2}$$

odnosno,

$$\sigma_v = 1,57 \sigma_h \quad (3)$$

Presek u kojem tkanina, od koje je izrađena kupola, ima najveće vrednosti napona, naziva se kritičnim presekom. Na osnovu jednakosti (2) i (3) dobija se da kupola ravnog oblika najveću vrednost napona ima u vertikalnom preseku, pri $R_p = R_{p \max}$ i vrednosti prečnika d .

Za određivanje prečnika kritičnog preseka d_{kr} smatra se da, u momentu popunjenosti kupole vazduhom do dobijanja vrednosti kritičnog preseka, na kupolu deluje sila $R_{p \max}$, a brzina sistema teret-padobran, jednaka je brzini V . Tada se dobija da je:

$$R_{p \max} = \rho V^2 C_{skr} S_{kr} \quad (4)$$

gde je $C_{skr} S_{kr}$ – karakteristika kupole u odnosu na kritični presek.

Na osnovu jednakosti (4) dobija se da je:

$$S_{kr} = \frac{R_{p \max}}{\rho V^2 C_{skr}} \quad (5)$$

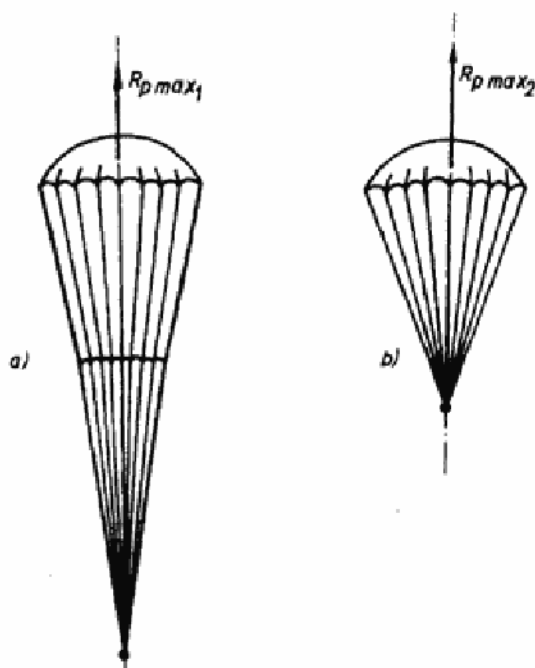
$$d_{kr} = \sqrt{\frac{4R_{p \max}}{\pi \rho V^2 C_{skr}}} \quad (6)$$

U izrazima (4), (5) i (6) nepoznata vrednost je samo C_{skr} – koeficijent otpora kupole, koja je napunjena vazduhom samo do površine S_{kr} .

Deo kupole koji nije napunjen vazduhom ima oblik konusnog nastavka, čija veća osnova prelazi u deo napunjen vazduhom površine S_{kr} . Konusni nastavak (sl. 3a) daje delimično napunjenu kupoli povoljan aerodinamički oblik, zbog čega je sila $R_{p \max 1}$ manja od sile otpora potpuno napunjene, izolovane kupole, površine S_{kr} .

Vrednost koeficijenta C_{skr} može se proračunati na osnovu odnosa:

$$\frac{C_{skr}}{C_{xp}} = \frac{R_{p \max 1}}{R_{p \max 2}}$$



Sl. 3 – Promena sile otpora:

- a) $R_{p \max 1}$ – sila otpora koja deluje na delimično napunjenu kupolu, do površine S_{kr} .
- b) $R_{p \max 2}$ – sila otpora koja deluje na napunjenu kupolu, površine S_{kr} .

na osnovu kojeg se dobija da je

$$C_{skr} = C_{xp} \frac{R_{p \max 1}}{R_{p \max 2}} \quad (7)$$

gde je:

$R_{p \max 1}$ – sila otpora koja deluje na delimično napunjenu kupolu (sl. 3a), sa površinom polusfere S_{kr} ,

$R_{p \max 2}$ – sila otpora koja deluje na napunjenu kupolu, površine S_k (sl. 3b).

Pri aktiviranju padobranskog sistema na maloj visini koeficijent otpora je $C_{skr} \approx 0,5 C_{xp}$.

Dimenzije polusfere „kape“ kupole padobrana uvećavaju se pri punjenju kupole vazduhom. Neka je površina napunjenog dela kupole S , a njen prečnik d . Napon u tkanini u vertikalnom preseku, prema izrazu (2), je:

$$\sigma_v = \frac{R_p}{2d}$$

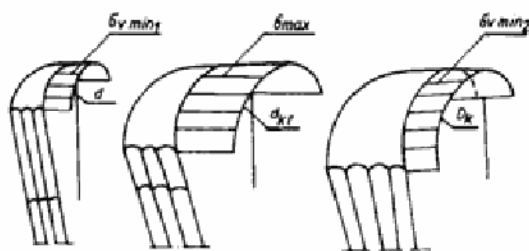
Imajući u vidu da je $R_p = \rho V^2 C_{skr} S$, ili

$$R_p = \rho V^2 C_{skr} \frac{d^2 \pi}{4},$$

dobija se da je

$$\sigma_v = \frac{\pi}{8} \rho V^2 C_{skr} d. \quad (8)$$

To znači da će se, od početka punjenja kupole vazduhom do napunjenosti koja odgovara površini S_{kr} , napon u tkanini povećavati od $\sigma_{v \min}$ do $\sigma_{v \max}$, proporcionalno prečniku d .



Sl. 4 – Šema promene napona σ_v u tkanini

Od momenta napunjenosti kupole, koji odgovara površini S_{kr} , do momenta napunjenosti, koji odgovara površini S_p , smatraće se da na kupolu deluje sila koja je po vrednosti bliska sili otpora $R_{p \max}$. U navedenom slučaju će se, imajući u vidu promenu prečnika od d_{kr} do D_k , a da sila otpora $R_{p \max}$ ima konstantnu vrednost, napon u tkanini smanjivati od

$$\sigma_{v \max} = \frac{R_{p \max}}{2d_{kr}} \text{ do } \sigma_{v \min} = \frac{R_{p \max}}{2D_k}, \text{ gde je}$$

D_k – prečnik kupole.

Šematski prikaz promene napona σ_v u tkanini, od koje je izrađena kupola, pri punjenju kupole vazduhom (kupola je, pri izradi, oblika ravnog kruga), prikazana je na sl. 4.

Pri aktiviranju padobranskog sistema na većim visinama, maksimalna sila otpora može dejstvovati na kupolu napunjenu vazduhom, u momentu ulaska sistema teret-padobran u gušće slojeve atmosfere, pri velikim brzinama kretanja sistema. Kupola padobrana je sa teretom spojena pomoću n užadi. Čvrstoća užadi biće dovoljno velika, u slučaju kada je njihova ukupna čvrstoća za m puta veća od stvarne sile otpora. U ovom slučaju m predstavlja koeficijent sigurnosti čvrstoće.

U skladu sa opterećenjem koje deluje na kupolu sa užadima (sl. 5), dobija se da je:

$$mR_{p\max} = n P \cos \alpha m' \quad (9)$$

gde je:

n – broj užadi,

P – čvrstoća užadi na kidanje (daN),

m' – koeficijent, kojim se uzima u obzir da sva užad nisu podjednako opterećena u istom trenutku.

Na osnovu izraza (9) dobija se da je potrebna čvrstoća užadi:

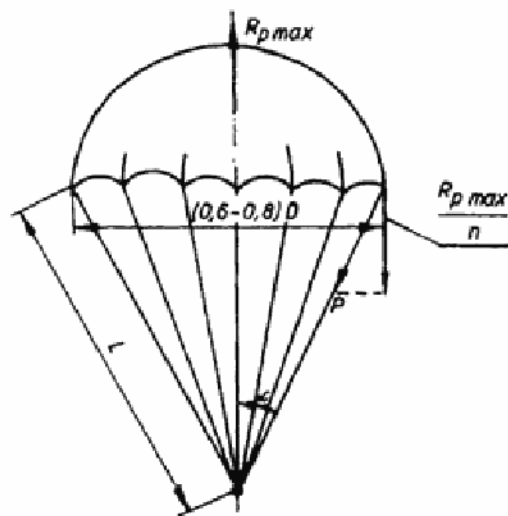
$$P = \frac{mR_{p\max}}{n \cos \alpha m'} \quad (10)$$

Sa sl. 5 vidi se da je:

$$\sin \alpha = \frac{(0,3-0,4)D}{L}$$

Imajući u vidu da je $L = (0,8-1,2)D$, dobija se da je:

$$\sin \alpha = \frac{(0,3-0,4)}{(0,8-1,2)} = 0,25-0,5, \text{ i}$$



Sl. 5 – Sile koje deluju na kupolu i užad

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,866 - 0,968.$$

Postavljajući poslednju jednakost u (10), dobija se da je:

$$P = \frac{mR_{p\max}}{(0,866-0,968)nm'} \quad (11)$$

Vrednost koeficijenta sigurnosti uzima se u granicama $m = (1,5 - 4,0)$, a vrednost koeficijenta $m' = 0,666$, kada sila otpora $R_{p\max}$ deluje na kupolu pri punjenju vazduhom i $m' = 1,0$ kada sila otpora $R_{p\max}$ deluje na kupolu napunjenu vazduhom, pri ulasku sistema teret-padobran u guste slojeve atmosfere sa velikom brzinom leta.

U zavisnosti od visine na kojoj se aktivira padobranski sistem i njegove brzine kretanja V , u momentu početka procesa punjenja kupole vazduhom, na kupolu, oblogu kupole (tkaninu kupole) i užad deluju opterećenja različita po intenzitetu. Prema tome, pouzdana čvrstoća kupole može se realizovati samo ako se izvrši pravilan proračun maksimalnih opterećenja.

Maksimalno opterećenje u oblozi kupole, u odnosu na kritični presek, proračunava se na osnovu formule:

$$\sigma_{v\max} = \frac{\pi}{8} \rho V^2 d_{kr} S_{kr}. \quad (12)$$

Izbor tkanine za izradu kupole vrši se iz uslova obezbeđenja pouzdanosti čvrstoće, tj. „vremenska“ čvrstoća tkanine na kidanje mora da bude veća od maksimalnog napona koji dejstvuje na tkaninu, a koji je posledica punjenja kupole vazduhom:

$$\sigma_{ik} = m\sigma_{vmax}, \quad (13)$$

gde je:

σ_{ik} – „vremenska“ otpornost tkanine na kidanje (daN/m),

m – koeficijent sigurnosti čvrstoće,

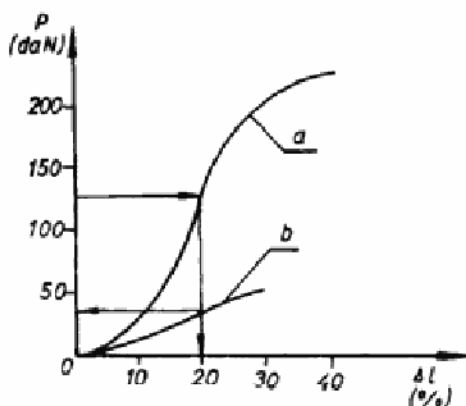
σ_{vmax} – maksimalna vrednost napona u tkanini (daN/m).

U vertikalnom preseku napona σ_{vmax} je 1,57 puta veći od napona σ_{hmax} u horizontalnom preseku kupole. Zbog toga je celishodno da niti tkanine, koja se karakteriše većim izduženjem, budu postavljene normalno na vertikalni presek. Obično niti potke tkanine imaju veće izduženje, zbog čega je poželjno da budu sa koncentričnim rasporedom.

Vrpce koje se koriste za ojačanje kupole moraju imati manje izduženje u odnosu na tkaninu (sl. 6), jer se u protivnom tkanina može pokidati.

Na sl. 6 vidi se da, pri opterećenju od 125 daN, koje deluje na vrpcu za ojačanje, relativno izduženje vrpce iznosi 20%, dok je za isto toliko izduženje tkanine potrebno svega 35 daN.

Izbor vrednosti koeficijenta sigurnosti m padobranskog sistema uslovljen je faktorima kao što su:



Sl. 6 – Dijagrami izduženja:
a) – vrpce b) – tkanine

- namena,
- vek upotrebe,
- uslovi čuvanja i upotrebe,
- predviđeni broj upotreba,
- karakteristika i vrste vlakana tkanine od koje se izrađuju kupola i užad padobrana.

Minimalna vrednost koeficijenta sigurnosti $m = 1,5$ primenjuje se kod padobrana za jednokratnu upotrebu, koji se čuvaju u uslovima pri kojima ne može da dođe do gubitka čvrstoće tkanina zbog uticaja okoline.

Padobrani za spasavanje pilota imaju koeficijent sigurnosti $m = 2,0$.

Metodologija proračuna padobranskih sistema

Definisanje metodologije proračuna padobranskih sistema polazi od pretpostavke da su poznate vrednosti sledećih parametara:

G_b – sila težine tereta (daN),

S_b – površina poprečnog preseka tereta (m^2),

C_{xb} – koeficijent otpora tereta,

C_{xp} – koeficijent otpora padobrana (pri konstantnoj brzini leta),

C'_{xp} – koeficijent otpora padobrana u momentu punjenja kupole (pri brzini V_p),

V_k – vertikalna brzina prizemljivanja (m/s),

V_a – brzina aviona u momentu odbacivanja tereta (m/s),

h_{max} , h_{min} – maksimalna i minimalna visina mogućeg aktiviranja padobranskog sistema (m),

n – dozvoljeno preopterećenje pri kočenju sistema u momentu aktiviranja padobranskog sistema.

Tok proračuna je sledeći:

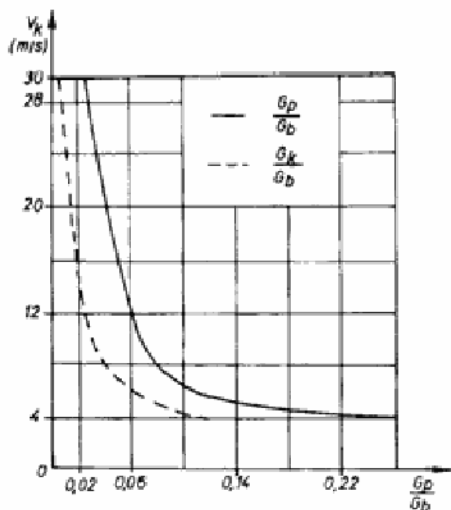
1. Na osnovu funkcionalne zavisnosti $\frac{G_p}{G_b} = f(V_k)$ (sl. 7) i zadate brzine V_k određuje se približna sila težine padobrana G_p .

Grafikoni funkcionalne zavisnosti sila težine kupole padobrana i tereta, prikazani na sl. 7, dobijeni su statističkom obradom realizovanih konstrukcija padobranskih sistema.

2. Proračun površine kupole padobrana obavlja se na osnovu formule:

$$S_p = \frac{16(G_b + G_p)}{C_{xp} V_k^2} - \frac{C_{xb}}{C_{xp}} S_b \quad (14)$$

Nakon određivanja sila težine padobrana, a na osnovu izradene konstrukcione dokumentacije, obavlja se preciznije određivanje površine kupole padobrana.



Sl. 7 – Funkcionalne zavisnosti $\frac{G_p}{G_b} = f(V_k)$ i

$$\frac{G_k}{G_b} = f(V_k)$$

3. Proračun sile R_{pmax} koja deluje na kupolu padobrana, pri punjenju vazduhom, treba da obezbedi da pri kretanju sistema teret–padobran preopterećenja budu u granicama zadatih vrednosti n . Ako se pretpostavi da se u momentu delovanja sile R_{pmax} sistem kreće vertikalno dobija se da je:

$$n_y = \frac{R_{sist}}{G_{sist}} - 1 \quad (15)$$

Na osnovu izraza (15) dobija se da je:

$$R_{sist} = (n_y + 1)G_{sist} \quad (16)$$

Imajući u vidu da je:

$$R_{sist} = \rho V_p^2 \left(C_{xp} S_p + \frac{C_{xb} S_b}{2} \right)$$

$$R_{pmax} = \rho V_p^2 C_{xp} S_p$$

dobija se da je

$$R_{pmax} = R_{sist} \frac{C_{xp} S_p}{C_{xp} S_p + \frac{C_{xb} S_b}{2}}$$

odnosno

$$R_{pmax} = (n_y + 1)G_{sist} \frac{2C_{xp} S_p}{2C_{xp} S_p + C_{xb} S_b} \quad (17)$$

U izrazima (16) i (17) V_p predstavlja brzinu kretanja sistema u momentu kada je kupola padobrana potpuno napunjena vazduhom.

4. Na osnovu sile R_{pmax} proračunava se dozvoljena brzina tereta V_{0doz} u mo-

mentu početka punjenja kupole glavnog padobrana vazduhom, na osnovu formule:

$$V_{0\text{ doz}} = \sqrt{\frac{8R_{p\text{ max}} \left(K \frac{V_k^2}{\Delta} + 2\sqrt{S_p} \right)}{KV_k^2 C_{sp} S_p}} - \frac{\sqrt{S_p}}{K} \quad (18)$$

5. Proračun brzine kretanja sistema teret-padobran, od V_a do V_0 , koja predstavlja brzinu sistema u momentu otvaranja izvlačećeg padobrana i izvlačenja kupole i užadi glavnog padobrana na ukupnu dužinu, tj. na početku procesa punjenja kupole glavnog padobrana vazduhom, vrši se na osnovu poznatih formula iz spoljne balistike za proračun parametara na trajektoriji leta sistema teret-padobran. Ako je brzina V_0 veća od $V_{0\text{ doz}}$ neophodna je primena kočećeg padobrana pomoću kojeg se smanjuje brzina sistema od V_a do $V \leq V_{0\text{ doz}}$.

6. Proračun površine kočećeg padobrana obavlja se iz uslova da je kritična brzina tereta, sa kočećim padobranom (kritična brzina predstavlja konstantnu brzinu kojom se teret kreće nakon otvaranja kupole kočećeg padobrana), jednaka $V_{kr\text{ kp}} = V_{0\text{ doz}}$. Na osnovu toga dobija se da je:

$$S_{kp} = \frac{2G_{\text{sis}}}{\rho_h V_{kr\text{ kp}}^2 C_{skp}} - \frac{C_{sb}}{C_{skp}} S_b$$

Zamenom vrednosti $V_{kr\text{ kp}} = V_{0\text{ doz}}$ ova jednakost dobija oblik:

$$S_{kp} = \frac{2G_{\text{sis}}}{\rho_h V_{0\text{ doz}}^2 C_{skp}} - \frac{C_{sb}}{C_{skp}} S_b \quad (19)$$

gde je:

ρ_h – gustina vazduha na visini na kojoj se aktivira padobranski sistem,

C_{skp} – koeficijent otpora kočećeg padobrana,

S_{kp} – minimalna površina kočećeg padobrana kojom se obezbeđuje smanjenje brzine tereta do $V_{0\text{ doz}}$.

7. Proračun maksimalnog opterećenja, koje deluje na kupolu kočećeg padobrana u momentu kada je ona potpuno napunjena vazduhom, kao i brzine sistema teret-padobran, $V_{0\text{ kp}} \approx V_a$, obavlja se na osnovu formule:

$$R_{kp\text{ max}} = \frac{V_{kr\text{ kp}}^2}{8} C_{skp} S_{kp} \frac{KV_a^2 + \sqrt{S_{kp}}}{K \frac{V_{kr\text{ kp}}^2}{\Delta} + 2\sqrt{S_{kp}}} \quad (20)$$

gde je:

$$V_{kr\text{ kp}}^2 = \frac{16 G_{\text{sis}}}{C_{skp} S_{kp} + C_{sb} S_b}$$

Δ – relativna gustina vazduha na visini na kojoj se kupola kočećeg padobrana puni vazduhom.

Ako je sila $R_{kp\text{ max}}$ jednaka ili nešto veća od sile $R_{p\text{ max}}$ koja deluje na kupolu glavnog padobrana, ukupna masa padobranskog sistema ima minimalnu vrednost. Ako se sila $R_{kp\text{ max}}$ znatno razlikuje od sile $R_{p\text{ max}}$, potrebno je površinu kupole kočećeg padobrana zameniti površinom:

$$S'_{kp} = S_{kp} \frac{R_{p\text{ max}}}{R_{kp\text{ max}}} \quad (21)$$

Povećanje površine kočećeg padobrana dovodi do smanjenja vremena kočenja tereta ili smanjenja brzine tereta u momentu početka punjenja kupole glav-

nog padobrana vazduhom. Kao rezultat povećanja površine kupole kočjećeg padobrana, opterećenje na kupolu glavnog padobrana je manje, pa je potrebna manja kupola glavnog padobrana. Smanjenje površine kočjećeg padobrana pri $R_{kp} > R_{pmax}$ zahteva primenu dva ili više kočćih padobrana. Najpre se aktivira kočći padobran male površine, koji smanjuje brzinu kretanja tereta u određenom vremenskom intervalu, a zatim se aktivira drugi kočći padobran, koji je veće površine, pri čemu se dobija da je $R_{kp2} \approx R_{pmax}$.

Na sl. 8 prikazana je promena vremena kočenja sistema teret-padobran do brzine $V_{0, doz}$ pri vertikalnom kretanju sistema.

8. Izrađuje se konstrukciona dokumentacija kupola kočjećeg i glavnog padobrana, kao i svih drugih elemenata padobranskog sistema, a zatim se proračunavaju čvrstoća i masa.

9. Na osnovu proračunom dobijenih vrednosti masa (sila težina) padobran-

skog sistema i tereta, proračunava se tačna vrednost površine kupole glavnog padobrana, na osnovu izraza:

$$S_p = \frac{16 G_{sist}}{C_{sp} V_k^2} - \frac{C_{sb}}{C_{sp}} S_b \quad (22)$$

Pri izboru broja užadi n (koji predstavlja odnos perimetra kupole po njenoj donjoj ivici prema rastojanju između užadi) najčešće se uzima da je rastojanje između užadi 0,1 m kod kočćih padobrana i 1,0 m kod glavnog padobrana. Tako se dobija da je:

$$n = \frac{\pi D}{0,1 + 1,0} \quad (23)$$

Proračun čvrstoće užadi kočjećeg padobrana obavlja se na osnovu izraza (9) do (11). Ako je sila P veća od sile P_1 koju izdržava materijal od kojeg su izrađena užad (a koja je data u atestu materijala), povećava se broj užadi:

$$n_1 = n \frac{P}{P_1}$$

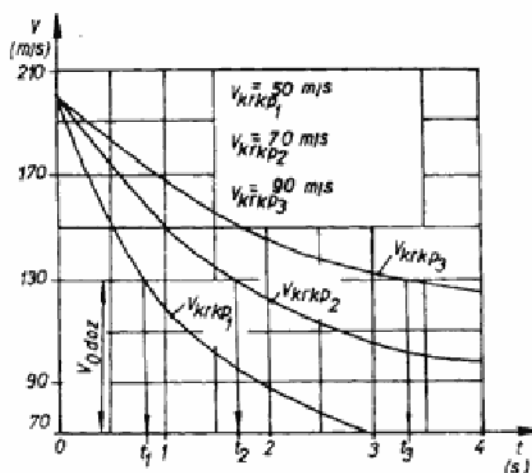
Dužina užadi bira se iz uslova:

$$L = (0,8 - 1,0) D \quad (24)$$

Pri proračunu mase padobranskog sistema moraju se uzeti u obzir i mase vrpce i njihovih veza sa elementima padobranskog sistema.

Radi udaljenja kupole kočjećeg padobrana od tereta do rastojanja na kojem se onemogućava uticaj vazдушnih struja iza tereta na pravilan rad kupole, uzima se da je:

$$l_p = 5d + L \quad (25)$$



Sl. 8 – Promena vremena kočenja sistema teret-padobran do brzine $V_{0, doz}$ u funkciji površine kočjećeg padobrana $V_{kr, kp}$

gde je:

l_p – rastojanje kupole kočjećeg padobrana u odnosu na teret,

d – prečnik tereta,

L – ukupna dužina kupole kočjećeg padobrana.

Kada padobranski sistem mora da ima više kočćih padobrana, redosled proračuna je sledeći:

1. Površina prvog kočjećeg padobrana, pri zadatim vrednostima preopterećenja n_y i brzine V , u momentu početka punjenja kupole vazduhom proračunava se pomoću formule:

$$S_{kp1} = \frac{G_{sist}(n_y + 1)}{\rho C_{skp} V^2} - \frac{C_{sb} S_b}{C_{skp}} \quad (26)$$

Pretpostavlja se da je kretanje sistema teret-padobran vertikalno u odnosu na površinu zemlje.

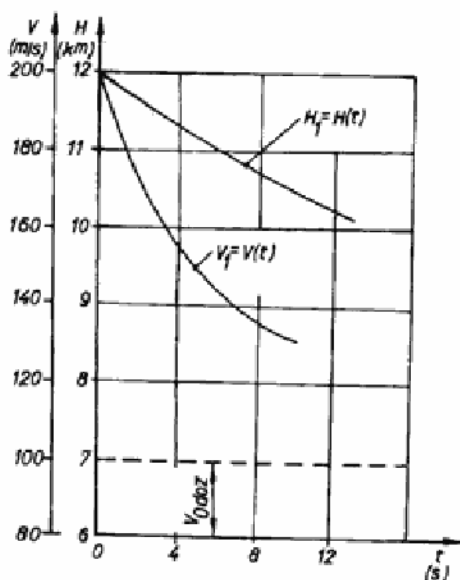
2. Proračunavaju se i grafički prikazuju promene brzine i visine kretanja sistema teret-padobran sa prvim kočćim padobranom, u funkciji vremena (sl. 9).

Imajući u vidu da je minimalna brzina kretanja sa prvim kočćim padobranom veća od V_{0doz} , što predstavlja dozvoljenu brzinu kretanja u momentu početka punjenja kupole glavnog padobrana vazduhom, u konstrukciju padobranskog sistema se ugrađuje drugi kočći padobran, koji ima veću površinu u odnosu na prvi kočći padobran.

3. Površina drugog kočjećeg padobrana proračunava se na osnovu formule:

$$S_{kp2} = \frac{2G_{sist}}{\rho V_{k1}^2 C_{skp}} - \frac{C_{sb} S_b}{C_{skp}} \quad (27)$$

gde je $V_{k1} < V_{0doz}$.



Sl. 9 – Promena brzine i visine kretanja sistema teret-padobran u funkciji vremena

4. Proračunava se brzina kretanja tereta, pri kojoj je dozvoljeno punjenje kupole drugog kočjećeg padobrana vazduhom:

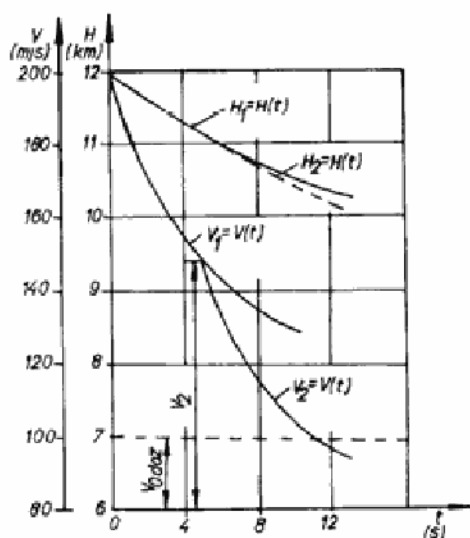
$$V_2 = \sqrt{\frac{G_{sist}(n_y + 1)}{\rho \left(C_{skp} S_{kp2} + \frac{C_{sb} S_b}{2} \right)}} \quad (28)$$

Pretpostavlja se da se sistem bomba-padobran kreće vertikalno u odnosu na površinu zemlje.

5. Na osnovu dobijenih vrednosti za V_2 i S_{kp2} proračunavaju se i grafički prikazuju promene brzine i visine kretanja sistema teret-padobran sa drugim kočćim padobranom, i funkciji vremena (sl. 10).

Na osnovu sl. 10 određuje se potrebno vreme kretanja sistema bomba-padobran sa prvim i drugim kočćim padobranom, pri čemu se uzima u obzir po-

većanje brzine kretanja u momentu odbacivanja prvog kočećeg padobrana do početka punjenja kupole drugog kočećeg padobrana vazduhom. Ako je $V_2 > V_{0\text{dod}}$ u konstrukciju padobranskog sistema ugrađuje se i treći kočeći padobran, zatim sledeći sve dok se ne dobije da je $V < V_{0\text{dod}}$.



Sl. 10 – Promena brzine i visine kretanja sistema teret – drugi kočeći padobran u funkciji vremena

Dalji proračun padobranskog sistema obavlja se po navedenoj metodologiji proračuna.

Pri proračunima padobranskih sistema, koji sadrže kočeći (ili više kočećih) i glavni padobran, teži se da ukupna masa padobranskog sistema bude što je moguće manja.

Zaključak

Pri procesu punjenja kupole padobrana, na tkanine od kojih su izrađene kupola i užad padobrana deluju sile otpora vazduha promenljivog intenziteta. Sila otpora vazduha je najvećeg intenziteta u momentu potpunog punjenja kupole vazduhom, a zatim se smanjuje do konstantne vrednosti.

Sila otpora vazduha stvara napone u tkanini od koje je izrađena kupola padobrana. Ti naponi su pri vertikalnom preseku kupole za 1,57 puta veći od napona u horizontalnom preseku kupole.

Na osnovu maksimalne vrednosti sile otpora vazduha dimenzionišu se elementi kupole i užadi padobrana, a u skladu sa karakteristikama čvrstoće tkanine koja je odabrana za njihovu izradu.

Prikazana metodologija proračuna padobranskih sistema obezbeđuje proračun sistema bez kočećeg padobrana, kao i padobranskih sistema sa jednim ili više kočećih padobrana.

Literatura:

- [1] Lobanov, N. A.: Osnovi rasčeta i konstruiranja parašutov, Mašinstrojenje, Moskva, 1965.
- [2] Brown, B. D.: Parachutes, London, 1951.
- [3] Chorin, A.; Marsden, J.: A Mathematical Introduction to Fluid Mechanics, Springer-Verlag, New York, 1990.
- [4] Courant, R.; Friedrichs, K.: Supersonic Flow and Shock Waves, Springer-Verlag, New York, 1976.
- [5] Qunus, C.; Boles, M.: Thermodynamics An Engineering Approach, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1989.

Dorđe Čeranić,
dipl. inž.
Autokomerc,
Beograd
Dr Petar Stanojević,
major, dipl. inž.
Vojna akademija
Škola nacionalne odbrane,
Katedra logistike,
Beograd

DIJAGNOSTIKA SAVREMENIH MOTORNIH VOZILA

Uvod

Sistemi održavanja (SOd) imaju za cilj da pruže kvalitetne usluge održavanja u odnosu na korisnike tehničkih sredstava (TS). Može se zaključiti da se kvalitet usluga održavanja prvenstveno sastoji u obezbeđenju i povećanju upotrebnog kvaliteta TS i njihovih elemenata sigurnosti funkcionisanja (što uključuje raspoloživost, pouzdanost, pogodnost održavanja i logističku podršku SOd).

Ne postoji jedna i osnovna mera za uspešnost logističkih sistema u koje spada i SOd. Međutim, moguće je odrediti, manje ili više, opšti skup mera njegove uspešnosti.

Prema podacima koncerna Volkswagen [1] najvažnija očekivanja korisnika – klijenata, prema rezultatima ispitivanja populacije vlasnika – vozača motornih vozila, jesu: pouzdani servis, uočljiva i ljubazna usluga, stručno savetovanje i stručne preporuke, cene u skladu sa radnim učinkom, opsežna servisna ponuda i servisne usluge na kvalitativno visokom nivou i prijatna atmosfera. Specijalno za servisnu službu najvažnija očekivanja stranaka su: tačna i brza usluga, garancija za sigurnost i kvalitet, obavezujući termini opravke, kratkotrajne opravke,

lično uručivanje vozila sa preciznim tumačenjem računa, cenovnik opravke (cena ne sme biti tajna) i povoljno radno vreme.

Ako se SOd posmatra kao logistički podsistem, onda uspešnost ovakvih sistema treba odrediti skupom kriterijuma od kojih su osnovni [2]: kvalitet usluge (pouzdanost kvaliteta usluge i efikasnost njenog izvršenja), raspoloživost proizvoda – usluge koji su potrebni korisniku – kupcu, odgovornost prema njegovim zahtevima (brzo i efektivno procesiranje zahteva), brzina i pouzdanost kojom se usluga izvršava.

Iz navedenog se jasno uočava potreba za kvalitetnom dijagnostikom, jer ona direktno utiče na:

- povećanje brzine usluge;
- kratkotrajnost opravki, odnosno efikasnost njihovog izvršenja;
- kvalitet izvršenih radova održavanja;
- povećanje poverenja korisnika usluga u pouzdanost izvršenih radnji i postupaka održavanja;
- povećanje opsega servisne ponude;
- smanjenje troškova i efikasnost iskorišćenja radnog vremena, čime se utiče na povećanje dohotka.

Trendovi razvoja sistema održavanja

Dinamiku i osnovne pravce usavršavanja – razvoja SOd diktiraju sistemi koji se nalaze na višem nivou unutrašnje organizovanosti i tehničko-tehnološkog nivoa, poremećaji u traženju usluga i izmenjeni zahtevi kupaca – korisnika usluga.

Današnji trendovi razvoja SOd u domenu njihove koncepcije – strategije jasni su. Teži se što široj primeni održavanja prema stanju i prediktivnom održavanju. Poseban doprinos primeni ovih koncepcija dao je razvoj opreme za tehničku dijagnostiku i samodijagnostiku, kao i informatičke tehnologije. Napušta se koncept plansko-preventivnog održavanja gde god je to moguće i teži uspostavljanju racionalnog režima eksploatacije TS, maksimalnom smanjenju potreba za održavanjem TS i povećanju učešća korisnika u održavanju (posebno kroz koncepte totalno produktivnog održavanja i samoodržavanja – sistemi bez održavanja, koji su karakteristični za japanske proizvođače TS). Razlog tome je u težnji ka smanjenju broja nepotrebnih preventivnih radova, smanjivanju rizika od iznenadnih, posebno havarijskih otkaza, prenošenju dela radova na korisnike (rasterećenje SOd), smanjenju zastoja u održavanju i utroška rezervnih delova i drugih resursa, a time i troškova. Postoji i mogućnost otklanjanja „slabih mesta“ na TS (putem analize geneze otkaza) i time smanjenja učestanosti otkaza.

U domenu tehnologije posebna pažnja se pridaje razvoju različitih dijagnostičkih uređaja sa težnjom da se proces dijagnostike automatizuje, poveže sa odgovarajućim informacionim i ekspertskim

sistemima (čak i na globalnom – svetском nivou), razvoju uređaja za automatsku montažu i demontažu sklopova–delova, kao i uređaja, odnosno postupaka za regeneraciju i revitalizaciju delova.

Najdalje se otišlo u razvoju uređaja za samodijagnostiku TS. Sve više mehaničkih veličina prevodi se u električne, a registruju ih računari ugrađeni u TS, odnosno konstrukcija se prilagođava dijagnostičkim potrebama. Dijagnostički uređaji čine TS sigurnijim (smanjuje se rizik iznenadnog otkaza), konformnijim i ekološki ispravnijim (jedan od njih je i novi Volkswagen tester – VW tester oznake VAS 5051 – slika 2). Na taj način smanjuje se utrošak rezervnih delova TS iskorišćenjem njihove „rezerve pouzdanosti“ i njihova supstitucija, skraćuje vreme zastoja zbog održavanja i u većem delu, eliminišu opravke putem zamene „sumnjivih“ delova i druge greške koje prouzrokuju veće angažovanje radne snage i finansijskih sredstava.

Dijagnostički merni i informacioni sistem VW

Brzo uvećavanje mreže elektronskih sistema na vozilima čini proces pronalazjenja neispravnosti sve složenijim i vremenski sve dužim. Na slici 1 prikazan je pregled postojećih elektronskih jedinica na automobilu Audi A4. Treba imati u vidu da većina ECU-a (elektronskih upravljačkih jedinica) ima svoje mreže senzora i izvršnika (ECU motora, ECU automatskog menjača,...)

Kako svi prethodni dijagnostički uređaji označavaju samo oblast u kojoj se nalazi neispravnost, traženje neisprav-

nosti zahtevalo je dugotrajna merenja i proučavanja brojnih uputstava za opravku. Često se u praksi koristio način opravke putem zamene sumnjivih delova, što je prouzrokovalo finansijsko opterećenje korisnika usluga, nepotreban zamor radnika i umanjenje radne efikasnosti.

Korišćenjem novog VW dijagnostičkog i informacionog sistema, prevazilaze se problemi tradicionalnog načina opravke vozila. Novi sistem kombinuje: samodijagnostiku vozila, instrumente za ispitivanje i tehničku dokumentaciju.

Upotrebom ovog uređaja traženje otkaza na vozilu je racionalnije, preciznije i ekonomičnije. On pruža rukovaocu svu neophodnu pomoć pri traženju otkaza na elektronskim sistemima na vozilu. Tokom rada mehaničar je podržan uputstvom za traženje otkaza, a može obavljati i ispitivanja po želji, koristeći merenu tehniku i samodijagnozu. Na ekranu uređaja ispisana su uputstva o tome šta treba da se radi i gde, u svim fazama vođenog traženja otkaza, pa su operativne greške praktično eliminisane.

Plan testiranja automatski se dobija na osnovu očitano g otkaza na ispitivanoj elektronskoj jedinici na vozilu. Sva potrebna dokumentacija za opravke sklopova ili pojedinih delova prikazuje se na ekranu, a po potrebi se može odštampati.

Važno je napomenuti da se tokom razvoja vodilo računa i o tome da uređaj bude radionički mobilan (za korišćenje na više radnih mesta) ergonomski prilagođen mehaničarima i da funkcioniše na jednostavan način koji ne zahteva visok nivo informatičkog znanja. Takođe, nepostojanje tastature (ekran je osetljiv na dodir) smanjuje mogućnost unosa nepotrebnih ili

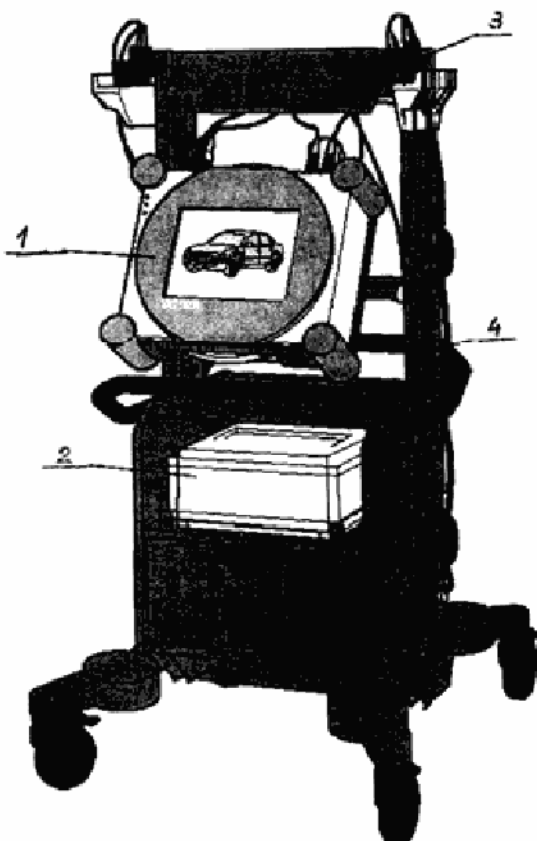
čak štetnih informacija u sistem i povećava njegovu pouzdanost i ergonomsku prilagođenost radnim uslovima.

Opis i tehničke karakteristike VW dijagnostičkog uređaja

Glavne komponente ovog uređaja su: tester, radionička kolica, merni kablovi i štampač. Izgled uređaja prikazan je na slici 2.

Tehničke karakteristike uređaja su sledeće:

- napajanje se obavlja preko glavnog električnog kabla ili sa dijagnostičkog priključka na vozilu,



Sl. 2 – Dijagnostički uređaj VW VAS 5051:
1 – tester, 2 – štampač, 3 – merni kablovi,
4 – radionička kolica

- integrisana baterija omogućava nezavisnost u radu,
- izvršavanje funkcija obavlja se preko ekrana osjetljivog na dodir,
- integrisani su elementi za dijagnostiku i merni instrumenti,
- integrisani su CD-ROM čitač za CD sa radioničkim uputstvom na zahtevanom jeziku,
- IC kontrola štampača.

Uređajem se upravlja preko ekrana osjetljivog na dodir. On detektuje svaki pritisak na ekran prstom ili nekim drugim predmetom, i tako zamenjuje tastaturu. Izgled ekrana prikazan je na slici 3.

Početne opcije na ekranu predstavljaju masku koja sadrži sve informacije i funkcije uređaja. Željena funkcija bira se jednostavnim pritiskom na navigaciono polje.

Tekst ili navigaciona polja, koja služe za upravljanje uređajem, mogu se prepoznati po drugačijoj boji. Izabrano polje aktivira se tek nakon prestanka dejstva pritiska na ekran.

Sa startnog ekrana mogu se izabrati sledeće funkcije:

- samodijagnostika vozila;

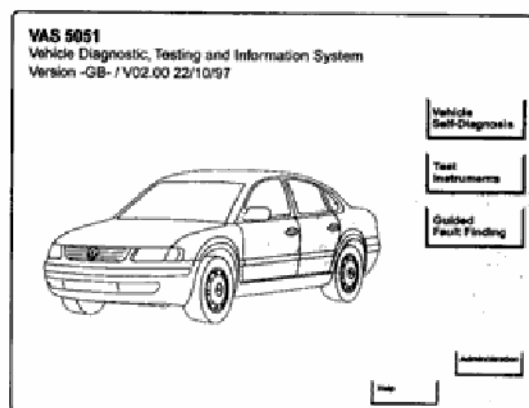
- merni instrumenti;
- vođeno traženje otkaza;
- administrator;
- „help“ se može birati u bilo kojoj funkciji i daje šire informacije o nameni navigacionih polja.

Samodijagnostika vozila

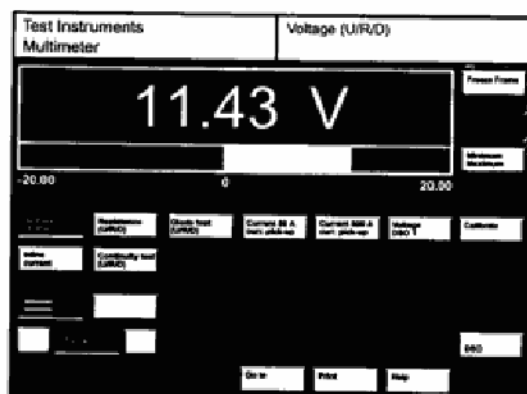
Da bi se pravilno koristila funkcija „samodijagnostika vozila“, zahteva se upotreba uputstava za opravku za svako predmetno vozilo. Sistemi na vozilu ili pojedine funkcije mogu se birati izborom odgovarajućih polja iz ponudjenog sadržaja na ekranu. To je ista funkcija koju su imali i svi prethodni dijagnostički uređaji, sa tom razlikom što pruža neograničene mogućnosti daljeg unapređenja funkcija kao što je reprogramiranje ECU-a (Flash-programiranje).

Merni instrumenti – multimetar, osciloskop

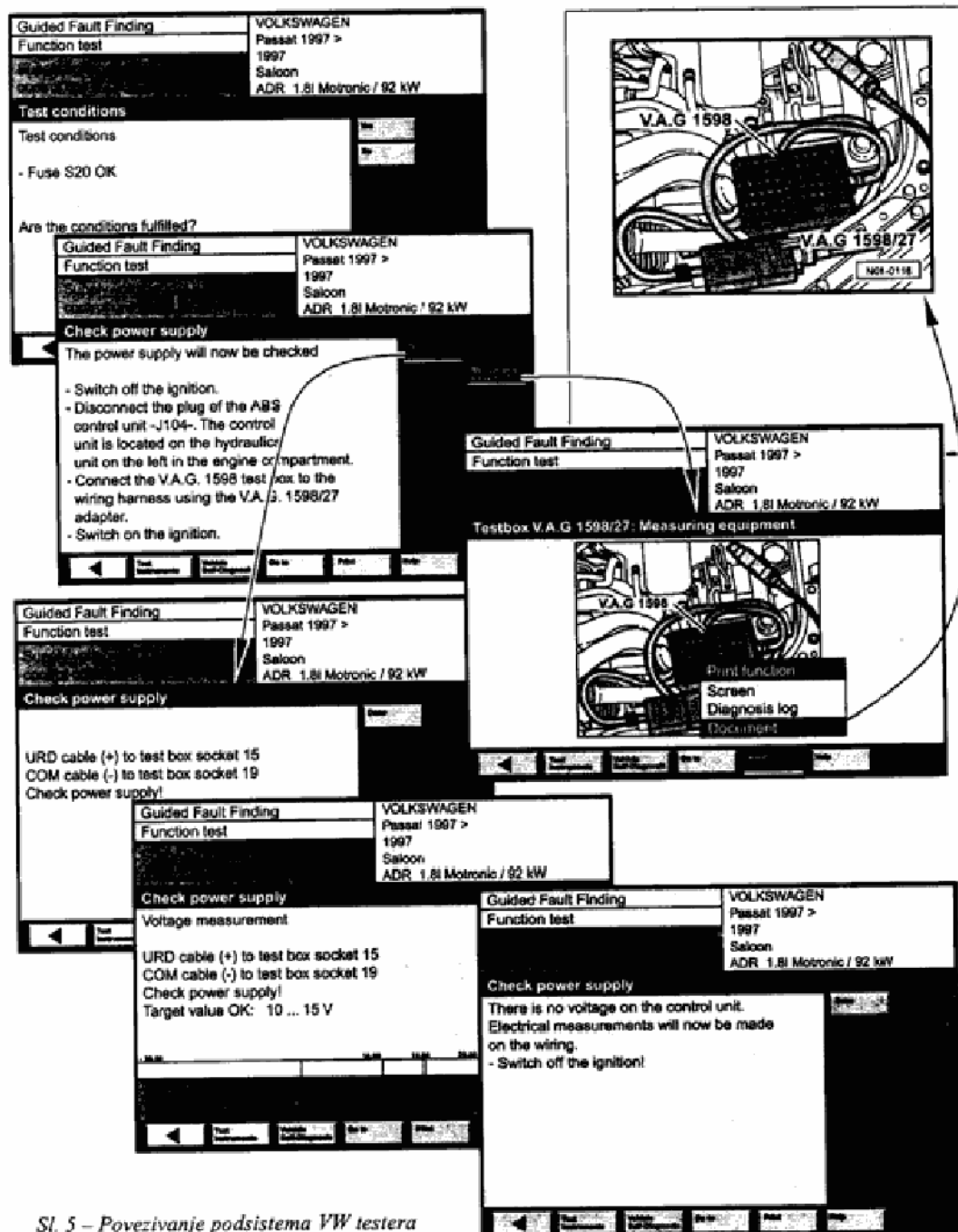
U funkciji „merni instrumenti“ moguće je raditi sa multimetrom ili sa digitalnim osciloskopom (slika 4). Multime-



Sl. 3 – Ekran dijagnostičkog uređaja



Sl. 4 – Funkcija „multimetar“ na ekranu dijagnostičkog uređaja



Sl. 5 – Povezivanje podsistema VW testera

tar se može koristiti za merenje svih električnih veličina na vozilu, kao što su DC i AC napon, jačina struje i otpornost.

Dvokanalni digitalni osciloskop (DSO) memoriše tekuće vrednosti analognih signala koristeći svoju vremensku

bazu. Memorisane vrednosti prikazuju se na ekranu u vidu grafikona.

Vodeno traženje otkaza

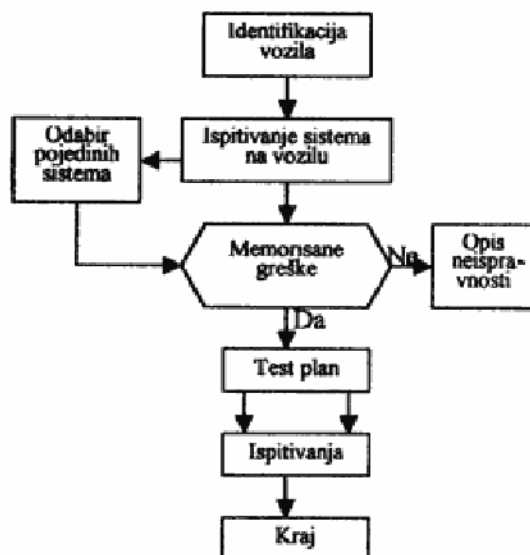
„Vodeno traženje otkaza“ je novina kojom se znatno olakšavaju radne operacije i skraćuje vreme potrebno za pronalazanje otkaza na vozilu. Ova funkcija objedinjuje prethodne dve i dopunjuje ih kompletnom literaturom za opravku vozila. Polazeći od šifre neispravnosti dobijene samodijagnostikom vozila ili iz kratkog opisa, tj. manifestacije otkaza, mehaničar se vodi korak po korak u ispitivanju uzroka otkaza.

Tokom ispitivanja mehaničar se navodi da izvršava određena merenja sa multimetrom ili osciloskopom, a uređaj samostalno obavlja analizu izmerenih vrednosti i daje dalja uputstva za rad. Tokom svih ovih operacija mehaničar je podržan radioničkim uputstvima, tako da mu dodatna literatura nije potrebna. Po završetku ispitivanja moguće je odštampati izveštaj za celokupnom procedurom testiranja.

Ceo ovaj postupak prikazan je na slici 5, na kojoj su objedinjeni plan ispitivanja, merenja i korišćenje odgovarajuće literature.

Način korišćenja VW testera u obliku algoritma prikazan je na slici 6, na kojoj je ceo postupak dijagnostike jasno logički i tehnološki definisan.

Prikazano, u stvari, predstavlja ostvarenje dugo željene težnje svih koji se bave dijagnostikom TS. Istina, nije uvek moguće obuhvatiti sve moguće situacije (otkaze) do detalja, ali je napredak očigledan. Faktički, stvoren je i do prak-



Sli. 6 – Algoritam funkcionisanja VW testera

tične primene doveden ekspertski sistem karakteristične namene i mogućnosti.

Zaključna razmatranja

Dalji razvoj opreme za dijagnostiku vozila kretaće se sigurno u više smerova, a neki od njih su:

- automatsko stvaranje baze podataka o otkazima;
- stvaranje globalnih baza podataka o otkazima, uz korišćenje satelitskih komunikacija i Interneta (za sada centralizovanih kod proizvođača);
- mogućnost prognoziranja trenutka nastanka otkaza (određivanje rezerve pouzdanosti);
- povezivanje sa najrazličitijim ekspertskim sistemima;
- povezivanje sa informacionim sistemom za upravljanje procesom održavanja;
- smanjenje gabarita i poboljšanje ergonomske i ostalih karakteristika ure-

đaja, radi povećanja njihove mobilnosti i jednostavnosti korišćenja.

Šire posmatrano, efekti primene opreme za dijagnostiku mogu se naslutiti na osnovu podataka iz literature [3]. Navedeno istraživanje ukazuje na sledeće:

- povećanje (verovatnoće) kvaliteta izvršenja radova na održavanju, odnosno smanjenje broja reklamacija, ima efekat od oko 2 do 3% na povećanje vrednosti pokazatelja raspoloživosti (određene preko srednjeg broja ispravnih TS u svakodnevnom radu);

- mali su efekti povećanja raspoloživosti zbog skraćivanja vremena radova na održavanju (oko 0,2 do 0,5%), ali se očekuje povećanje izvršenih radova za 2 do 3%;

- na višim nivoima sistema održavanja moguće je očekivati smanjenje potrebnih resursa za održavanje (kadra, opreme, itd.) za oko 5%;

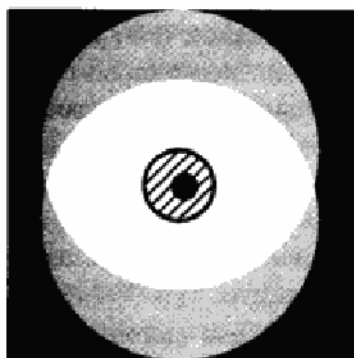
- za promenu tačnosti dijagnostike od 25% gotovost se povećava za 2 do 3%, a procenat izvršenih radova za 4 do 6% za celinu sistema. Poželjna vrednost ovog parametra bila bi 90 do 92%, jer posle te veličine dalja ulaganja u povećanje tačnosti dijagnostike se ne isplate (znači da nije potrebna apsolutna tačnost dijagnostičke opreme, što je praktično vrlo skupo i neizvodljivo). Očito je da brže rastu pokazatelji raspoloživosti za celinu sistema nego za niže nivoe, jer je to siguran način da se izbegne nepotrebno cirkulisanje TS i r/d između nivoa održavanja. Time se smanjuju gubici na vremenu transporta, logističkim i administrativnim vremenima. Uočava se da je

promena broja potrebnih resursa na srednjem nivou održavanja gotovo neznatna, kao i na drugim nivoima. Zbog toga je promena procenta izvršenih radova održavanja veoma značajna, a menja se na svim posmatranim nivoima SOd-a od 5% na nižim nivoima do 10% na višim. Promene iskorišćenja resursa za održavanje praktično nema. Interesantan je i zaključak da ukoliko je potrebno više vremena za održavanje TS, odnosno što je TS složenije, tačnost dijagnostike ima veći značaj.

Prema podacima iz literature [4], primenom održavanja prema stanju, smanjuje se broj neočekivanih otkaza i do 50%, a u nekim slučajevima i do 75% uz povećanje pouzdanosti sistema i smanjenje troškova održavanja za 10 do 15%. Takođe, na isti način mogu se ostvariti uštede do 15% na sprovođenju postupaka održavanja, smanjiti troškovi rezervnih delova za 8 do 12%, smanjiti troškovi goriva i maziva za 15% i smanjiti zastoje zbog održavanja za 20%. Interesantan je i podatak da je cena pregleda stanja klasičnim metodama čak za 70 do 75% veća od cene pregleda uz pomoć dijagnostičkih instrumenata i uređaja, u krajnjem zbiru ako se računa za ceo životni vek TS.

Literatura:

- [1] Volkswagen, Priručnik Servisne organizacije, Export izdanje, 1998.
- [2] Naim, M. M.; Lewis, J. C.: Benchmarking of aftermarket supply chains, Production planning and control, vol. 6., № 3., 258–269, 1996.
- [3] Stanojević, P.; Kokanović, M.; Mišković, V.; Bukvić, V.: Selection and analysis of the multilevel maintenance systems influence factors, 4th QRM congress, Oxford, 2002.
- [4] Minić, S.; Arsenić, Ž.: Modeli održavanja tehničkih sistema, VIZ, Beograd, 1998.



prikazi iz inostranih časopisa

PRENOSNI RAKETNI SISTEM PVO IGLA – SUPER*

Igla-S je preteča nove generacije ruskih prenosnih raketnih sistema PVO. Nudi veće mogućnosti za upotrebu protiv tradicionalnih ciljeva u vazdušnom prostoru (avioni i helikopteri), pri čemu zamenjuje dva ili tri sistema tipa Igla, kao i protiv novih ciljeva (krstarećih raketa), zamenjujući tada veće sisteme koji su obično skuplji i brojno manji.

Operacije širokih razmera, koje su nedavno vođene u sklopu vojnih sukoba, karakterisale su se masovnom upotrebom avijacije. Prirodno je da avijacija bude glavna udarna snaga u konačnom slomu protivnika, pa izgradnja sistema PVO, sposobnog da uspešno zaštiti jedinice, kao i vojne i civilne stacionarne objekte, postaje najvažnija za jačanje odbrambenih mogućnosti jedne zemlje.

Tradicionalno, takav sistem predstavlja nekoliko linija odbrane, uz korišćenje različitih sredstava PVO. Poslednja linija položaja je bliska odbrana sa dometom borbenih sredstava do 5 km, i tu prenosni raketni sistemi PVO danas imaju glavnu ulogu.

Prvi ruski raketni sistemi PVO Strela-2 i Strela-2M uništavali su avione i helikoptere. Druga generacija Strela-3 i Igla-1 mogla je da uništava i približavajuće ciljeve, što je znatno povećalo zaštitni bedem protiv vazdušnih ciljeva. Treća generacija raketnih sistema PVO Igla uspešno se probija kroz prirodne i veštačke prepreke (IC tragači) i danas je jedan od najboljih sistema te klase.

Zbog velike mobilnosti, lakoće upotrebe, pouzdanosti i efikasnosti, kao i povoljne kombinacije težine i dimenzija, to naoružanje visoko kotira u sistemima PVO mnogih zemalja. U dosadašnjim lokalnim sukobima ovim naoružanjem oboreno je više od tri stotine aviona i helikoptera.

Prenosni raketni sistemi PVO danas su najefikasnija sredstva namenjena za sprečavanje napada iz vazdušnog prostora, jer se teško otkrivaju na terenu, koriste se iznenada i veoma su precizna. U takvim okolnostima pilot veoma teško reaguje i izbegava opasnost, posebno ako ne raspolaže naoružanjem za protivdejstvo. Kao rezultat masovne upotrebe prenosnih raketnih sistema PVO, borbena avijacija ne može ostvariti nadmoć na visinama do 3500 m sa kojih se zemaljski

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart 2002.

ciljevi mogu gađati sa velikom preciznošću.

Za borbu sa krstarećim raketama, prema zaključcima stručnjaka za razvoj sistema PVO, treba imati oružje koje će brojčano premašivati krstareće rakete nekoliko puta, posedovati veliku verovatnoću pogađanja, relativno nisku cenu i sposobnost brzog premeštanja i razvoja. Te uslove uveliko zadovoljavaju prenosni raketni sistemi PVO.

Tehnički projektni biro KBM razvio je raketni sistem nove generacije nazvan Igla-S. Zamišljeno kao oružje povećane efikasnosti, ono je u potpunosti ispunilo očekivanja.

Kao i prethodni sistemi Igla-S je prenosno raketno oružje koje se lansira sa ramena. Za razliku od prethodnih sistema eksplozivno punjenje i broj fragmenata su znatno povećani. Ono je, takođe, opremljeno kontaktnim – blizinskim upaljačem čiji algoritam funkcionisanja obezbeđuje optimalni moment eksplozije bojne glave u kontaktnom ili beskontaktnom režimu dejstva. Osim toga, sistem poseduje apsolutno nova konstrukcijska rešenja sistema upravljanja u odnosu na ona kod sistema Igla, što je poboljšalo karakteristike tačnosti rakete.

Kao rezultat, efikasnost sistema u odnosu na suparnike (Igla, Stinger) znatno je poboljšana i dostigla je nivo koji odgovara većim prenosnim sistemima tipa Maestral. U isto vreme, efikasan domet povećan je za 15% i sada iznosi 6 km.

Ipak, to nije glavna prednost sistema. Po prvi put vođena raketa tog kalibra opremljena je blizinskim upaljačem koji obezbeđuje eksploziju bojne glave u blizini cilja. Mogućnost uništenja malih ci-

ljeva na taj način je mnogo veća. Naravno, kontaktni upaljač rakete omogućava i direktne pogotke i uništenje malih ciljeva. Efikasnost tih sistema brzo je potvrđena pri gađanju simuliranih ciljeva, kao i pri stvarnim borbenim dejstvima. Može se reći da Igla-S nikada ne promašuje ciljeve, pa je i njihov utrošak mnogo manji nego ranijih sistema Igla.

Igla-S kao masovno upotrebljivi i relativno jeftini raketni sistem PVO, može da odgovori na zahteve garantovane efikasne odbrane od krstarećih raketa.

Prema strukturi novi prenosni raketni sistem Igla-S sadrži:

- borbeno sredstvo – raketa smeštena u lansirnoj cevi sa pripadajućim izvorom energije i bocom sa sredstvom za hlađenje za fotodetektor glave za samonavodenje (rezervni pojedinačni komplet može se brzo postaviti umesto korišćene rakete);

- višestruki lansirni mehanizam za obezbeđenje pripreme za lansiranje rakete i opaljenje;

- uređaje za održavanje namenjene za regularnu kontrolu borbenih sredstava sistema;

- pokretnu ispitnu stanicu;
- ispitnu opremu za baze i skladišta;
- pomagala za obuku koja uključuju instrukcijske šeme i preseke u realnoj veličini.

Na sistem se dodatno ugrađuje noćni nišan koji omogućava operateru da otkrije i identifikuje ciljeve, izvrši zahvat i praćenje sve do momenta lansiranja rakete. Kako su noćni letovi postali uobičajeni za vreme borbenih dejstava, noćni nišani znatno uvećavaju mogućnosti sistema i omogućavaju mu upotrebu noću.

Operativni način rada sistema Igla-S sličan je radu na sistemima Igla-1 i Igla.

Dimenzije novog sistema i njegovog pakovanja, kao i njegova montažna ležišta ostaju isti. Igla-S se može brzo upakovati u ambalažu prethodnih tipova, kao što se i Igla-1 i Igla mogu lansirati korišćenjem lansera za sistem Igla-S. Izvori za snabdevanje energijom tih sistema su međusobno zamenljivi. Noćni nišani imaju svoje priključke i mogu se montirati i na sisteme Igla-1 i Igla.

Testovi novog sistema potvrdili su visoke operativne karakteristike, koje su inherentne za sve ruske sisteme. Sistem Igla-S pouzdano funkcioniše pri ekstremnim temperaturnim, visinskim zemljišnim uslovima, a nije osetljiv na kišu, prašinu, pesak i sunčeve zrake. Pri padu sa visine od 2 m na betonsku podlogu sistem je ostao spreman za borbenu upotrebu.

Lansiranje se može izvršiti sa ramena nišandžije sa bilo koje nepripremljene strane rova, karoserije vozila u pokretu, vagonске platforme, pa čak i sa plovila.

Ovaj sistem zadovoljava najnovije zahteve za moguću upotrebu na svim zemaljskim, pomorskim i nosačima na letelicama.

M. Krbavac



BORBENE MOGUĆNOSTI PRENO-SNIH RAKETNIH SISTEMA U NOĆNIM USLOVIMA*

Za vreme vojnih operacija Pustinja-ska oluja, Pustinjska lisica, Odlučni udar i dr., avioni i krstareće rakete uglavnom

su korišćeni noću. Poznato je da prenosni raketni sistemi PVO imaju ograničene ili nikakve mogućnosti za dejstvo noću, zbog problema sa osmatranjem i nišanjenjem. Zbog toga je Tehnički projektni biro KBM razvio i testirao opremu za sve tipove prenosnih raketnih sistema PVO u Rusiji (Strela-2M, Strela-3, Igla, Igla-1) kojom se omogućava dejstvo danju i noću.

Prema ugovoru sa Projektnim biro-om KBM, Merni zavod iz Smolenska započeo je razvoj i proizvodnju te opreme, i za kratko vreme uspeo u potpunosti da ispuni sve zahteve po specifikaciji KBM. Tako je, po prvi put u Rusiji i van nje, razvijen komplet opreme za noćna dejstva prenosnih raketnih sistema, čime su im stvorene nove borbene mogućnosti.

Primenjena su principijelno nova tehnička rešenja, koja omogućavaju nišanje direktno kroz noćni osmatrački nišan. To omogućava komandiru odeljenja da primi upozorenje o približavajućim ciljevima (direktno ili putem mreže za opšte obaveštavanje), distribuira ga prema pojedinim operatorima i tada, nakon detekcije cilja, omogući im da ga uoče, prate, zahvate i lansiraju raketu.

Komplet opreme za noćno dejstvo 9S520 projektovan je za upravljanje vatrom jednim prenosnim sistemom (uključujući rad četiri čoveka) u dnevnim i noćnim uslovima i obezbeđuje:

- prijem telekodirane informacije upozorenja sa upravljačkih stanica Sbor-ka (9S-80M), Ranžir (9S737), PU-12, MP-22R, P-19 (radar);

- prikaz položaja i kompozicije ciljeva, kao i IFF informacije na indikatoru elektronskog panela prenosnog sistema;

- unos topografskih i geodetskih informacija, uključujući i satelitske podatke, na elektronski panel;

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj 2002.

– magnetsku orijentaciju po azimutu za referentne tačke;

– ponovni proračun tekućih koordinata cilja prikazanih na elektronskom panelu u odnosu na poziciju operatora;

– direktan prenos informacije o distribuciji cilja i podataka za gađanje (azimut i udaljenost do cilja) do operatora pomoću kabla, na rastojanja do 50 metara;

– pretraživanje, detekcija i nišanje nje na ciljeve u vazдушnom prostoru u bilo koje doba dana;

– poboljšane mogućnosti detekcije cilja i dometa u dnevno vreme;

– smanjenje fizičkog i psihološkog zamora operatora za vreme borbenih dužnosti i u borbi;

– mogućnost dejstva iz zaklona i sa otvorenih lansirnih položaja.

Komplet 9S520 može da se prevozi bilo kojim transportnim sredstvom i u odeljenju za posadu, a sastoji se od:

– prenosnog elektronskog panela, uključujući radio-uređaj i mikroelektronski terminal koji se koristi za konverziju telekodirane informacije primljene sa upravljačke stanice tipa 9S482M4, displej položaja i strukture cilja (pojedinačni ili grupni), kao i IFF informacija na njihovom indikatoru, prenos podataka o cilju i nišanjenju do uređaja za podršku operatora;

– grupe uređaja za podršku smeštene na rastojanju od 50 m jedan od drugog. To su sklopivi tronošci sa mestima za pričvršćivanje prenosnog raketnog sistema PVO, opremljenog individualnim sredstvima za gađanje i povezanim sa individualnim linijama veze sa mikroelektronskim terminalom;

– individualnih sredstava za gađanje, uključujući senzor za položaj ugla,

elektronske sklopove i noćni osmatrački nišan. Oni šalju zvučnu i svetlosnu informaciju o uočenim ciljevima, njihovom smeru leta i udaljenosti;

– specijalnih kontejnera za smeštaj, nošenje i transport komponenata kompleta.

Komplet 9S520, zbog svojih karakteristika, smanjuje vreme reagovanja raketnog sistema PVO i povećava ukupnu efikasnost svih prenosnih raketnih sistema PVO.

M. Krbavac



TOPOVI MALOG KALIBRA KAO DEO INTEGRALNIH SISTEMA*

Jedinstveni sistem automatskih topova malog kalibra za sve vidove oružanih snaga generalno zadovoljava zahteve koje su postavile oružane snage Rusije. Taktička i tehnička superiornost nad sličnim inostranim sredstvima obezbedila im je lidersku poziciju u svetu za ovu vrstu topova. Međutim, kontinuirani razvoj taktike borbene upotrebe topova i konkurencija vođenih raketa zahteva konstantno poboljšavanje svih komponenata celokupnog sistema, tj. municije, naoružanja, lafeta i nišanskih sprava. Treba naglasiti da automatski top malog kalibra spada u red nevođenog oružja čija je tačnost ograničena.

Zbog toga, nakon dostizanja određenog nivoa borbene efikasnosti, svako nastojanje za dalje poboljšanje karakteristika ovih topova biće korisno. Konkretno, smanjenje grešaka za vreme gađanja na manevrišuće ciljeve, zbog povećanja br-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar 2002.

zine projektila na ustima cevi, zahteva značajan porast mase i dimenzija municije i oruđa, što je nepovoljno za pokretne sisteme naoružanja. Veća gustina vatre prouzrokuje neracionalan utrošak municije. Otuda je umereno ograničen efikasnost domet ovih topova, što i ograničava njihovu upotrebu na blisku borbu. Uz to, realni borbeni uslovi utiču na minimizaciju grešaka za vreme pripreme početnih elemenata.

Bez umanjenja značaja daljeg poboljšanja taktičkih i tehničkih karakteristika artiljerijskih sistema i njihovih komponenata (po parametrima probojnosti oklopa, disperziji pogodaka, sposobnosti opstanka i proizvodnoj efikasnosti), obećavajući put za povećanje borbene efikasnosti topova malog kalibra trebalo bi da bude njihova primena kao dela integralnih sistema automatizovanog naoružanja.

Koncept integralnog artiljerijskog sistema treba da se zasniva na sledećem:

- automatski topovi malog kalibra su veoma univerzalni (mogu se koristiti razni tipovi municije, a po potrebi i režimi vatre), višestruke su namene, brzo reaguju imaju visoku pouzdanost, povećanu otpornost na razorne efekte protivničkog oružja, mogu se koristiti u svako doba dana i noći i imaju relativno nisku cenu. Problem je kako ih maksimalno efikasno iskoristiti u savremenim automatizovanim sistemima naoružanja;

- automatizovani sistemi su složene „inteligentne“ tehnološke strukture koje mogu dejstvovati bez učešća čoveka, vršiti osmatranje borbenih uslova, pretraživati i otkrivati ciljeve, selektirati najopasnije, postavljati oružje, otvarati vatru,

proceniti rezultate vatre i donositi sledeće odluke. Ukupan proces gađanja potpuno je automatizovan, što znatno povećava verovatnoću pogađanja. Kao deo tog sistema, automatski top može da bude razmatran kao vođeno borbeno sredstvo sa sistemom za upravljanje, čiji je vremenski pomak jednak vremenu leta projektila do cilja. Takva kombinacija vrednosti vođenog oružja, sa specifičnim prednostima automatskog oružja, poboljšava efikasnost automatskog topa i znatno širi njegove borbene mogućnosti. Te prednosti su najbolje pokazane na savremenim pokretnim protivavionskim i protivraketnim sistemima jedinica KoV;

- kopnene jedinice u najvećem broju inostranih armija koriste dva tipa automatizovanih sistema za potrebe mobilnih sistema za blisku protivavionsku i protivraketnu odbranu. To su raketni sistemi sa efikasnim dometom do 10 km i topovski sistemi sa efikasnim dometom do 4 km. Prvi su opremljeni samo vođenim raketama, i tu spadaju Roland, Crotale i drugi slični sistemi, dok su drugi naoružani samo automatskim topovima malog kalibra, i tu spadaju Turenn, Gepard i dr. Navedeni sistemi sadrže brojne funkcionalno slične elemente: šasije sa pogonom, sisteme za održavanje životnih uslova i zaštitu posade, kupolu sa komandama za elevaciju i okretanje, optičke, radarske, termičke i TV sisteme za automatsko otkrivanje cilja, identifikaciju i praćenje, kao i kompjuterski sistem za automatsko upravljanje vatrom.

Borbena upotreba raketnih i topovskih sistema ima široku vremensku prirodu, pri čemu jedno oružje ne zamenjuje drugo, već nadopunjuje i obezbeđuje

maksimalan nivo efikasnosti u svojoj zoni odgovornosti.

Integracija ova dva tipa oružja u jedinstveni sistem zaista je vrlo perspektivna i obećavajuća. Takvo tehničko rešenje može smanjiti raspored i, konsekvntno, izdatke za pokretne sisteme protivavionskog i protivraketnog naoružanja gotovo dva puta, bez smanjenja efikasnosti. Slična rešenja moguća su i za brodska PA i protivraketna sredstva. Primena ovog koncepta jedino je moguća ukoliko ukupna masa raketnog i topovskog naoružanja (sa municijskim kompletom) ne povećava zadati kapacitet nosača.

Analizirajući osnovne karakteristike ruskih i ostalih automatskih PA topova mogu se izvesti sledeći zaključci:

- inostrani topovi malog kalibra imaju znatnu masu, što je ozbiljna smetnja za njihovu primenu;
- upotreba automatskih komandi kod brojnih inostranih topova zahteva snažne spoljne izvore energije i tako još više sprečava njihovu primenu u integrisanim pokretnim sistemima;
- protivavionski topovi malog kalibra koje je razvila firma KBP potpuno su automatizovani i imaju znatno manju masu i dimenzije.

Razvoj integrisanih sistema oružja postao je moguć pre svega zbog visokog tehničkog nivoa prototipa jedinstvenih topovskih sistema, ali i razvoja drugih komponenata integralnog sistema PVO.

Prvi integralni topovsko-raketni sistem, namenjen za jedinice PVO KoV, bio je sistem Tunguska. Ispitivanja su pokazala da je najbolji režim vatre za topove 30 mm za pokretne zemaljske sisteme PVO od 5000 zrna u minuti, pri brzini cilja $V_c = 300$ m/s.

Sistem Tunguska karakteriše kompleks lafeta sa dva automatska PA topa čija zajednička upotreba omogućava zadati režim vatre. To tehničko rešenje povećava borbene mogućnosti i postojanost oružja (ako se jedan top ošteti platforma ostaje parcijalno operativna). Sistem koristi automatske PA topove 30 mm 2A38, koji funkcionišu na principu dejstva gasova i obezbeđuju stabilan rad sistema pri bilo kom uglu elevacije.

Radi obezbeđenja visokog režima utroška municije, razvijen je autonomni vodoisparljivi sistem za hlađenje sklopa cevi. Sistem je specifičnost dvocevno PA oružja 30 mm, koji obezbeđuje potpunu realizaciju toplotno-apsorbirajućih svojstava za hlađenje. Sistem za hlađenje sa dva rezervoara održava prihvatljiv toplotni režim pripadajućih cevi.

Senzor početne brzine, smešten na ustima cevi jednog topa, koji obezbeđuje povećanje tačnosti vatre, takođe predstavlja specifičnost sistema Tunguska.

Automatskim PA topovima ugrađenim na levu ili desnu stranu postolja kupolice, omogućeno je i odgovarajuće punjenje. Pošto sistem Tunguska ima automatske topove 2A38 ugrađene izvan kupole, primenjen je mehanizam za daljinsku eliminaciju zastoja pri dejstvu naoružanja. Pošto PA top 2A38 koristi municiju sa udarnim kapislama opremljen je specijalnim udarnim mehanizmom.

Topovsko naoružanje integralnog sistema dalje se usavršavalo razvojem raketno-topovskog sistema Kaštan, koji je namenjen za blisku borbu u vazduhu i protivraketnu odbranu borbenih brodova. Istraživanja su pokazala da je režim vatre od 10 000 zrna/min (sa brzinom cilja

$V_c = 500 \text{ m/s}$) najbolji za vatru topova 30 mm integriranih u sistem bliske protivrakete odbrane borbenih brodova.

Sistem Kaštan ima postolje sa dva 30 mm atomatska šestoceva PA topa 6K30 GŠ. Top 6K30 GŠ predstavlja modifikovanu verziju 30 mm višecevnog automatskog topa sa obrtnim sklopom cevi, čime je omogućen maksimalan intenzitet funkcionisanja, produžen vek upotrebe i poboljšana toplotna otpornost brzometnih topova. I kod ovog topa koristi se vodoisparljivi sistem hlađenja.

Problem sinhronizacije režima vatre dva brzometna topa smeštena sa strane kupole rešen je uvođenjem jednostavne i pouzdane kinematičke povezanosti u obrtnom snopu cevi. Specifičnost ove verzije topova jeste punjenje bez redenika, što povećava pouzdanost i poboljšava karakteristike održavanja.

Radi smanjenja efekata talasa i bleška na ustima cevi deo usta cevi je opremljen specijalnim zaštitnim omotačem.

Može se zaključiti da tehnički dobro projektovani topovi malog kalibra, po svojim parametrima efektivnosti, uspešno konkurišu u zoni bliske borbe mnogo skupljim i komplikovanim vođenim raketama.

M. Krbavac



GLAVNI TRENDOWI U RAZVOJU VIŠECEVNIH RAKETNIH LANSIRNIH SISTEMA*

Višecelni raketni lansirni sistemi (VRLS) danas predstavljaju najefikasnije

artiljerijsko naoružanje pa se nalaze u upotrebi mnogih armija. Analiza sadašnjeg stanja razvoja VRLS pokazuje da je izražena tendencija da nekoliko dobro poznatih VRLS, za izrazitim performansama i povoljnim odnosom cena/efikasnost budu sačuvani kao osnovni model za buduće modernizacije. Među takvima su danas ruski operativni sistemi Grad, Uragan i Smerč.

Opšta tendencija razvoja VRLS obuhvata sledeće strateške trendove:

- povećanje vatrenog dometa;
- povećanje ubojnosti bojne glave;
- poboljšanje tačnosti i konzistentnosti vatre;
- automatizaciju pripreme vatre i procedure lansiranja,
- usavršavanje vatrene podrške i sredstava za upravljanje.

Proteklih godina došlo je do brojnih dostignuća u kreiranju čvrstoće čelika, sintetičkih materijala i visokopulzirajućih raketnih pogona. Uz to, razvijene su apsolutno nove projektne konfiguracije za raketne motore. Pogonsko punjenje je čvrsto zatvoreno u telo i sagoreva uzduž unutrašnjih perforacija. Takav istraživački rad je najizraženiji za sisteme malih i srednjih kalibara. Ovi trendovi u razvoju VRLS potpuno su primenjeni u sistemu Grad, čiji je maksimalni vatreni domet povećan do 41 km. Modernizacija raketnog motora sistema Smerč povećala je maksimalni vatreni domet do 90 km, pri nepromenjenim dimenzijama i masi rakete.

Fragmentacione bojne glave, koje nose submuniciju sa eksplozivima pojačanog dejstva, slične su municiji za uništavanje nezaštićene žive sile. Dva su glavna načina za postizanje optimalnih

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart 2002.

dinamičkih parametara bojne glave: fragmentacija granate uzduž ranije urađenih žlebova i postavljanje prefabrikovane submunicije iste ili različite mase u bojnu glavu.

Zona uništenja cilja proširena je zbog tačno selektiranog mesta i načina iniciranja eksploziva na optimalnoj visini. Živa sila van zaklona i pod ceradama može da se uništava pojačanom trenutno-fugasnom municijom, municijom sa eksplozivnim gorivom ili submunicijom sa usmerenim snopom fragmenata.

Danas je aktuelan problem razvoja termofugasne municije, sposobne da uništava živu silu i opremu smeštenu u inženjerski uređenim konstrukcijama, dok živa sila smeštena u borbenim vozilima treba da se uništava municijom velikih kalibara sa masivnim fragmentima ili submunicijom.

Mnogo pažnje poklonjeno je razvoju „pametne“ submunicije namenjene za uništavanje oklopnih vozila sa gornje strane, pre svega tenkova.

Rakete sa submunicijom sa senzorskim upaljačima razvijene su i primenjene kod VRLS Smerč. Zbog izuzetnih tehničkih rešenja gabariti i masa rakete znatno su smanjeni uz iste karakteristike performansi, što je konačno dovelo do dvostruko povećane borbene efikasnosti rakete 300 mm i omogućilo opremanje raketa 122 mm sa submunicijom sa senzorskim upaljačima.

Problem povećanja tačnosti i konzistentnosti vatre postaje značajniji sa porastom maksimalnog dometa, što se može dovesti u vezu sa činjenicom da se sa karakteristikama tačnosti i konzistentnosti vatre, koje ostaju nepromenjene, povećava odstupanje rakete. Pošto su tradi-

cionalni putevi povećanja tačnosti i konzistentnosti vatre iscrpljeni, situacija je nalogala temeljno istraživanje u oblasti aerodinamike, balistike i lansirne dinamike, kao i novim tehničkim rešenjima za poboljšanje korekcije i upravljanja VRLS.

Upravljana raketa VRLS Smerč postala je formacijska stavka ruske armije. Međutim, princip funkcionisanja te rakete i korekcija putanje leta može lako da se primeni i na rakete manjih kalibara, posebno na one kalibra 122 mm.

Zajedno sa poboljšanjem metoda korekcije putanje leta, istraživanje je dovelo do kontinuiranog upravljanja raketom VRLS korišćenjem podataka primljenih sa inercijalnih senzora, od momenta lansiranja do aktiviranja bojne glave.

Istraživanje pokazuje da se tačnost može poboljšati za tri do četiri puta u odnosu na upravljanu raketu, čak i ako su inercijalni senzori na nestabilizovanom nosaču. Takav metod je najprimereniji za rakete sa povećanim dometom (preko 90 km). Istovremeno i korekcionni sistem, koji se sada koristi na raketama sistema Smerč, može se dalje modernizovati. Transformacija osnovnih elemenata omogućava smanjenje veličine i mase delova za korekciju skoro za dva puta, omogućavajući time povećanje mase bojne glave ili punjenja raketnog motora. Osim toga, tačnost korekcionnog sistema može se poboljšati eliminisanjem grešaka u stabilizaciji ugla. Algoritam korekcije dometa može da se proširi na neaktivni deo putanje, što će ublažiti disperziju aerodinamičkih karakteristika rakete. Sveobuhvatna upotreba ovih mera može poboljšati karakteristike skoro duplo, tj. dovođenje na nivo 1/500–1/600.

Međutim, pored ovih glavnih komponenti, ukupna efikasnost upotrebe VRLS zavisi od usavršenosti lansirnih vozila, sredstava za izviđanje, meteorološke podrške, sredstava za održavanje i sistema za upravljanje vatrom. Poboljšanje tih sredstava predstavlja zajednički problem za sve tipove artiljerijskog i raketnog naoružanja, a ne samo za VRLS. Posebna pažnja trebalo bi da se posveti izviđačkim sredstvima koja bi trebalo integrisati sa VRLS, i koja bi trebalo da imaju visoku tačnost u određivanju cilja. Njihov značaj raste sa povećanjem vatrene dometa, uz istovremeno smanjenje grešaka pri gađanju.

Sledi da su sredstva za određivanje položaja cilja, sa verovatnom greškom u zoni od 100 m, prihvatljiva za rakete sa greškom pri gađanju od 1/300X, dok je za VRLS visoke tačnosti sa greškama od 1/1200X tačnost određivanja položaja cilja potrebno poboljšati.

Nesumnjivo da će se lansirna vozila VRLS i dalje usavršavati. Buduća lansirna vozila treba da imaju mogućnost istovremene popune sa raketama raznog kalibra i automatsko zauzimanje položaja korišćenjem samoorijentišućih nišanskih žiroskopa, pri čemu posada ostaje u kabini. Osim toga očekuje se da modernizovana lansirna vozila budu opremljena navigacionom opremom tipa odometra i serijom unificiranih orijentisanih kompjutera za upravljanje vatrom i proračun vatrene zadatka. Lansirna vozila trebalo bi da imaju veliku autonomnost i sposobnost da se efikasno prilagođavaju terenskim i vremenskim uslovima.

M. Krbavac

LASERSKI POKAZIVAČI CILJA ZA STRELJAČKO NAORUŽANJE I ORUŽJE VELIKE PRECIZNOSTI*

Znatno povećanje operativne borbene efikasnosti noću i promene na oružju velike preciznosti, uključujući i ono opremljeno laserskim sistemom i sistemom vođenja pomoću signala odbijenog od cilja, najznačajnije su tendencije u oblasti razvoja naoružanja.

Ruska firma VOMZ (Vologda Optičko Mehanički Zavod) usmerila je svoje proizvodne kapacitete na izradu savremenih laserskih pokazivača cilja koji se ugrađuju na integralne sisteme za noćno osmatranje i nišanje za streljačko naoružanje i raketno-topovska oružja velike preciznosti.

Sistem integralnog noćnog osmatračkog nišana projektovan je tako da obezbedi efikasno gađanje streljačkim naoružanjem noću sa svih položaja. Ovaj sistem se sastoji od pasivnih noćnih naočara i infracrvenog laserskog pokazivača cilja ugrađenog oko poluprovodničkog lasera.

Da bi dobro generisao fokusirani zrak, pokazivač cilja koristi optički gradijent, što omogućava minimizaciju mase i dimenzija pokazivača. Pokazivač cilja ima dva načina rada: kontinuirani i tala-sasti na frekvenciji od 6 do 10 Hz, što omogućava distribuciju ciljeva.

Osnovna verzija pokazivača poseduje nosač za njegovo pričvršćivanje sa strane oružja (na primer automat AK-74N). Pokazivač se može postaviti i vertikalno pomoću nosača u obliku lastinog repa.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj 2002.

Sistem noćnog osmatračkog nišana omogućava implementaciju mogućnosti njegove snajperske vatre bez poravnanja oka strelca sa linijom cevi, odnosno, nišanski sistem obezbeđuje brzo i efikasno dejstvo s boka, u pokretu i sa vozila koja se kreću, što je od posebnog značaja za visokomanevarska borbena dejstva, kao i u protivterorističkim i specijalnim operacijama.

Drugo usmerenje firme VOMZ predstavlja razvoj malogabaritnih čvrstih periodično pulsirajućih nehladenih lasera, namenjenih za pokazivače cilja i daljinomere. Koriste se kao laserski pokazivači cilja za rakete, bombe i projektele i njihovo lasersko navođenje na ciljeve na zemlji, moru i u vazдушnom prostoru.

Cilj otkriven pomoću nišanskih ili televizijskih osmatračkih kanala i osvetljen pokazivačem cilja zahvata glava za samonavođenje na oružju. Od tada pa nadalje glava za samonavođenje automatski reguliše način praćenja cilja. Visoka preciznost je suštinsko svojstvo laserskog zraka ili poluaktivnih sistema za samonavođenje. Po pravilu, verovatnoća uništenja, čak i malih ciljeva kao što su borbeni tenkovi locirani na znatnom rastojanju (10 km i više), sasvim je izvesna.

Najčešće se laserski pokazivači cilja koriste kao daljinomeri. Glavni sklop pokazivača cilja je periodično-pulsirajući laser sa emitujućom energijom do 100 mJ i vršnom snagom od 107 W, koji radi sa frekvencijom ponavljanja impulsa ne manjom od 20 Hz, što je osnovni zahtev za sigurno vođenje oružja.

Po pravilu, postojeći laserski pokazivači imaju lasere Nd-YAG sa tečnim hlađenjem i aktivnim elementom. VOMZ je razvio laserski pokazivač malih razme-

ra sa visokoefikasnim kristalom neodijuma, u osnovi kojeg je kalijum-gadolini-um volfram kao njegov aktivni element. Za razliku od postojećih ovaj laser se ne hladi tečnošću. Zbog smanjene mase i dimenzija on se može efikasno upotrebiti u prenosnim pokazivačima cilja. Konstrukcija lasera omogućava njegovo servisiranje i upotrebu u širokom dijapazonu klimatskih uslova (od -50 do +65°C) i podnošenje mehaničkih udara sa amplitudom ubrzanja do 75 g.

Prema pokazateljima, kalijum-gadolini-um volframov emiter laserskog pokazivača cilja poseduje optimalan odnos parametara izlazne emisije i maseno-gabaritnih karakteristika. Jedna od njegovih očiglednih prednosti je stabilnost generisanja visoke energije za sve vreme iluminacionog ciklusa u rigoroznim uslovima.

Ovi laseri koriste se i za civilne proizvode. Na primer, laserski pokazivači PL-2 i PL-3 ugrađuju se na lovačko oružje (tipa Los, Bars, Saiga i dr.). U tom slučaju prilagođeni pokazivač cilja može lako da se skida sa oružja i ponovo postavlja bez narušavanja podešenosti. Upotreba laserskih pokazivača cilja pogodna je i za simulatore za streljačko naoružanje.

M. Krbavac



SATELITSKI KOMUNIKACIONI I NAVIGACIONI SISTEMI*

Savremeno vođenje vojnih operacija nezamislivo je bez upotrebe satelitskih komunikacionih i navigacionih sistema

* Prema podacima iz prospektaog materijala Defensor d.o.o.; TRW; Lockheed Martin, Aerospatiale Matra.

koji korisnicima obezbeđuju siguran, brz i dobro zaštićen prenos najrazličitijih informacija, preciznu i tačnu lokaciju vojnih objekata i navođenje (navigaciju) visokosofisticiranih borbenih sistema u realnom vremenu.

Satelitski komunikacioni sistemi

Satelitski komunikacioni sistemi sa stoje se od više satelita koji deluju kao relejne stanice za komunikaciju između dve ili više tačaka na Zemlji. Uobičajena je njihova podela na dve veće grupe: satelite sa kružnim i elipsoidnim negeostacionarnim orbitama i satelite u geostacionarnoj orbiti.

Prvi američki sateliti za vojne komunikacije u upotrebi su od sredine šezdesetih godina 20. veka. Bili su to komunikacioni sateliti IDSCS (Initial Defense Satellite Communications System – početni odbrambeni satelitski komunikacioni sistem), preteča današnjih komunikacionih satelita DSCS III (Defense Satellite Communications System-phase III), koji rade na supervisokim frekvencijama (SHF) i namenjeni su za razmenu veoma važnih podataka kakvi su, na primer, informacije između ministarstva odbrane i komandi vojnih snaga na ratištu. Jedan kanal kod tih satelita rezervisan je za uzbuđivanje nuklearnih snaga. Danas se u SAD koristi 10 ovih satelita.

Od 1993. godine umesto mornaričkih (FLTSATCOM), vazduhoplovnih (AFSATCOM), taktičkih (TACSAT) i iznajmljenih – komercijalnih (LEASAT) komunikacionih satelita, Amerikanci upotrebljavaju komunikacione satelite UFO (Ultra High Frequency Follow-on). Osim osnovne komunikacije na supervi-

sokim frekvencijama (SHF) i ekstremno-visokim frekvencijama (EHF), tri od 11 satelita UFO opremljena su sistemom za globalno emitovanje (GBS) koji omogućuje veoma brz prenos informacija. Primera radi, vreme prenosa velike fotografije (veličina 24 MB) sa 22,2 sata, koliko je trajalo u sistemu LDR, zahvaljujući satelitu Milstar 1, skraćeno je na samo 8,4 sekundi.

Najsavremeniji vojni komunikacioni sateliti su Milstar 1 i Milstar 2, koji rade na ekstremno-visokim frekvencijama (EHF), obezbeđujući korisnicima pouzdane, dobro zaštićene i na smetnje i na nuklearne elektronske impulse otporne komunikacije.

Prvi satelit Milstar 1 lansiran je 1994, a drugi 1995. godine. Aprila 1999. godine lansiran je novi, efikasniji satelit Milstar 2, koji se zbog greške u radu poslednjeg stepena rakete-nosača izgubio u kosmičkom prostoru. Drugi satelit Milstar 2 uspešno je lansiran 2001. godine, a treći 2002. godine. Sa četiri operativna satelita tog tipa u orbiti u potpunosti je zaokružena satelitska komunikaciona mreža. Peti satelit Milstar 2 služi kao rezerva.

Svi sateliti tipa Milstar opremljeni su sistemom Crossline (unakrsna veza), koji omogućava međusobnu vezu satelita bez upotrebe zemaljskih stanica. Sateliti Milstar imaju dva podsistema za prenos podataka – LDR (Low Data Rate), brzine prenosa od 75 do 2400 bita u sekundi, sa 192 komunikaciona kanala za četiri korisnika po jednom kanalu i – MDR (Medium Data Rate), brzine prenosa od 4,8 do 1544 KB u sekundi, sa 32 komunikaciona kanala i sa mogućnošću 70 korisnika po jednom kanalu.

Sateliti Milstar su prvi komunikacioni sateliti koji koriste algoritme za obradu signala na satelitu, što korisnicima garantuje uspostavljanje sigurnih i dobro zaštićenih veza za samo nekoliko minuta. Ti sateliti, takođe, prvi put koriste frekvencijsko skakanje. Cena jednog satelita Milstar je oko 800 miliona dolara.

Komunikacioni sateliti SDS-1 i SDS-2 (Satellite Data System) i Capricorn kreću se u visokoelipsoidnoj orbiti, a sateliti iz sistema TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System – satelitski sistem za praćenje i prenos informacija) u geostacionarnoj orbiti i koriste kao relejni komunikacioni sateliti za povezivanje izviđačkih satelita koji se kreću u niskim orbitama, sa kopnenim kontrolnim i prijemnim stanicama. Sateliti SDS-2 i Capricorn opremljeni su infracrvenim senzorima za otkrivanje lansiranja raketa i za kontrolu polarnih oblasti iz kojih nuklearne podmornice lansiraju rakete, a što nisu u stanju da registruju sateliti DSP.

Prvi sovjetski komunikacioni sateliti bili su sateliti Molnija stacionirani u visokoelipsoidnoj orbiti. Prvobitno su bili namenjeni za civilne komunikacije, ali se danas koriste za vojne i vladine komunikacije. Uobičajena je mreža od 16 satelita tipa Molnija, sa po dva satelita raspoređena u osam orbita. Godine 2001. lansirana su dva nova satelita tipa Molnija-3.

Za potrebe oružanih snaga Rusija koristi dva sistema geostacionarnih satelita za komunikacije. Sistem Stacionar sastoji se od satelita tipa Radoga i njegovog poboljšanog modela Radoga-1, koji omogućuje komunikaciju ne samo između fiksno lociranih stanica, već i između mobilnih platformi. Godine 1994. Rusi

su u kosmosu imali 13 satelita tipa Radoga-1, raspoređenih na devet različitih lokacija. Godine 2000. njihov broj opao je na pet satelita raspoređenih na pet lokacija. U periodu od 1999. do 2001. godine svake godine lansirao je po jedan satelit Radoga-1, koji je zamenio satelite kojima je istekao vek upotrebe.

Drugi ruski satelitski geostacionarni komunikacioni sistem Potok sastoji se od satelita Gejzir za prenos podataka sa digitalnih fotoizviđačkih satelita i satelita za elektronsko izviđanje do prijemnih stanica na Zemlji. Uobičajeno je da taj sistem čine tri satelita raspoređena na dve lokacije. Poslednje lansiranje satelita tog tipa obavljeno je 2000. godine.

Na visini od oko 1400 km aktivna je još jedna vrsta ruskih komunikacionih satelita – Strela-3 i njena komercijalna verzija Gonjec D-1. Radi se o jednostavnim satelitima za komunikaciju koji rade na principu „sačuvaj i prosledi“. Prva verzija Strela-1 koristi se od 1965. godine i osim za vojne komunikacije koristi se i za obaveštajne i špijunske zadatke. Za lansiranje komunikacionih satelita Rusi koriste raketu-nosač Ciklon koja nosi šest satelita, od kojih su tri vojna – Strela-3, a tri komercijalna – Gonjec D-1. Uobičajeno je da satelitsku komunikacionu mrežu čine 24 satelita koji su raspoređeni u dve orbite sa nagibom od 82,6°. Brzina prenosa informacija je 2,4 KB u sekundi, a mogu da čuvaju do 12 MB podataka. Poslednje lansiranje grupe od 6 satelita Strela-3 i Gonjec D-1 obavljeno je 2001. godine.

I druge zemlje koriste komunikacione satelite: Velika Britanija satelit Skynet 4 (poslednji je lansirao 2001), a Francuska Syrakuse II, koji je postavljen na

francuskim geostacionarnim vojnim satelitima Telecom 2. Od 2003. Francuzi namjeravaju da u operativnu upotrebu uvedu namenski vojni komunikacioni satelit Syrakuse III. Od 2001. Italija je dobila svoj prvi vojni geostacionarni komunikacioni satelit SICAL-1, koji je ujedno i prvi evropski satelit koji osim na ultra i supervisokim frekvencijama (UHF i SHF) radi i na ekstremno visokim frekvencijama (EHF). Planirani vek tog satelita je 10 godina. Za povezivanje svojih članica NATO koristi dva satelita četvrte generacije: NATO-IV, od kojih je NATO-IVA operativni, a NATO-IVB rezervni satelit raspoređen u geostacionarnoj orbiti. Svoj prvi vojni komunikacioni geostacionarni satelit Zongksing (kineska zvezda) Kina je lansirala 2001. godine, a januara 2002. godine kupila je od Izraela tri komunikaciona satelita tipa AMOS.

Satelitski navigacioni sistemi

Lansiranje prvog veštačkog satelita, ruskog Sputnjika, označilo je početak razvoja navigacionih satelita.

Prvi američki satelitski navigacioni sistem bio je SECOR (Sequential Collection of Range), a činilo ga je 13 satelita pojedinačne mase od 17 do 20 kg, lansiranih između 1963. i 1969. godine. Od 1964. godine SAD u upotrebu uvode momarički satelitski navigacioni sistem NNSS (Navy Navigation Satellite System), poznatiji pod imenom Transit, koji je služio za navigaciju strateških nuklearnih podmornica.

Sistem Transit prve generacije imao je 6 satelita sa nezavisnim, skoro kružnim polarnim orbitama, koji su bili na visini od 1100 km i pod nagibom od 90°.

Brzina kretanja od 7,3 km/s omogućila im je da Zemlju obidu za 107 minuta. Zemaljski deo sistema Transit čini više stanica za praćenje satelita, kontrolni i računarski centar za korekciju elemenata putanje, dok su u plovne objekte ugrađeni prijemnici sa antenama, referentni generatori, računari, ulazno-izlazne jedinice, pokazivači informacija i blokovi za napajanje energijom. Tačnost navigacije iznosi 160 metara.

Početkom osamdesetih godina, za potrebe ratnog vazduhoplovstva SAD započinje razvoj satelitskog navigacionog sistema NAVSTAR, koji je kasnije objedinjen u sistem NAVSTAR GPS (Global Positioning System). Razvoj sistema NAVSTAR odvijao se u tri faze. U prvoj, do 1979. godine, razrađivana je koncepcija sistema, izrađeno nekoliko satelita Block I, kao i eksperimentalna zemaljska kontrolna stanica, a projektovani su i prijemnici korisnika. Druga faza započela je 1979. godine izgradnjom satelita Block II, a treća faza, od 1985. godine, obuhvatila je potpuni razvoj i uspostavljanje sistema. Eksploatacija sistema NAVSTAR započela je 1988. godine lansiranjem prvih satelita Block II, a globalno određivanje planarnih koordinata pomoću satelita Block I i Block II počelo je 1994. godine. Sistem GPS/NAVSTAR dostigao je punu operativnost 1995. godine.

Sistem NAVSTAR sastoji se od 24 radna satelita GPS Block II i Block IIA i tri rezervna satelita (između 1983. i 1996. godine ti sateliti zamenjeni su poboljšanim modelima Block 2R i Block 2F). Sateliti su raspoređeni u 6 kružnih orbita na visini od 20 183 km i pod nagibom od 55°, a emituju dva signala različitih frekvencija. Lansiraju se pomoću

rakete-nosača Delta II, a Zemlju oblete za 12 sati. Korisnici signala u svakom trenutku, sa bilo koje tačke na Zemlji, mogu da koriste signale četiri satelita od 11 postojećih. Vek satelita iznosi 7,5 godina, a kontrolišu ih i vode glavne kontrolne stanice MCS (Master Control Station) kosmičke komande SAD. Kopneno deo sistema GPS/NAVSTAR čini pet kontrolnih stanica i četiri antene postavljene na različitim delovima planete. Opremu svakog satelita GPS čini nekoliko podsistema: za orijentaciju u procesu izvođenja i na samoj orbiti; za telemetriju (prijem komandi); za formiranje i translaciju navigacionih informacija; za termoregulaciju i za elektronapajanje sistema.

Sateliti GPS namenjeni su za prenos vojnih (i civilnih) navigacionih podataka. Posebno precizno prenose podatke o položaju Zemlje (širina, dužina, visina), brzini i posredovanju vremenske tačnosti. Svi podaci dostavljaju se korisnicima u realnom vremenu. Neki sateliti GPS imaju i detektore za otkrivanje nuklearnih eksplozija, a emituju dva različita signala: civilni (tačnost od 100 do 15 m) i vojni (tačnost jedan metar). Vojni signali su kodirani i dobro zaštićeni od ometanja. Signal GPS koristi se i za vođenje krstarećih raketa i avio-bombi, pa čak i artiljerijskih projektila, što se pokazalo i za vreme operacije „Pustinjska oluja“, bombardovanja Bosne i Hercegovine, agresije NATO-a na Jugoslaviju i u borbama u Avganistanu. GPS su razvijeni za sve vrste transportnih sredstava, a dostigli su veličinu džepnog kalkulatora.

Sateliti GPS Block 2R osposobljeni su za određivanje sopstvenog položaja i izvođenja međusatelitskog rangiranja,

kao i za samostalno otklanjanje grešaka u toku leta. Samostalni su u radu i nezavisni od zemaljskih kontrolnih stanica. Zaštićeni su od bilo kakvog ometanja, a vek upotrebe je 10 godina. Njihova modernizacija (od 2001. godine) pretpostavlja ugradnju još jednog civilnog i dva vojna kanala, poboljšanje tačnosti i povećanje otpornosti na smetnje.

Poboljšani model Block 2F treba da postane operativan 2006. godine. Predviđeno je da ima više civilnih i vojnih kanala, bolju otpornost na elektronska ometanja, mogućnost lansiranja iz različitih sredstava, a vek mu je povećan na 15 godina. Otpočeo je i razvoj nove generacije navigacionih satelita block III, čije se uvođenje u upotrebu očekuje posle 2009. godine.

Prvi sovjetski navigacioni satelit Ciklon lansirao je 1967. godine. Položaj, sa odstupanjem do 3 km, određivao je pomoću Doplerovog efekta. Otklanjanje uočanih smetnji dovelo je do lansiranja vojnog operativnog satelitskog navigacionog sistema Parus ili Ciklon-B 1974. godine. Sistem Parus još se nalazi u upotrebi, a čini ga 10 satelita namenjenih za navigaciju brodova ratne mornarice i strateških nuklearnih projektila. Sedamdesetih godina razvijen je, na njegovoj osnovi, sistem Cikada koji čine četiri satelita.

Savremeni ruski satelitski navigacioni sistem, sličan američkom GPS, jeste GLONASS (GLObalna NAVigaciona Sputnikova Sistema – globalni navigacioni satelitski sistem), koji je u operativnu upotrebu uveden 1983. godine. Potpuni sistem pretpostavlja upotrebu 21 radnog i tri rezervna satelita koji su stacionirani na visini od 19100 km u tri različite orbite (u svakoj orbiti po osam satelita) i pod nagi-

bom od 64,8°. Perioda satelita iznosi 11 sati i 15 minuta, a emituju isti signal na različitim frekvencijama. Tačnost je slična američkom GPS, ali nemaju civilni kanal. Poslednje lansiranje satelita sistema GLONASS izvršeno je 2001. godine lansiranjem tri satelita tipa Uragan od kojih jedan pripada najnovijoj generaciji Uragan-M. Njihov vek iznosi 8 godina.

Evropska kosmička agencija razvija satelitski navigacioni sistem Galileo, koji u operativnu upotrebu treba da bude uveden 2008. godine. Činiće ga 30 satelita koji će kružiti u Zemljinoj orbiti na visini od 24 000 km, dok će jedan broj satelita biti u geostacionarnoj orbiti. Sistem Galileo kontrolisaće 14 zemaljskih kontrolnih stanica razmeštenih na različitim tačkama na planeti.

Kina razvija sopstveni satelitski navigacioni sistem Beidou sa satelitima BNTS-1 i BNTS-B1 (Beidou Navigation Test Satellite), koji se lansiraju raketom „Dugi marš 3A“. Lansiranje u geostacionarnu orbitu izvršeno je oktobra i decembra 2000. godine. U razvoju je i nova generacija tih satelita znatno boljih mogućnosti koji će prekrivati celokupnu površinu Zemlje.

S. Arsić



FOTOIZVIDAČKI, RADARSKI I SATELITI ZA PRIKUPLJANJE OBAVEŠTAJNIH PODATAKA*

Fotoizvidački sateliti i sateliti za kontrolu, poznatiji kao špijunski sateliti, koriste se za prikupljanje informacija o

vrsti odbrambenih i drugih aktivnosti potencijalnih neprijatelja, ali i saveznika. Sateliti za kontrolu (quick-look) koriste se za stalnu i redovnu kontrolu širih oblasti, pa imaju veći ugao snimanja i osmatranja i manju rezoluciju, a televizijske, foto ili radarske snimke upućuju na analizu zemaljskim kontrolnim stanicama pomoću radio-veze. Kada je otkrivena određena aktivnost na scenu stupaju izviđački sateliti (close-look) sa efikasnijom fotoopremom i boljom rezolucijom, koji snimljene filmove šalju na Zemlju pomoću posebnih kapsula.

Fotoizviđački i radarski sateliti

Razvoj američkih izviđačkih satelita datira od 1960. godine, kada je lansirani satelit iz programa Corona, čije su kamere imale oznake KH-1 do KH-4. Od 1960. do maja 1972. godine lansirano je 145 satelita KH, od kojih 102 uspešno. Nakon ovih satelita sledili su sateliti programa KH-5 Argon, KH-6 Laynard, KH-7 i KH-8 Gambit i KH-9A i KH-9B Hexagon, koji su zadržali postupak vraćanja snimaka na Zemlju. Njihova rezolucija iznosila je od 15 do 60 cm (KH-9).

Prvo lansiranje nove vrste satelita, oznake KH-11, obavljeno je 1976. godine (kodni naziv Kennan i Crystal). Umesto foto-kamere sa kapsulama za vraćanje snimaka zemaljskim stanicama upućivali su snimke u realnom vremenu preko relejnih satelita SDS-1/-2, TDRSS i drugih, koji su se kretali u višim orbitama. Rezolucija tih satelita iznosila je od 10 do 15 cm, a mogli su da emituju 8 do 10 snimaka u minuti. Kretali su se u gotovo kružnoj orbiti na visini od 300 do 1000 km, pod nagibom od 98°, obilazeći

* Prema podacima iz prospektnog materijala Defensor d.o.o.; TRW; Lockheed Martin, Aérospatiale Matra.

Zemlju 15 puta dnevno. Istovremeno, u orbiti su se nalazila dva satelita sa programom da jedan od njih određeni region preleće ujutro, a drugi popodne. Vek satelita KH iznosio je tri godine, a poslednji je lansiran novembra 1988. godine.

Prvi usavršeni satelit oznake KH-11 (u javnosti označavan i kao KH-12) lansiran je 1990. godine. Usavršeni satelit KH-11 (Improved Crystal i Ikon) imao je masu 16 300 kg (6350 kg pogonskog goriva), a lansiran je u skoro polarnu Sunčevu sinhronu orbitu na visini od 300 do 1000 km. Osim poboljšanih senzora koji rade u vidnom polju i spektru bliskom IC na njega je ugrađena i poboljšana elektronika za obradu snimaka (oštrije slike, rezolucija 5 do 8 cm, brzina emitovanja 12 snimaka u minuti) i termovizijski senzor. Nova izviđačka oprema omogućava fotografisanje objekata pod velikim uglom – sa udaljenosti od nekoliko stotina kilometara bočno u odnosu na pravac leta satelita. Takve karakteristike omogućavale su razlikovanje ljudi u uniformama od onih u civilu. Danas se u upotrebi nalaze tri satelita KH-11/12, a najnoviji (USA 161) je lansiran oktobra 2001. godine. Njihova aktivnost koordinirana je sa 6 manjih izviđačkih satelita, od kojih su tri tipa Lacrosse/Onyx, dok o ostalima nema gotovo nikakvih podataka. Cena jednog satelita KH-12 iznosi milijardu dolara, a rakete-nosača Titan-IVB 300 miliona dolara.

Loši vremenski uslovi, posebno gusti slojevi oblaka, često onemogućavaju uspešan rad fotoizviđačkih satelita, pa su SAD, krajem sedamdesetih godina, počele da razvijaju radarski satelit za koji ovakvi uslovi ne predstavljaju ograniče-

nje. Prototip takvog satelita je Indigo lansiran 1982. godine. Decembra 1988. godine lansiran je novi tip radarskog satelita Lacrosse (program pod kodiranim nazivima Vega i Onyx), koji koristi radar za sintezaciju slika (SAR – Synthetic Aperture Radar). Rezolucija satelita Lacrosse verovatno iznosi 1 metar, ali omogućava osmatranje cilja noću i u svim vremenskim prilikama. Takođe, može da prati vozila u pokretu kao i da otkriva ukopane (do 3 m) i maskirane ciljeve i pokrete podmornica na periskopskoj dubini (10 do 15 m). Sateliti Lacrosse lansiraju se u orbite na visini od 680 km i pod nagibom od 57° do 68°. Sada se u operativnoj upotrebi nalaze tri satelita ovog tipa, a najnoviji je lansiran avgusta 2000. godine pomoću rakete-nosača Titan-IVB.

Sovjetska armija je još 1956. godine postavila zahtev da se izgrade izviđački sateliti. Program je počeo da se odvija pod kodiranim nazivom Zenit. Prvi uspešan let ostvario je satelit Zenit-1 pod kodnim nazivom Kosmos 12, decembra 1962. godine. Rezolucija prvih satelita Zenit iznosila je 10 do 15 m, a foto-kamera i filmovi bili su smešteni u kuglaste kapsule koje su se nakon osmodnevnog leta vraćale na Zemlju. Sateliti Zenit-2 opremljeni su opremom za elektronsko izviđanje Kust-12M i termovizijskim kamerama. Vremenom su zamenjeni satelitima visokorezolucijskog tipa druge generacije Zenit-2M, čiji je vek iznosio 12 dana. Satelit Zenit-4 i sateliti treće generacije Zenit-4M, MK, MKM, MKT, MT i Zenit-6 imaju sposobnost manevrisanja (menjanja) u orbiti.

Prvi predstavnik satelita četvrte generacije je Jantar-2K (kodni naziv Feniks), koji je u operativnu upotrebu uveden maja

1978. godine. Sateliti tog tipa opremljeni su sa dve manje povratne kapsule za vraćanje filmova na Zemlju, a njihov vek iznosi 30 dana. Svi sateliti tog tipa osposobljeni su za manevrisanje u orbiti.

Sledeći sovjetski izviđački satelit bio je Jantar-4K1 Oktant, a lansiran je 1982. godine. Mogao je da bude u funkciji 45 do 60 dana. Osim poboljšane visokorezolucijske foto-opreme i on je imao dve manje povratne kapsule. Taj satelit zamenjen je poboljšanim modelom Jantar-4K2 Kobalt, koji se još uvek nalazi u upotrebi. Njegova orbita je na visinama između 165 i 400 km, nagib je između 52° i 70°, a Zemlju obleti za oko 90 minuta.

Kasnih sedamdesetih godina (1977) Sovjeti su počeli da razvijaju izviđačke satelite sa digitalnim prenosom slike (slično američkim KH-11). Prvi takav izviđački satelit, sa vizuelnim i IC foto-grafskim sistemom sa digitalnim prenosom slike, jeste Jantar-4KS1 Terilen, koji je slike slao preko relejnog komunikacionog satelita Potok-Luč. Ovi sateliti korišćeni su u periodu od 1982. do 1990. godine, kada su zamenjeni efikasnijim satelitima Neman (verovatna oznaka Jantar-4KS2), koji su još uvek u upotrebi. Vek tih satelita iznosi godinu dana, a kreću se u orbiti na visini od 240 do 300 km, pod nagibom od 64,7°, a vreme obletanja oko Zemlje iznosi 90 minuta. Poslednji satelit tog tipa lansiran je maja 2000. godine (Kosmos 2370).

Juna 1997. godine Rusi su lansirali, pomoću rakete-nosača Protuelektrooptički izviđački satelit Kosmos 2344 Arkon-1. Orbita tog satelita u apogeju (najviša tačka) iznosi 2479 km, a u perigeju (najniža

tačka) 1516 km, dok je nagib 63,4°, a period obletanja 130 minuta. Usled visine elipsoidne orbite rezolucija tog satelita iznosi 2 do 5 m, a sa nagibom od 20°, levo i desno od pravca leta, može da snimi površinu i sa 1000 km udaljenosti.

Sateliti za prikupljanje obaveštajnih podataka

Elektronsko prikupljanje obaveštajnih podataka (SIGINT – Signals Intelligence) i analiza signala, obavlja se pomoću satelita čija je osnovna namena da „presreću“ signale (radio, mikrotalasne i dr.) komunikacionih sistema (COMINT – Communication Intelligence), elektronskih sistema (ELINT – Electronic Intelligence) i telemetrijskih sistema (FISINT – Foreign Instrumentation Signals Intelligence). Presretanjem tih signala moguće je otkriti vrstu i lokaciju čak i vrlo slabih predajnika kakvi su, na primer, ručne radio-stanice.

Za prikupljanje elektronskih obaveštajnih informacija u SAD je razvijeno više tipova satelita. Jedan od prvih bio je satelit GRAB (Galactic Radiation and Background), lansiran juna 1960. godine. Pomoću njega američka ratna mornarica presretala je signale tadašnjih sovjetskih radara, i uspešno otkrivala vojne aktivnosti u dubini sovjetske teritorije koje su bile nedostupne vazduhoplovnim sistemima za elektronsko prikupljanje obaveštajnih podataka. Od pet izvedenih lansiranja satelita tog tipa, dva su obavljena uspešno. Sve do 1998. godine nije se znala njihova tačna namena.

Od 1962. godine u SAD su počeli da se lansiraju sateliti za prikupljanje obaveštajnih podataka tipa Ferret. Prvi

tip satelita Ferret predstavljali su, u stvari, podsateliti mase od tek nekoliko desetina kilograma, koje su u orbitu iznosili znatno teži fotoizviđački sateliti KH (KH-4/7 i 8 nosili su po jedan satelit Ferret, a KH-9 dva ili tri). Iz niskih orbita podizani su u radnu polarnu orbitu na visinu od 300 do 800 km, a njihov glavni zadatak bio je da presreću signale sovjetskih radarskih satelita PVO i antibalističke odbrane. Drugi tip satelita Ferret bili su „teški“ sateliti (Heavy Ferret), mase od 1000 do 2000 kg, lansirani na visinu od 500 do 900 km, pomoću kojih su presretani signali sovjetskih sistema vođenja i komandovanja. Do 1971. godine lansirano je 15 „teških“ satelita Ferret.

Iskustva dobijena upotrebom satelita Ferret pokazala su da je efikasno i stalno presretanje signala radio-predajnika neophodno da sateliti kruže i na višim orbitama, da su geostacionarni ili da se kreću u visokoelipsoidnim orbitama. Na tim orbitama mogli su da objedine funkcije presretanja komunikacionih i elektronskih signala (COMINT/ELINT).

Druga generacija satelita SIGINT imala je kodirani naziv Canyon, a prvi je lansirao 1968. godine. Do 1977. godine izvršeno je 6 uspešnih lansiranja. Sateliti Canyon imali su masu oko 270 kg i okruglu antenu prečnika 10 m, što im je omogućilo da presreću signale koje su slali prijemnim stanicama na Zemlji na obradu i analizu. Njihov vek iznosio je od 5 do 7 godina, a koristili su tzv. kvazistacionarnu orbitu na visinama od 30 000/33 000 do 39 000/42 000 km, sa nagibom od 3 do 10°. Prednost tih orbita ogledala se u mogućnosti kontrole znatno šireg područja i preciznog lociranja položaja predajnika merenjima iz različitih tačaka na orbiti.

U SAD je razvijan i program satelita Rhyolite, mase oko 680 kg sa antenom prečnika 20 m. Bili su namenjeni za presretanje mikrotalasnih komunikacionih veza nad teritorijom bivšeg SSSR-a. Uhvaćeni signali slati su na analizu u zemaljske prihvatne stanice razmeštene na teritoriji SAD, Velike Britanije (Menwith Hill) i Australije (Pine Gap). Između 1970. i 1978. godine lansirana su četiri satelita ovog tipa.

Osamdesetih godina u SAD je uvedena i druga generacija geostacionarnih satelita za prikupljanje obaveštajnih podataka – Chalet i Vortex i Magnum i Orion. Ovi sateliti su imali znatno veću masu i gabarite, a prečnik antene iznosio je 30 i 45 m. Sredinom devedesetih godina u upotrebu je uvedena najnovija generacija satelita SIGINT – Mercury i Mentor, sa antenom prečnika preko 100 metara.

Početkom sedamdesetih godina SAD je lansirao satelite za prikupljanje obaveštajnih podataka u visokoelipsoidne orbite, odakle je bilo moguće efikasno kontrolisati visoko područje severne geografske širine i presretati radio-sig-nale sovjetskih komunikacionih satelita Molnija. Od polovine devedesetih godina te satelite zamenili su efikasniji modeli Trumper.

Prvi sovjetski satelit Celina-O uveden je u operativnu upotrebu 1972. godine. Od 1984. zamenjuje ga novi model Celina-D, koji spada u klasu „teških“ satelita. Sistem čini 6 satelita koji se kreću na visini između 400 i 600 km, pod nagibom od 81,2°. Nova generacija ruskih obaveštajnih satelita Celina-2 kodne oznake Kosmos 1603, u operativnu upotrebu uvedena je 1984. Satelit je lansirao pomoću rakete-nosača Proton, a sistem

je postao operativan 1988. Opremljen je sistemom za prijem radio-signala, a prikupljene podatke stanici na Zemlji šalje preko relejnih satelita. Poslednje lansiranje tog satelita obavljeno je 2000. godine.

Sateliti za kontrolu okeana

Posebnu varijantu satelita za prikupljanje obaveštajnih podataka čine sateliti za kontrolu okeana. Prvi satelitski sistem tog tipa jeste američki sistem NOSS (Naval Ocean Surveillance System) razvijen za potrebe ratne mornarice. Poznat je i pod nazivima White Cloud, Cllasic Wizard ili Parcae. Sistem su činili glavni satelit i tri podsatelita koji se kreću po precizno programiranim orbitama. Mesta izvora elektronskih signala otkrivaju na pasivan način, pomoću tzv. časovne razlike dolaska (prijema) signala koji pretpostavlja precizno kretanje satelita na određenom rastojanju sa međusobnim komuniciranjem. Jedan podsatelit ima vrlo široko polje osmatranja, drugi određuje približni položaj predajnika, a treći precizno locira mesto predajnika, a time i položaj neprijateljevog broda. Dobijene koordinate sateliti prosleđuju prihvatnim stanicama i sopstvenim brodovima.

Savremeniji satelitski sistemi za kontrolu okeana su NOSS-2, SB-WASS (Space Based Wide Area Surveillance System) i Ranger. Sistem NOSS-2 omogućava ratnim brodovima upotrebu protivbrodskog naoružanja dalekog dometa (npr. krstarećih raketa Tomahawk BGM-109B) protiv ciljeva koji se nalaze izvan horizonta i dometa brodskih i helikopterskih radara. Sistem NOSS-2 sastoji se od četiri satelita koji se kreću u orbiti na vi-

sini od oko 1000 km i pod nagibom od 63°, što omogućava kontrolu svih područja između 40° i 60° geografske širine trideset puta dnevno, kao i kopnenih područja površine od oko 3500 km². Sateliti NOSS-2 lansirani su u periodu od 1990. do 1996. godine. Septembra 2001. godine lansirani su satelit oznake USA 160 za koji se pretpostavlja da je usavršeni satelit tipa NOSS-2.

Prvi sovjetski satelitski sistem za preciznu kontrolu položaja neprijateljevih brodova MKRT razvijen je 1961. godine. Sastojao se od dva podsistema – jedan je činila mreža pasivnih satelita US-P (Upravljaemij Sputnik – Pasivnij), koji su presretali radio i radarske signale neprijateljevih brodova; drugi, US-A (Upravljaemij Sputnik – Aktivnij), svojim radarom aktivno je tragao za neprijateljevim ratnim brodovima koji su koristili potpunu radio-tišinu i ostajali „nevidljivi“ za prvu vrstu satelita US-P. Sateliti US-A su koristili jače izvore energije zbog čega su opremani nuklearnim generatorima (31,1 kg 90%-tnog obogaćenog U-235). Posle isteka životnog veka sateliti su upućivani i u takozvane orbite za odlaganje, na visinu iznad 1000 km. Sateliti US-P i US-A postali su operativni 1971. godine, a njihov osnovni nedostatak bila je nedovoljna pouzdanost, odnosno česte neispravnosti. Nakon 33 lansiranja ove satelite od 1993. godine zamenjuju usavršeni modeli US-PM i US-PU čiji je vek bio od 18 do 24 meseca. Uobičajeno je da se sistem sastoji od tri do četiri satelita u orbitama sa međusobnim uglom kretanja od 120°, na visini od oko 410 km i pod nagibom od 65°. Poslednja dva lansiranja obavljena su decembra

1999. godine (Kosmos 2367) i decembra 2001. godine (Kosmos 2383).

Vojni sateliti, zajedno sa kopnenim kontrolno-prijemnim stanicama, kosmodromima za lansiranje, raketama-nosači-

ma i korisnim (upotrebnim) teretom čine sastavni i neizbežni deo savremenog elektronskog bojišta, bez kojih je nezamislivo izvođenje vojnih operacija.

S. Arsić





tehničke novosti i zanimljivosti

RAKETA ASRAAM UVEDENA U NAORUŽANJE*

Raketa ASRAAM (Advanced short range air to air missile – unapređena raketa vazduh–vazduh kratkog dometa) nedavno je uvedena u naoružanje britanskog RAF, uprkos nesuglasicama ministarstva odbrane i proizvođača. Prvi avion koji će biti opremljen ovom raketom je Tornado F3 da bi zatim raketa bila instalirana i na ostale tipove aviona, kao što su Harrier, Sea Harrier i Eurofighter-Typhoon.

S. V.

<<<◇>>>

IZVIDAČKO VOZILLO BEZ POSADE**

Odeljenje za tehnologije izvidanja, osmatranja i akvizicije cilja, iz Laboratorije za ratna dejstva mornarice SAD, provelo je limitirane tehničke probe prvog kompletnog prototipa pokretnog zemaljskog senzorskog sistema Dragon Runner, koji se koristi bez posade.

Dragon Runner, sa senzorskim sistemom mase 7,26 kg i dovoljno malim dimenzijama da se može smestiti u mornarički patrolni paket, projektovan je za manje jedinice mornarice i radi obezbeđenja podataka o situaciji i mogućnostima zaštite tehničkih jedinica u urbanim uslovima.

Sistem Dragon Runner ima mogućnost vidljivosti u realnom vremenu „iza ugla“, a za vreme svog „stražarskog“ posla koristi ugrađene pokretne senzore.

Ovaj sistem je pokazao izuzetnu postojanost za vreme ispitivanja. Za manje od devet meseci razvijeno je vozilo koje je funkcionalno čak i kada se ispusti sa visine od 4,267 m (14 feet). U toku ispitivanja vozilo je ispušteno preko 40 puta a da to nije uticalo na njegove funkcionalne mogućnosti. Ukupno 12 sistema Dragon Runner biće izrađeno za potrebe demonstracije i eksperimentisanja na predstojećoj vežbi Millennium Dragon 02 koja će se održati ovog leta u Kaliforniji.

M. K.

<<<◇>>>

* Prema podacima iz časopisa Air Forces Monthly 3/2002.

** Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 29. april 2002.

ISPITIVANJE AVIO BOMBE JDAM*

Vazduhoplovne snage SAD uspešno su ispitale let Boeingove avio bombe MK-82, mase 227 kg, tipa JDAM (Joint Direct Attack Munition).

Lansirana iz aviona F-16, sa visine 6096 m (20 000 feet) i sa udaljenosti 6 milja od cilja, bomba se kretala tačno po planiranoj putanji leta i direktno pogodila cilj.

Vazduhoplovne snage su dodelile 45 miliona dolara kompaniji Boeing za razvoj, konstrukciju i proizvodnju ove municije još u septembru 2000. godine. Program letnih ispitivanja započeo je decembra 2000. godine.

Program testiranja provoden je na avionima F-16 uz naknadno prilagodavanje za avione B-2 ratnog vazduhoplovstva i F/A-18 ratne mornarice.

Ova, manja verzija municije JDAM povećava borbene mogućnosti time što omogućava da se više bombi utovari na jedan avion i smanji šteta oko naznačenog cilja zbog manje bojne glave. Ranije projektovani kompleti JDAM za bojne glave od 908 kg (MK-84 i BLU-109), razvijani su i za bojne glave od 454 kg MK-83 i BLU-110.

Kompleti za vođenje MK-82 zajednički su za sve varijante JDAM, a obuhvataju računari, navigacionu jedinicu i satelitski prijemnik. MK-82 JDAM i sklopovi bombi za avion B-2 biće na raspolaganju 2004. godine.

Kompanija Boeing, u saradnji sa evropskim proizvođačem naoružanja MBDA, nudi komplet vođenja MK-82

JDAM, kao sistem za opremanje precizno vođenih bombi za vazduhoplovne snage Velike Britanije, o čemu će se odlučivati decembra 2002. godine.

M. K.

<<<◇>>>

NIŽE CENE BOMBI JDAM*

Boingov pogon koji izrađuje bombe JDAM (Joint Direct Attack Munition), proizvodni je centar revolucionarnog oružja vazduh-zemlja. Interesantno je da na proizvodnoj liniji, koja mesečno proizvede 600 kompleta JDAM, radi samo 11 radnika u smeni. Proizvodnja je u stalnom porastu dok je cena dodatnog kompleta JDAM kojim se opremaju klasične avio bombe, u konstantnom opadanju. Tako je cena kita za bombu Mk84 1992. godine bila 40 000 dolara da bi danas bila 20 000 dolara. Takođe ova cena svedoči i o tome koliko je JDAM finansijski pristupačniji u odnosu na većinu drugih precizno vođenih oružja.

U navedenim operacijama u Avganistanu, od dosad upotrebljenih 18 000 ubojnih sredstava, 10 000 je bilo u kategoriji precizno vođenih, od čega su 5000 bili JDAM projektili. Poredeći operaciju Pustinjska oluja iz 1991. godine sa sadašnjim dejstvima, istaknuto je da su američke snage 1991. godine imale 3000 avio-poleta dnevno (sa 9% preciznih sredstava), a u Avganistanu samo 200, sa istim efektima. To je omogućeno mnogo većim procentom upotrebe „pametnog“ oružja, naročito JDAM.

* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 29. april 2002.

* Prema podacima sa Interneta www.janes.com 8. april 2002.

U skoroj budućnosti JDAM će biti integrisan i na bespilotnu letelicu X-45 UCAV, a očekuje se i početak izvoza prvih serija.

S. V.

<<<◇>>>

ISPORUČENO PRVO BORBENO VOZILO STRIKER*

Američka armija je aprila 2002. godine preuzela prvo novo borbeno vozilo tipa Striker (Stryker).

Striker bi u budućnosti trebalo da bude osnovno vozilo novih formacija američke armije, nazvanih Privremeni brigadni borbeni sastavi (tzv. IBCT – Interim Brigade Combat Team). Planirana je kupovina preko 2000 ovih vozila, kojima će u sledećoj dekadi biti opremljeno šest brigadnih borbenih sastava.

Striker će karakterisati veća vatrena moć i bolja oklopna zaštita od vozila koja su sada u sastavu lakih divizija američke vojske. Prema prvim izveštajima konstruktori su imali problema sa prekoračenjem mase vozila koja prema zahtevima ne sme da prede 17250 kg. Masa je ograničena radi kompatibilnosti i mogućnosti prevoženja transportnim avionima C-130. Kompromis je postignut drugačijim rešenjem oklopne zaštite.

Novo oklopno vozilo točkaš prvi je veći borbeni sistem ove kategorije koji je kupila američka armija u poslednjih 14 godina. Prethodno takvo sredstvo bilo je borbena vozila Bredli. Kada krene puna serijska proizvodnja u pogonima fabrike General Motors – GDLS Defense Group,



Borbena vozila Striker

Striker će se izrađivati u 10 varijanti i produkciji od 50 vozila mesečno. Šasija svih varijanti biće identična, čime će biti olakšano održavanje.

S. V.

<<<◇>>>

RAZVOJ NOVOG RUSKOG LOVCA*

Ruska vlada je aprila ove godine izabrala biro Suhoj za nosioca razvoja novog ruskog lovca. Vrednost projekta procenjuje se na 1,5 milijardi dolara, mada još uvek nije definisano ko će biti finansijer. Od Suhoja se očekuje da do 2003. godine predstavi koncept novog lovca, da bi zatim on poleteo 2006. godine, odnosno ušao u serijsku proizvodnju 2010. godine. Novi avion trebalo bi da zameni lovce četvrte generacije tipa Su-27 i MiG-29. Očekuje se da cena serijskog primerka novog lovca pete generacije bude između 35 i 40 miliona dolara. Potrebe domaćeg tržišta iznose oko 500 vazduhoplova.

S. V.

* Prema podacima sa Interneta www.defense-aerospace.com

<<<◇>>>

* Prema podacima sa Interneta www.defence-data.com 4. april 2002.

TESTIRANJE AVIONA Su-30KN*

Rusko vazduhoplovstvo uspešno je ispitalo još jednu u nizu podvarijanti aviona Su-30, označenu kao Su-30KN. Najznačajnija nadogradnja u odnosu na prethodne avione je u sistemu za upravljanje naoružanjem, čija je tipska oznaka SUV-30K. U poligonskim ispitivanjima opravdao je očekivanja.

Tokom testiranja lansirano je 15 raketa i odbačeno preko 10 bombi, radi uništenja kopnenih i površinskih meta.

Rusko vazduhoplovstvo planira da u periodu od 2002. do 2004. godine adaptira 30 letelica tipa Su-27UB/Su-30 na standard ove podvarijante, i to 8 u 2002, 10 u 2003. i 12 u 2004. godini.

S. V.



ISPORUKA RUSKIH AVIONA TIPA AWACS INDIJI**

Rusija će uskoro isporučiti Indiji tri aviona tipa AWACS, opremljenih sistemom za rano radarsko upozorenje i navođenje iz vazdušnog prostora. Na strukturu transportnog aviona Il-76 biće instaliran savremeni radar izraelske proizvodnje tipa Falkon. Vrednost ovog ugovora iznosi oko milijardu dolara, a nosilac posla je ruska kompanija OAO Beriev-Taganrog.

S. V.

MiG-29 ZA POLJSKU ARMIJU*

Poljska je krajem januara 2002. godine, za simboličnu sumu od jednog eura, od Bundesvera nabavila 23 aviona MiG-29 koji su nekada pripadali vazduhoplovstvu DR Nemačke. Jedanaest aviona prilagođeni su NATO standardu dok će se ostatak radarima i ostalom opremom modernizovati u Poljskoj. Poljsko vazduhoplovstvo u svom sastavu već ima 22 aviona ovog tipa.

S. V.



PREDSTAVLJANJE HELIKOPTERA BELL UH-1Y**

Decembra 2001. godine firma Bell Helicopters prikazala je prvi primerak nove verzije višenamenskog helikoptera UH-1, oznake UH-1Y. U narednom periodu firma bi za potrebe Marinskog korpusa trebalo da na osnovu ove varijante nadgradi 100 helikoptera UH-1 i 180 jurišnih helikoptera tipa AH-1W na nivo AH-1Z.

Glavni cilj ovog programa poboljšanja jeste unifikacija što većeg broja komponenti helikoptera, kako bi sistem održavanja bio jednostavniji i jeftiniji. Tako će helikopteri UH-1Y i AH-1Z, pored ostalog, imati iste motore (tip GE-T700), sklopove glavnog i repnog rotora, elektroinstalaciju i hidrosistem. Ukupna vrednost ovog posla, kojim Marinski korpus završava svoju helikoptersku flotu procenjuje se na 4,5 milijardi dolara.

S. V.

* Prema podacima iz časopisa Nezavisimoye Voennoye Obozreniye, 18. 1. 2002.

** Prema podacima iz RIA Novosti, 17. 1. 2002.

* Prema podacima iz RIA Novosti, 29. 1. 2002.

** Prema podacima sa Interneta www.defence-data.com

PREMIJERNO PRIKAZIVANJE EUROCOPTER EC 145*

Na izložbi HeliExpo 2002, održanoj u Orlandu u Floridi, Eurocopter je prikazao svoj novi proizvod, dvomotorni EC 145. Helikopter EC 145 je radikalno prerađeni BK 117 C-1, a rezultat je saradnje sa japanskim proizvođačem Kawasaki.

U poređenju sa helikopterom C-1, maksimalna poletna masa EC 145 je povećana sa 3350 kg na 3585 kg, dok masa korisnog tereta iznosi oko 1770 kg. Teretni prostor je veoma komforan i može biti prilagođen za različite namene. U putničkoj konfiguraciji može da prevozi 10 osoba (pilot i devet putnika). Dužina kabine je povećana sa 2,56 na 2,96 m, a širina za 18 cm, tako da sada iznosi 1,39 m. Velika bočna, kao i zadnja vrata omogućavaju lak pristup kabini.



Eurocopter EC 145

Helikopter EC 145 odlikuje i nizak nivo buke, pa će moći da se koristi i za civilne svrhe. Očekuje se da će najveći kupci ovog tipa helikoptera biti policij-

ske snage i druge specifične organizacije, kao što su civilna zaštita, službe traganja, spasavanja, medicinske evakuacije i sl.

S. V.



ZAVRŠETAK RAZVOJA LOVCA- -BOMBARDERA JH-7A*

Izvori iz kineske Xian Aircraft Company (XAC) obelodanili su da je prošle godine uspešno završen razvoj nove verzije lovca-bombardera oznake JH-7A. Razvijen prema specifičnim zahtevima, avion JH-7A će tokom ove godine izvesti niz opitnih letova. Nova verzija bi u sastav kineskih vazduhoplovnih snaga trebalo da bude uvrštena 2004. godine.

Avion JH-7A pogone dva licencno proizvedena motora Rolls-Royce Mk 202 Spey. Sistem održavanja potpuno je kompatibilan sa postojećom flotom aviona JH-7 starijih serija. Novu varijantu JH-7A karakteriše veći oslonac na rusku tehnologiju, što se posebno odnosi na integrisanje pojedinih oružnih sistema kao što su protivradarska raketa H-31P (AS-17 Krypton) i laserski vođene bombe tipa KAB-500.

Spoljni izgled aviona razlikuje se od prethodnog utoliko što su uklonjena dva vingleta i što je povećan broj podvesnih tačaka naoružanja sa sedam na jedanaest. Ova karakteristika pripisuje se većoj primeni kompozitnih materijala u konstrukciji aviona. Avionski sistem upravljanja unapređen je četvorostrukim (umesto trostrukog) fly-by-wire sistemom, dok je

* Prema podacima sa Interneta www.defence-data.com

* Prema podacima sa Interneta www.janes.com 15. april 2002.

avion dodatno opremljen i pulsno-doplerskim radarom JL-10A Shen-Ying.

S. V.

<<<◇>>>

RASHODOVANJE ČEŠKIH LOVACA-BOMBARDERA Su-22*

Republika Češka rashodovala je posljednjih deset lovaca-bombardera tipa Su-22, poznatih po NATO kodifikaciji kao Fitter (Monter). Ovim korakom odbrana češkog vazdušnog prostora prepuštena je floti od osam aviona tipa MiG-21, od čega su samo četiri operativna. Češka je proteklog oktobra već izbacila iz upotrebe 13 aviona Su-22, zbog toga što je procenjeno da su struktura i zmaj tih aviona u lošem stanju. Iz istih razloga tokom 2000. godine iz upotrebe su izbačeni i lovci MiG-23.

Smatra se da će preostali lovci MiG-21 biti u upotrebi do 2005. godine, kada bi trebalo da budu zamenjeni NATO kompatibilnim avionima. Za novi češki borbeni avion nedavno je izabran švedski Gripen. Uskoro se očekuje ratifikacija kupovine 24 aviona Gripen koji bi, ukoliko ugovor bude realizovan, bili operativni 2006. godine.

U međuvremenu RV Republike Češke oprema se domaćim borbenim avionima tipa L-159. Od poručena 72 aviona isporučeno je 36.

S. V.

DODATNA NARUDŽBA AVIONA RAFAL ZA FRANCUSKU ARMIJU*

Francusko Ministarstvo odbrane naručilo je od fabrike aviona Daso još 20 primeraka borbenih aviona Rafal. Francuskom ratnom vazduhoplovstvu pripašće dvanaest letelica, a mornarici osam. Ova narudžbina nadovezala se na osnovni ugovor iz 1999. godine, kojim je bila planirana proizvodnja 61 aviona (36 za vazduhoplovstvo, 25 za mornaricu). Tokom protekle godine isporučeno je 10 aviona, a u ovoj godini planira se isporuka još 13.



Borbeni avion Rafal

Prvi mornarički skvadron koji će biti naoružan avionima Rafal formiran je maja 2001. godine, a dva aviona Rafal već se nalaze na nosaču aviona Šarl de Gol.

* Prema podacima sa Interneta www.defence-data.com

* Prema podacima sa Interneta www.janes.com 15. april 2002.

<<<◇>>>

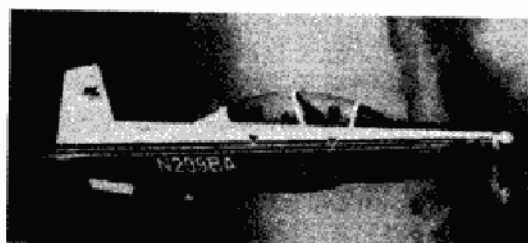
Isporučka dvoseda, poručenih krajem 2001, planira se do 2008. godine. Skvadron opremljen avionima Rafal biće aktiviran 2006. godine.

S. V.

<<<◇>>>

NAORUŽAVANJE ŠKOLSKOG AVIONA T-6A*

Raytheon Aircraft će uskoro izvesti letna ispitivanja školskih aviona T-6A Texan II, naoružanih raketnim i bombarderskim naoružanjem. Ova testiranja deo su priprema za isporuku serijskih primeraka koji će imati ugrađeno naoružanje, a koje je za svoje potrebe naručilo grčko



Školski avion T-6A

ratno vazduhoplovstvo. Od ukupno 45 kupljenih aviona 25 bi trebalo da bude u varijanti sa ugrađenim naoružanjem. Avion T-6A će u grčkom vazduhoplovstvu zameniti starije modele tipa T-37 i T-41, na kojima su se dosada obučavali grčki piloti. Ovim zahvatom predviđa se i bolja prohodnost na tržištu aviona ove kategorije.

S. V.

* Prema podacima sa Interneta www.defence-data.com

RADAR ZA LAKI BORBENI AVION AT-63 PAMPA*

Američka firma Lokid Martin (Lockheed Martin) izabrana je kao isporučilac radara za argentinski laki borbena avion AT-63 Pampa. U pitanju je radar AN/APG-67 koji će avionu omogućiti uspešnije funkcionisanje u dejstvima tipa vazduh-vazduh i vazduh-zemlja. U modovima rada vazduh-zemlja ovaj radar može da otkrije i prati stacionarne i pokretne ciljeve na zemlji. Radar istovremeno može da prati 10 ciljeva, i omogućava pilotu da i nakon označavanja cilja nastavi da ga prati bez obzira na manevrisanja sa velikim koeficijentima opterećenja. Mogućnosti radara AN/APG-67 su takve da dozvoljava i upotrebu raketa vazduh-vazduh van vizuelnog dometa (tzv. BVR projektili).

Radar AN/APG-67 se koristi i na tajvanskom lovcu IDF, a biće integrisan i na novi južnokorejski trenazno-borbena avion T/A-50.

S. V.



Laki borbena avion AT-63

* Prema podacima sa Interneta www.defence-data.com 4. april 2002.

<<<◇>>>

<<<◇>>>

ZAVRŠNA ISPITIVANJA VAZDUŠNO-REAKTIVNOG MOTORA MARC-R-282*

U firmi Atlantic Research Corporation (ARC) završeno je razvojno ispitivanje teškog vazdušno-reaktivnog motora za supersonični pomorski leteći cilj, koji se projektuje za potrebe mornarice SAD. Ovaj sistem treba da obezbedi odgovarajuće kapacitete za trenažnu flotu radi simulacije krstarećih raketa.

Orbital Sciences Corporation je prvi nosilac ugovora za sistem, a uključeni su Raytheon za raketnu avioniku i ARC za pogon. Ugovor sa ARC pokriva trogodišnji razvojni i ispitno-letni program, a uključuje opcije za dvogodišnju proizvodnju.

Motor sistema, označen kao MARC-R-282, zasnovan je na vazdušno-reaktivnom ciklusu rakete sa promenljivim strujnim protokom. U ovom programu ARC je primenio ovu tehnologiju do nivoa pogodnog za upotrebu u raketnim sistemima.

Početna ispitivanja motora MARC-R-282 omogućila su definisanje geometrije prostora za sagorevanje, formulaciju čvrstog goriva, izradu otvora za ubrizgavanje goriva i verifikaciju mogućih nivoa performansi motora. Nedavno podignuti

objekti za ispitivanje vazdušno-reaktivnih motora korišćeni su za simulacije leta na nivou mora pri brzinama većim za 2,5 puta od brzine zvuka.

Motor MARC-R-282 treba da pređe u fazu izrade pogodne za let, koji se planira za kraj sledeće godine. Tada će po prvi put biti prezentovani motori tipa VFDR (sa promenljivim strujnim protokom), što će biti značajan doprinos zahtevima za buduće programe razvoja oružanih sistema u SAD.

M. K.



RUSKI AVIONSKI MOTOR TIP LARZAK*

Serijska produkcija modifikovanih avionskih motora francuske proizvodnje tipa Larzak (Larzac) otpočeće uskoro i u Rusiji. Motor će imati za 20% veću snagu od osnovnog modela i pokretaće novi ruski školsko-borbeni avion MiG-AT.

Čitav program realizuju u kooperaciji francuska firma SNECMA i ruski Klimov. Na taj način biće zadovoljen zahtev da u avionu MiG-AT budu instalirane prevashodno komponente domaće izrade.

S. V.



* Prema podacima iz časopisa Defence Systems Daily, 7. mart 2002.

* Prema podacima iz časopisa Nezavisimoye Voennoye Obozreniye, 15. 2. 2002.

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem integralnog tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, tehnologiju, proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, kao i teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: prpratno pismo sa kratkim sadržajem članka, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U prpratnom pismu treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički priloz originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), i ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Ne treba ih lepiti, već samo naznačiti njihovo mesto u tekstu. Crteže treba raditi u pogodnoj računarskoj grafici. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike – crteža i nazive pozicija.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima VJ.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, zvanje, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopise slati na adresu: Redakcija „Vojnotehničkog glasnika“, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

REDAKCIJA

Tehničko uređenje

Mirko Obradović

Lektor

Dobriša Miletić, profesor

Korice

Milojko Milinković

Korektor

Bojana Uzelac

Cena: 140,00 dinara

Tiraž 1100 primeraka

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije, broj 413-00-1201/2001-01 od 12. 09. 2001. godine, časopis „Vojno-tehnički glasnik“ je publikacija od posebnog interesa za nauku.

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju i informacije (CVNDI)