

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Direktor

Pukovnik
SLAVKO BRSTINA

UREĐIVAČKI ODBOR

General-majordr JUGOSLAV KODŽOPELJIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)General-majordr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika)

General-majordr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.

General-potpukovnik
MILOSAV BRKIĆ, dipl. inž.

General-majordr SLOBODAN BURSAC, dipl. inž.

General-majordr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.

General-majordr MILAN UZELAC, dipl. inž.

Profesor
dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.Profesor
dr BORIVOJE LAZIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr MILENKO ŽIVALJEVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr MILAN ŠUNJEVARIĆ, dipl. inž.Pukovnik
mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
MIROSLAV ČOJBAŠIĆ, dipl. inž.
(sekretar Odbora)Pukovnik
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
mr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.Pukovnik
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

* * *

Glavni i odgovorni urednik

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

Urednik

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

Sekretar redakcije

Zora Pavličević
(tel. 23-59-258 ili 33-258)ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK – BEOGRAD, Birčaninova 5.
Pretplata: 645-020 i 23-124, žiro-račun: 40818-
637-9-6319 za VIZ/VTG, poziv na broj 963/054.
Godišnja pretplata 100,00 dinara. Rukopisi se
ne vraćaju. Štampa: Vojna štamparija – Beo-
grad, Generala Ždanova 40b.STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJEVOJNOTEHNIČKI
G L A S N I K

3-4

GODINA XLVII • MAJ-AVGUST 1999.

SADRŽAJ

Dr Žarko Barbarić, pukovnik, dipl. inž. Ljiljana Jevtić, dipl. inž.	TAČNOST POZICIONIRANJA LASEROM OZRAČE- NOG CILJA	5
Dr Slobodan Bursać, general-major, dipl. inž.	TERMALNI ODRAZ LETELICE	13
Mr Panto Maslak, potpukovnik, dipl. inž. Mr Lajoš Tot, dipl. inž. Mirko Uzelac, inž.	MOGUĆNOST I SVRHA UPOTREBE METALNIH PRO- VODNIKA U DVOBAZNIH RAKETNIM GORIVIMA .	22
Mr Ljubiša Brkić, potpukovnik, dipl. inž.	OCENA POGODNOSTI ODRŽAVANJA VOZILA SPE- CIJALNE NAMENE	31
Dr Predrag Petrović, dipl. inž.	MOGUĆA KONSTRUKCIONA REŠENJA DIZEL MO- TORA SA ASPEKTA REDUKCIJE EMISIJE BUKE ...	40
Mr Igor S. Simić, kapetan I klase, dipl. inž. Dr Aleksa J. Zejak, docent, dipl. inž.	SAW KOMPONENTE I NJIHOVE PRIMENE U OBRADI SIGNALA	50
Dr Dragan M. Knežević, potpukovnik, dipl. inž.	METOD ANALITIČKOG DEFINISANJA REPREZEN- TATIVNIH VENTILA MEHANIČKIH SISTEMA ZA ZA- ŠTITU OD PRODORA UDARNOG TALASA U UNU- TRAŠNJOST OBJEKTA	60
Dr Vlado Radić, potpukovnik, dipl. inž.	PRIMENA KOMPOZITNIH MATERIJALA U VAZDU- HOPLOVNOJ INDUSTRIJI	75
Mr Miroslav Savanović, potpukovnik, dipl. inž.	SISTEMI ZA GLOBALNO POZICIONIRANJE - VOJNE PRIMENE -	88

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

Rakete sistema PVO: ruske S-300V i američke PATRIOT - M.K.	99
Sistemi upravljanja za povećanje efikasnosti raketnog kom- pleksa - M.K.	101
Ruske „pustinjske lisice“ - M.K.	102
Nove američke rakete - V.R.	105

Problemi modernizacije tenkova – M.K.	107
Teški mehanizovani most TMM-6 – M.K.	109
Novi helikopter Ka-60 – M.K.	110
Nove mogućnosti usavršenog radara P-18 – M.K.	111
Kombinovana protiv elektronska dejstva – M.K.	113

TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

Prve probe ruskih sistema PVO S-400 – M.K.	115
Priprema proizvodnje novih raketa u Kini – M.K.	115
Najnovije švajcarske minobacačke kasetne bombe – M.K. .	116
Municija 30 mm AHEAD – V.R.	117
Modernizacija PA topova u armiji Egipta – V.R.	118
Protivtenkovski raketni sistem HOT/ATM – V.R.	118
Višenamensko stand-off oružje – V.R.	119
Inteligentni upaljači za rušenje bunkera – M.K.	120
Ruski avion MFI – V.R.	120
Povećana ugroženost helikoptera – V.R.	121
Radarski sistem HARD – V.R.	122
Modernizacija tenkova i borbenih vozila pešadije – M.K. .	122
Modernizacija tenkova T-72 – V.R.	123
Protivmimska zaštita guseničnih vozila – M.K.	124
Modernizacija oklopnih sredstava britanske armije – M.K. .	124
Ispitivanja nemačkog borbenog oklopnog vozila – M.K. .	125
Završna ispitivanja rumunsko-turskog oklopnog transportera – M.K.	126
Niskoprofilna kupola 105 mm – V.R.	127
Lako oklopno vozilo ASLAV – V.R.	128
Švedski planovi za nova oklopna vozila – M.K.	128
Modifikovano australijsko patrolno vozilo – V.R.	129
Bojne glave protiv hemijskog i biološkog oružja – M.K. .	130

Dr Žarko Barbarić,
pukovnik, dipl. inž.

Ljiljana Jevtić,
dipl. inž.

Vojnotehnički institut, Beograd

TAČNOST POZICIONIRANJA LASEROM OZRAČENOG CILJA

UDC: 623.4.023.43

Rezime:

U radu je analizirana tačnost pozicioniranja objekta (cilja) metodom laserske lokacije. Date su relacije za signale greške pozicioniranja laserom ozračenog objekta korišćenjem kvadrantne foto-diode. Izvedene su relacije za fluktuaciju signala greške pozicioniranja u funkciji odnosa signal-šum, poluprečnika spota i položaja centra spota u odnosu na centar kvadrantne foto-diode. Pored toga, izvedena je funkcija gustine verovatnoće signala greške pozicioniranja, pod pretpostavkom da je raspodela struje šuma svakog kvadranta Gausova. Iz prikazanih rezultata vidi se da preciznost pozicioniranja raste sa smanjenjem signala greške i povećanjem odnosa signal-šum.

Ključne reči: laserska lokacija, astimacija ugla, greška pozicioniranja, fluktuacija greške.

ACCURACY OF THE TARGET POSITIONING BY LASER LOCATION METHOD

Summary:

Accuracing of the object (target) positioning by laser location method is analyzed. Expressions for error positioning signals for objects illuminated by laser, are given using the quadrant photodiode. Expressions for fluctuation of error positioning signal as function of signal-to-noise ratio, radius of spot, and position of the center of spot respected to the center of quadrant photodiode are derived. Also, probability density of the error positioning signal for Gaussian noise of each quadrant is derived. The results show that the precision of the positioning grows as the signal-to noise ratio grows. Also, the positioning accuracy increases if error positioning signal decreases.

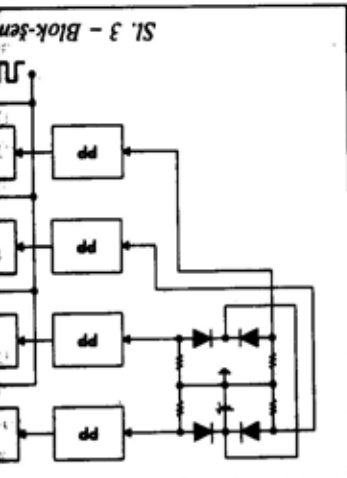
Key words: Lasers location, angle estimation, error positioning, error fluctuation.

Uvod

Laserska lokacija koristi se za precizno pozicioniranje objekata u industriji za merenja, regulaciju procesa i upravljanje objektima, za pozicioniranje satelita u laserskim satelitskim komunikacijama i vojsci za vođenje ubojnih sredstava i praćenje objekata (ciljeva). Usmerenost laserskog zračenja i osetljivost prijemnika

omogućavaju precizno merenje daljine i ugaono odstupanje prijemnika od ose laserskog snopa. Ove metode primenjuju se u građevinarstvu pri gradnji mostova i tunela [1], u vojsci za praćenje ciljeva i određivanje njihovih koordinata [2] i pozicioniranje satelita za optičke komunikacije [3].

U ovom radu je analizirana i preciznost pozicioniranja laserom ozračenog



$x_0 = d \cdot \text{tg} \beta$ i $y_0 = d \cdot \text{tg} \alpha$,
 gdje su:
 d - rastojanje ravni foto-
 od sabirnog sočiva,
 α i β - projekcije inciden-
 nja (u odnosu na normalu povr-
 dine) u vertikalnoj i horizontal-
 ni ravnini.
 Pretpostavka je da je q
 kvadrantne foto-diode formi-
 oblika kruga konstantne iradi-
 jancije πr^2 . Pod ovim
 kama, koje su skoro realne, s
 kvadranta kvadrantne foto-dio-
 dione je površinski spota ko-
 njak kvadrant. To znači da su
 nake kada se centar foto-dio-
 de sa centrom spota. Medutim,
 pomeri iz centra, struje kv
 razlikuju. Da bi se odredio p
 u odnosu na centar kvadrant

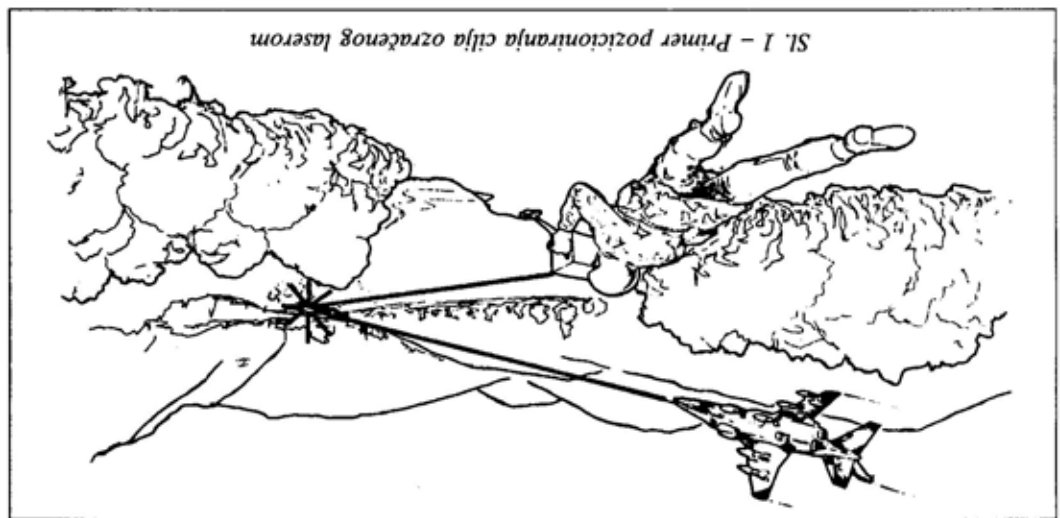
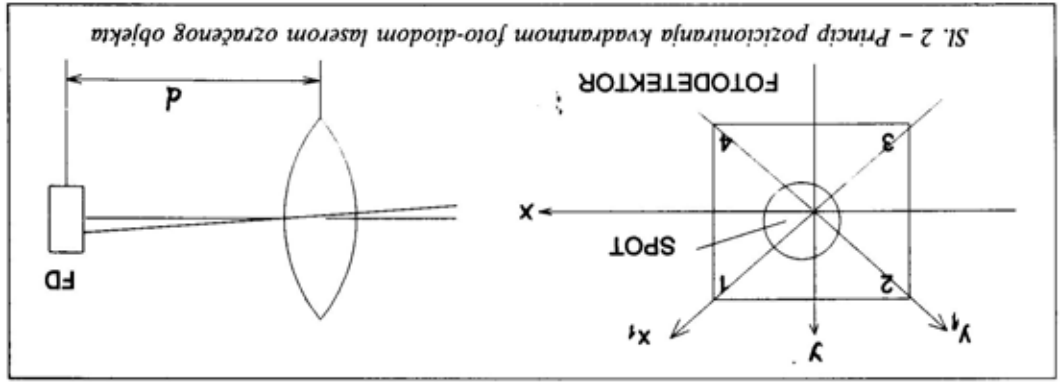
Primer primene pozicioniranja lase-
 rom ozračenog cilja prikazan je na slici
 1. Sematski je prikazan princip pozicio-
 niranja laserom ozračenog cilja na osnovu
 ranja laserom ozračenog cilja na osnovu
 prijemna i obrade reflektovanog signala
 od cilja. Laserski ozračivač formira laser-
 ski spot (eliptičnu površinu) na površini

Signali greške pozicioniranja

Prikazano je sabirno sočivo, koje
 formira spot na površini kvadrantne foto-
 diode i međusobni položaj sočiva i foto-
 diode (desno). Takođe, na slici 2 (levo)
 je prikazano na slici 2.
 Prikazano je sabirno sočivo, koje
 formira spot na površini kvadrantne foto-
 diode i međusobni položaj sočiva i foto-
 diode (desno). Takođe, na slici 2 (levo)
 je prikazano na slici 2.

Pozicioniranje objekta zasniva se na
 fokusiranju reflektovanog laserskog zra-
 čenja na prijemnoj optici i formiranju
 spota na kvadrantnoj foto-diodi, kao što
 je prikazano na slici 2.

amplitude signala greške.



objekta na osnovu prijema, detekcije i
 obrade reflektovanog signala od objekta.
 Date su relacije za signale greške pozicio-
 niranja i analizirana je preciznost pozicio-
 niranja u funkciji odnosa signal-sum i
 amplitude signala greške.

x_1, y_1 pokazuje pravce istih apsolutnih vrednosti koordinata x i y . Iz geometrije sa slike 2 vidi se da su pomaci centra spota na kvadrantnoj foto-diodi proporcionalni ugaonom položaju ozračenog objekta od centra vidnog polja prijemnika, pa važe relacije:

$$x_0 = d \cdot \operatorname{tg} \beta \quad \text{i} \quad y_0 = d \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

gde su:

d – rastojanje ravni foto-detektora od sabirnog sočiva,

α i β – projekcije incidentnog zračenja (u odnosu na normalu površine foto-diode) u vertikalnoj i horizontalnoj ravni, respektivno.

Pretpostavka je da je na površini kvadrantne foto-diode formiran spot oblika kruga konstantne iradijance E_0 na površini spota πr^2 . Pod ovim pretpostavkama, koje su skoro realne, struja svakog kvadranta kvadrantne foto-diode proporcionalna je površini spota koji pada na taj kvadrant. To znači da su struje jednake kada se centar foto-diode poklopi sa centrom spota. Međutim, kada se spot pomeri iz centra, struje kvadranta se razlikuju. Da bi se odredio pomak spota u odnosu na centar kvadrantne foto-dio-

de, odnosno izračunali signali greške pozicioniranja, potrebno je odrediti površinu spota na svakom kvadrantu.

Signali greške pozicioniranja u horizontalnoj i vertikalnoj ravni, prema slici 2, jesu:

$$\varepsilon_\beta = \frac{(i_1 + i_4) - (i_2 + i_3)}{(i_1 + i_4 + i_2 + i_3)} = \frac{i_\beta}{i_\Sigma} \quad (1)$$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{(i_1 + i_2) - (i_3 + i_4)}{(i_1 + i_2 + i_3 + i_4)} = \frac{i_\alpha}{i_\Sigma}$$

gde je struja i -tog kvadranta ($i = 1, 2, 3, 4$).

Struja i -tog kvadranta određuje se iz relacije $i_i = RqP_0$,

gde je:

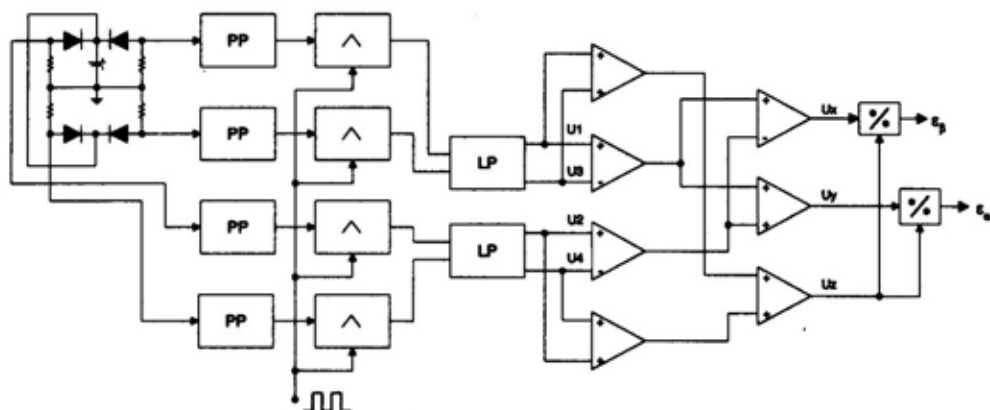
$P_0 = E_0 \pi r^2$ – ukupna optička snaga na površini kvadrantne foto-diode,

q – deo optičke snage na jednom kvadrantu u odnosu na ukupnu snagu ($1 \geq q \geq 0$),

R – faktor konverzije kvadrantne foto-diode $R = \eta q / (h\nu)$.

Struja sume je ukupna struja i iznosi $i_\Sigma = RP_0$.

Na osnovu relacije (1), na slici 3 prikazana je električna blok-šema za



Sl. 3 – Blok-šema za određivanje signala grešaka pozicioniranja

određivanje signala grešaka pozicioniranja objekta i električna kola za pojačanje signala i identifikaciju koda laserskog zračenja.

Prikazane su četiri identične diode sa opterećenjem R, četiri identična prepojačavača za pojačanje slabih signala sa kvadrantne foto-diode i ograničenje šuma prijemnika, kola za identifikaciju koda laserskog zračenja, upareni logaritamski pojačavači i električna kola za sabiranje, oduzimanje i deljenje signala. Deljenjem signala U_x i U_y sa U_z dobijaju se signali grešaka pozicioniranja ϵ_β i ϵ_α respektivno.

Postoji više modela za određivanje signala greške pozicioniranja u funkciji pomaka spota od centra foto-diode. Linearni model pretpostavlja da su površina foto-diode i spota kvadratnog oblika [4], a drugi, nelinearni model pretpostavlja kružni oblik foto-diode i spota [5]. Oba ova modela pretpostavljaju konstantnu vrednost iradijance po površini spota i konačne dimenzije spota. Drugi modeli pretpostavljaju Gausovu ili sinc raspodelu iradijance po površini foto-diode.

Signali greške pozicioniranja za kvadratni oblik foto-diode i spota dati su relacijama [4]:

$$\epsilon_\beta = \frac{x_0}{r}, |x_0| \leq r \quad (2)$$

$$\epsilon_\alpha = \frac{y_0}{r}, |y_0| \leq r$$

gde su x_0 , y_0 koordinate centra spota u koordinatnom sistemu x_0y_0 , a r poluprečnik spota, kao što je prikazano na slici 2.

Signali greške pozicioniranja za kružni oblik površine foto-diode i spota dati su relacijama [5]:

$$\epsilon_\beta = \frac{2}{\pi} \left[\frac{x_0}{r} \sqrt{1 - \frac{x_0^2}{r^2}} + \arcsin \left(\frac{x_0}{r} \right) \right]; |x_0| \leq r \quad (3)$$

$$\epsilon_\alpha = \frac{2}{\pi} \left[\frac{y_0}{r} \sqrt{1 - \frac{y_0^2}{r^2}} + \arcsin \left(\frac{y_0}{r} \right) \right]; |y_0| \leq r$$

Iz relacije (3) vidi se da svaki od signala greške pozicioniranja zavisi samo od jedne koordinate, pa je pozicioniranje jednoznačno. Vrednosti signala pozicioniranja su nula ako je spot u koordinatnom početku, rastu od maksimuma (+1) ili opadaju do minimuma (-1), što se vidi iz relacija (2) i (3). Minimalna i maksimalna vrednost i nagib krivih zavise od površine spota u odnosu na površinu kvadrantne foto-diode. Signali greške pozicioniranja približno su linearna funkcija rastojanja centra spota od centra foto-diode sve dok kompletan spot ne padne na jedan kvadrant foto-diode. Tada je signal greške konstantan sve dok deo spota ne izađe izvan površine foto-diode. Pošto se zahteva jednoznačno pozicioniranje objekta, interesantni su samo signali greške pozicioniranja dati relacijama (2) i (3). Pozicioniranje je jednoznačno sve dok se centar spota ne udalji od centra foto-detektora za veličinu r . Međutim, kada se centar spota pomeri od centra foto-diode za rastojanje veće od veličine r tada pozicioniranje nije jednoznačno, iako postoji zahvat objekta [5].

Tačnost pozicioniranja

Signali greške pozicioniranja uglavnom fluktuiraju zbog šumova kvadrantne diode i šumova u prepojačavaču prijemnika. Ove fluktuacije signala pozicioniranja izvori su greške pri pozicioniranju laserski ozračenog objekta.

Za korisnika je važno koji se minimalni pomak centra spota na foto-detektoru ne može detektovati zbog ograničene osetljivosti prijemnika. Minimalni pomaci Δx_0 i Δy_0 , koji se ne mogu detektovati zbog fluktuacije signala greške pozicioniranja, mogu se dobiti ako se odrede diferencijali izraza iz relacije (2) ili (3). Na primer, ako se iskoristi definicija signala greške (1), za kružni oblik spota i foto-diode diferenciranjem izraza (3) dobija se:

$$di_\beta = \frac{4}{\pi} i_\Sigma \sqrt{1 - \frac{x_0^2}{r^2}} \frac{dx_0}{r} \quad (4)$$

$$di_\alpha = \frac{4}{\pi} i_\Sigma \sqrt{1 - \frac{y_0^2}{r^2}} \frac{dy_0}{r}$$

Ako se promene signala pozicioniranja usled promena centra spota po obe ose izjednače sa standardnom devijacijom šuma ($di_\beta = di_\alpha = \sigma_n$), za $dx_0 = \Delta x_0$ i $dy_0 = \Delta y_0$, dobijaju se fluktuacije greške pozicioniranja:

$$\Delta x_0 = \frac{\pi}{4} \frac{r}{\sqrt{\text{SNR}}} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{x_0^2}{r^2}}} \quad (5)$$

$$\Delta y_0 = \frac{\pi}{4} \frac{r}{\sqrt{\text{SNR}}} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{y_0^2}{r^2}}}$$

gde je SNR odnos snage signala i snage šuma.

Izvedeni izrazi za fluktuaciju greške pozicioniranja po obe ose date izrazima (5), pokazuju da su direktno proporcionalne poluprečniku spota, a obrnuto proporcionalne kvadratnom korenu odnosa signal-šum u kanalu signala sume. Pored

toga, relacije (5) pokazuju da fluktuacije greške u određivanju pozicije zavise od položaja centra spota, a najmanje su kada je spot u koordinatnom početku to jest kada je greška pozicioniranja jednaka nuli i rastu sa porastom greške pozicioniranja. Pošto su pomaci centra spota na kvadrantnoj foto-diode proporcionalni ugaonim odstupanjima ozračenog objekta od centra vidnog polja prijemnika, važe relacije: $x_0 = d \cdot \text{tg}\beta$ i $y_0 = d \cdot \text{tg}\alpha$, odnosno $\Delta x_0 = d \cdot \Delta\beta$ i $\Delta y_0 = d \cdot \Delta\alpha$, gde je d rastojanje ravni kvadrantne foto-diode od sabirnog sočiva.

Efekte šuma i funkcija raspodele signala greške

Radi procene kvaliteta signala grešaka pozicioniranja ϵ_α i ϵ_β u prisustvu šuma može da se pretpostavi da je Gausova raspodela šuma na izlazu pretpojačavača svakog kvadranta. Struja šuma jednog kvadranta je:

$$i_{nq} = \sqrt{i_{n1}^2 + i_{n2}^2 + i_{n3}^2} \quad (6)$$

gde su indeksi 1, 2, 3: struja kvantnog, struja termičkog i struja šuma pretpojačavača, respektivno. Struja kvantnog (impulsnog) šuma iz svakog kvadranta zavisi od struje pozadine i struje mraka:

$$i_{n1} = \sqrt{2e(I_B + I_D)B} \quad (7)$$

gde je:

e - naelektrisanje elektrona,

I_B, I_D - struja usled zračenja pozadine i struja mraka foto-diode,

B - potreban propusni opseg električnog signala na izlazu diode.

Struja termičkog šuma na otporniku opterećenja foto-diode R je:

$$\bar{i}_{n2} = \sqrt{\frac{4k_B T B}{R}} \quad (8)$$

gde je:

k_B – Bolcmanova konstanta,
 T – apsolutna temperatura.

Struja signala svakog kvadranta foto-diode je:

$$i_{sq} = q \left(\frac{\Psi_R}{\Delta t} \right) R A_0 \quad (9)$$

gde je:

Ψ_R – gustina energije primljenog laserskog zračenja reflektovanog od cilja u (Jm^{-2}),

Δt – širina impulsa u (s),

A_0 – površina prijemne optike u (m^2),

R – faktor konverzije foto-diode u (AW^{-1}),

q – razlomak, definisan kao odnos površine spota na jednom kvadrantu u odnosu na ukupnu površinu spota.

Gustina energije na mestu prijemne optike [6] iznosi:

$$\Psi_R = \frac{Q_L \cdot \tau_{LT} \tau_{TR} \cdot \rho \cos \theta}{\pi R_{TR}^2} \quad (10)$$

gde je:

Q_L – energija lasera,

τ_{LT} – transmitivnost energije od lasera do objekta (cilja),

τ_{TR} – transmitivnost energije od lasera do prijemnika,

ρ – refleksivnost površine objekta,

$$f(u,v) = \frac{1}{2\pi\sigma_p^2} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_p^2} \cdot [(u - \bar{u})^2 + (v - \bar{v})^2]\right\} \quad (13)$$

gde je σ_p^2 varijansa obe slučajne veličine u i v i jednaka je $2\sigma_n^2$.

θ – ugao između normale na površinu cilja i linije praćenja,

R_{TR} – rastojanje od objekta do prijemne optike.

Radi analize tačnosti pozicioniranja potrebno je odrediti statističke parametre signala greške pozicioniranja, koja je zbog šuma, takođe, statistička veličina. Signal greške pozicioniranja iz izraza (1), za jedan ugao ili jednu osu, može se napisati u obliku:

$$\varepsilon = \frac{S_D + N_1}{S_S + N_2} = \frac{u - v}{u + v} \quad (11)$$

gde je:

S_D – razlika para signala za zadatu osu,

S_S – zbir signala svih kvadranta,

N_1 – rms šum koji pripada razlici signala,

N_2 – rms šum koji pripada zbiru signala.

Šumovi N_1 i N_2 su zavisni pošto su različite kombinacije šumova kvadranta. U slučaju da svaki kvadrant ima Gausov izvor šuma i_{nq} , sa srednjom vrednošću nula i varijansom σ_n^2 , tada Gausove slučajne promenljive u i v predstavljaju signale foto-diode uzete u paru, tako da je:

$$\begin{aligned} u &= \bar{u} + N_u \quad ; \quad \bar{u} - \bar{v} = S_D \\ v &= \bar{v} + N_v \quad ; \quad \bar{u} + \bar{v} = S_S \end{aligned} \quad (12)$$

Za statistički nezavisne veličine u i v iz (11) i (12) funkcija gustine verovatnoće je:

Funkcija gustine verovatnoće signala greške $f(\varepsilon)$ može se dobiti standardnim

postupkom [7], ako se uvede još jedna pomoćna funkcija $g = u$, pored $\varepsilon = \frac{u - v}{u + v}$.

Jakobijan je:

$$|J(\varepsilon, g)| = \left| \begin{array}{cc} \frac{d\varepsilon}{du} & \frac{d\varepsilon}{dv} \\ \frac{dg}{du} & \frac{dg}{dv} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{cc} \frac{2v}{(u+v)^2} & \frac{2u}{(u+v)^2} \\ 1 & 0 \end{array} \right| = \frac{2u}{(u+v)^2} \quad (14)$$

Posle zamene Jakobijana iz (14) u (13), integraljenja $f(u, v)$ po u i sređivanja, funkcija gustine verovatnoće signala greške pozicioniranja postaje:

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{|J(\varepsilon, g)|} \int_{-\infty}^{\infty} f\left(\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}g, g\right) \cdot dg = \frac{1}{2\pi\sigma_p^2} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi\sigma_p^2} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_p^2} \cdot [(u-\bar{u})^2 + (v-\bar{v})^2]\right\} \cdot \frac{(u+v)^2}{2u} du \quad (15)$$

Posle zamene iz (11) $v = \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} \cdot u$, u (15) dobija se:

$$f(\varepsilon) = \frac{\exp\left\{-\frac{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}{2\sigma_p^2}\right\}}{2\pi\sigma_p^2} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left\{\frac{u^2 - 2\bar{u}u + u^2 \frac{(1-\varepsilon)^2}{(1+\varepsilon)^2} - 2u\bar{v} \left(\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}\right)}{2\sigma_p^2}\right\} \cdot \left|\frac{2u}{(1+\varepsilon)^2}\right| du \quad (16)$$

Posle uvedene smene $B = \frac{\bar{u}(1+\varepsilon) + \bar{v}(1-\varepsilon)}{\sqrt{2}\sigma_p \sqrt{1+\varepsilon^2}}$ i $\xi = \frac{u\sqrt{1+\varepsilon^2}}{(1+\varepsilon)\sigma_p \sqrt{2}}$ i sređivanja

(16) dobija se:

$$f(\varepsilon) = \frac{\exp\left\{-\frac{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}{2\sigma_p^2}\right\}}{\pi(1+\varepsilon^2)} \cdot \exp\left(\frac{B^2}{2}\right) \left[\int_0^{\infty} (2\xi - B) \cdot \exp\left\{-\frac{(\exp(2\xi - B))^2}{2}\right\} d(2\xi - B) + \frac{4B}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{\eta^2}{2}\right) d\eta \right] \quad (17)$$

Vrednost prvog integrala u jednačini (17) iznosi jedan, pa se dobija konačan izraz za gustinu verovatnoće greške signala pozicioniranja ε :

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{\pi(1+\varepsilon^2)} \cdot \exp\left\{-\frac{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}{2\sigma_p^2}\right\} \cdot \exp\frac{B^2}{2} \cdot \left[1 + \sqrt{2\pi} \cdot B \int_0^B \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{w^2}{2}} dw\right] \quad (18)$$

Iz relacije (18) vidi se da je funkcija gustine verovatnoće greške pozicioniranja Gausovog oblika i da se menja sa amplitudom greške pozicioniranja. Amplituda raspodele najveća je kada greška pozicioniranja ϵ teži nuli, ali je standardna devijacija (širina zvonaste krive) najmanja. Sa povećanjem greške pozicioniranja amplituda raspodele opada, ali se devijacija povećava, pa se preciznost pozicioniranja smanjuje.

Zaključak

Preciznost jednoznačnog pozicioniranja ozračenog objekta zavisi od poluprečnika spota na kvadrantnoj foto-diodi i odnosa signal-šum. Ako je poluprečnik spota manji tačnost pozicioniranja je veća, ali smanjenje poluprečnika spota smanjuje oblast jednoznačnog pozicioniranja. Povećanjem odnosa signal-šum povećava se tačnost pozicioniranja, što znači da je najmanja tačnost kada je prijemnik zahvatio objekat sa maksimalnog rastojanja, i raste sa približavanjem prijemnika

ozračenom objektu. Interesantno je da je najveća tačnost pozicioniranja kada je osa vidnog polja prijemnika usmerena na objekat, odnosno kada je spot u centru kvadrantne foto-diode. Tada je fluktucija signala greške, za zadati odnos signal-šum, minimalna. Iz navedenih razloga preciznost pozicioniranja laserski ozračenog cilja ograničena je, ali se može svesti na oko 2 miliradijana (mrad), što ove sisteme čini veoma preciznim.

Literatura:

- [1] Svelto, O.: Principles of Lasers, Second Edition, Plenum Press, New York, London, 1982.
- [2] Grubor, G.: Laserska lokacija, prevod s ruskog, VINC, Beograd, 1987.
- [3] Arnon, S., Kopeika, N. S.: Laser Satellite Communication Network - Vibration Effect and Possible Solutions, Proceedings of the IEEE, Vol. 85, No. 10, 1997.
- [4] Malašin, M. S., Kominskij, R. P., Borisov, S. B.: Osnovi projektovanilazerskih lokacionih sistem. Moskva, Visša škola, 1983.
- [5] Barbarić, Ž., Vukobrat, Ž., Laka, J.: Lokacija laserskog snopa primenom kvadrantne fotodiode, Naučno-tehnički pregled, Vol. XLVI, br. 7, 1996.
- [6] William, W. L., Zissis, G. J.: The Infrared Handbook, Chapter 22, Ann Arbor, Michigan: Environmental Research Institute of Michigan, 1978.
- [7] Papoulus, A.: Probability Random Variables, and Stochastic Processes, McGraw-Hill, Kogakusha, Ltd., 1965.

Rezime:

Termalni odraz letelice modeliran je pomoću izračunavanja iradijancije na mestu posmatrača (detektora) od elementarnih površina letelice. Elementarna površina letelice je trougao, koji je opisan temperaturama temena i kosinusom ugla između normale površine u težištu trougla, i pravca ka detektoru. Vidljivost, odnosno, zaklonjenost (preklapanje) elementarnih površina kontrolisane su pomoću perspektivne transformacije objekta u ravan. Matematički model termalnog odraza letelice uključuje i uticaj atmosfere preko Programskog paketa LOWTRAN.

Ključne reči: termalni odraz, infracrveni odraz, termalna slika letelice.

AIRCRAFT THERMAL SIGNATURE

Summary:

Aircraft thermal signature has been modelled by calculating irradiance at the observer's spot (detector position) from aircraft elementary surfaces. The elementary surface is a triangle determined by its corner temperatures and the cosine of the angle between the normal surface in the angle centre of gravity and the detector direction. Visibility and overlapping of elementary surfaces are controlled using the perspective transformation of an object into the plane. The mathematical model of aircraft thermal signature also includes the atmosphere influence through the LOWTRAN software.

Key words: Thermal signature, infrared signature, thermal image of aircraft.

Uvod

Savremena borbena dejstva, vođena poslednjih desetak godina u Iraku, Bosni i SRJ, ukazuju na sve veću upotrebu pasivnih optoelektronskih senzora. Posebno mesto u navigaciji, izviđanju, vođenju i samonavođenju raketa i bombi, kao i u protivvazdušnoj odbrani, zauzima termovizija.

Pod termovizijom se podrazumeva formiranje slike scene na osnovu njenog toplotnog infracrvenog zračenja. Poznato

je da se slika scene u vidljivom opsegu talasnih dužina (0,4 do 0,7 μm) formira na osnovu refleksije prirodnih ili veštačkih izvora svetlosti od objekata na sceni. Međutim, termovizija formira sliku na osnovu sopstvenog zračenja (emisije) objekta na sceni u infracrvenom području talasnih dužina (1 do 1000 μm), a najčešće u opsegu 3 do 5 μm i 8 do 12 μm . Prema tome, fizički princip formiranja termalne infracrvene slike scene ne zahteva dodatne izvore zračenja, već detektuje i identifikuje zračenja objekata na sceni.

Pored primene u privredi, termovizija je našla masovnu primenu i u vojsci. Koristi se u navigaciji letelica, navigacijsko-napadnim sistemima vazduhoplova, tenkova i brodova, vođenju i samonavođenju borbenih sredstava (raketa i bombi) i u sistemima protivvazdušne odbrane.

U radu je analiziran termalni odraz letelica u funkciji potpuno pasivnog sistema protivvazdušne odbrane. Termovizija omogućava osmatranje vazdušnog prostora, detekciju, identifikaciju i praćenje letelica u uslovima savremenog bojišta (dan-noć, elektronsko ometanje radara i komunikacija). Radi toga je bilo potrebno modelovati termalni odraz letelica i analizirati mogućnost detekcije i identifikacije.

Modelovanje termalnog odraza letelice

Izračunavanje spektralne iradijance

Da bi se odredio termalni odraz letelice potrebno je, najpre, njenu površinu izdeliti na elementarne površine. To je najlakše uraditi tako što se površina letelice definiše koordinatama određenih tačaka, kroz koje se može provući niz linija koje obrazuju mrežu oblika četvorougla.

Međutim, četvorouglovi nisu pogodni za izračunavanje iradijance jer četiri tačke, u opštem slučaju, ne moraju da leže u jednoj ravni. Da bi se obezbedila komplanarnost tačaka koje obrazuju elementarnu površinu, svaki od četvorouglova deli se dijagonalno na dva trougla. Zatim se odrede parametri ravni u kojoj leži trougao i kosinus ugla između te normale i pravca koji obrazuju težište trougla i položaj detektora. Spektralna

iradijansa nekog trougla na mestu detektora dobija se iz izraza [1]:

$$\Delta H_{\lambda} = \Delta A_1 \cdot \frac{\cos \theta_1}{R^2} \cdot \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot \frac{\varepsilon_{\lambda}}{\exp\left(\frac{3C_2}{\lambda(T_1 + T_2 + T_3)}\right) - 1} \quad (1)$$

gde su T_1 , T_2 i T_3 temperature pridružene temenima trougla. Ukupna spektralna iradijansa dobija se kao suma spektralnih iradijansi svih četvorouglova koji se vide iz tačke u kojoj se nalazi detektor.

Perspektivna transformacija i određivanje vidljivosti elementarnih poligona

Perspektivna transformacija zasniva se na određivanju tačaka prodora pravih, koje prolaze kroz tačke na površini trodimenzionog (3D) tela i oka posmatrača, u ravan perspektivne transformacije. Ravan perspektivne transformacije je ravan normalna na duž koja spaja oko posmatrača i koordinatni početak, a nalazi se na rastojanju O_p od posmatrača.

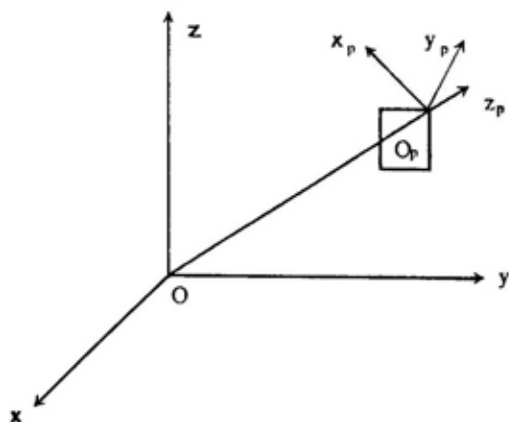
Koordinatne ose perspektivnog koordinatnog sistema određene su na sledeći način [1]:

- z_p osa se poklapa sa duži koja spaja koordinatni početak i oko posmatrača, a usmerena je ka oku posmatrača tako da se on nalazi na z osi perspektivnog koordinatnog sistema;

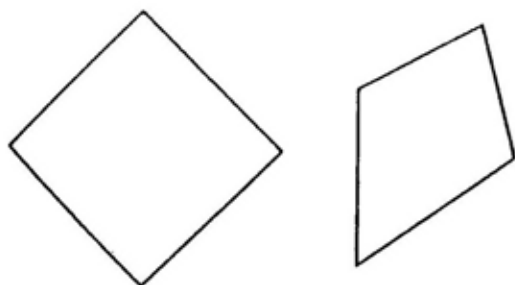
- x_p i y_p ose određene su pravilom desnog triedra (slika 1).

Koordinate tačaka u perspektivnom koordinatnom sistemu (x_p , y_p) služe za određivanje vidljivosti elementarnih poligona i zavise od rastojanja ravni perspektivne transformacije od posmatrača, od-

nosno detektora. Ovo rastojanje može se birati proizvoljno, a u računarskom programu koji je razvijen može se menjati promenom parametra „ZOOM“ kako bi se mogla prikazati perspektivna transformacija celog objekta.



Sl. 1 – Koordinatne ose perspektivnog koordinatnog sistema



Sl. 2 – Upoređivanje zaklonjenosti poligona

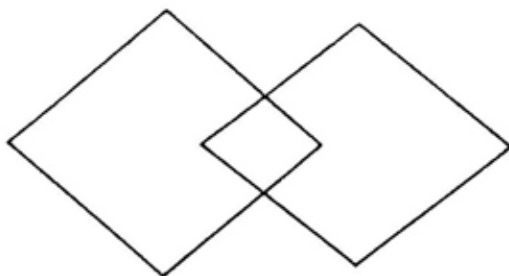
Vidljivost poligona, koji se nalazi na površini 3D objekta, određuje se primenom postupka upoređivanja zaklonjenosti poligona (slika 2).

Postupak se odvija tako što se odrede perspektivne koordinate temena poligona u perspektivnoj ravni. Nakon toga utvrđuju se parametri duži koje spajaju susedna temena poligona, a zatim se ispituje da li se neke od duži dva poligona seku.

Postoji više mogućih slučajeva. Ako među dužima koje predstavljaju stranice dva poligona nema takve dve koje se seku, pri čemu je jedna stranica jednog poligona a druga stranica drugog poligona, tada se ova dva poligona međusobno ne zaklanjaju. To može da znači da se oboja poligona vide ili da se ni jedan od njih ne vidi (ukoliko oboja zaklanja neki treći poligon). Ovaj slučaj prikazan je na slici 2.

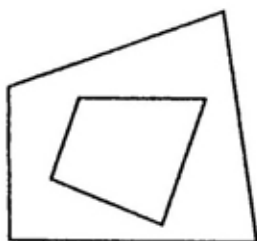
Ukoliko se pronađu duži koje se seku u ravni perspektivne transformacije, tada je jedan od poligona zaklonjen na 3D koordinate, a zatim se određuju parametri ravni u kojoj se nalazi jedan od poligona. Nakon toga pronađe se tačka na sredini stranice, koja pripada drugom poligonu, a za koju je utvrđeno da se u ravni perspektivne transformacije seče sa nekom od stranica drugog poligona. Zatim se odrede parametri prave koja prolazi kroz oko posmatrača i tu tačku, i nađe tačka prodora ove prave u ravan u kojoj se nalazi prvi poligon. Ukoliko je ova tačka bliža posmatraču od tačke na sredini jedne strane drugog poligona, tada se drugi poligon ne vidi, a prvi se vidi, i obrnuto. Ovaj slučaj prikazan je na slici 3.

Ukoliko se ne nađu dve duži koje se u ravni perspektivne transformacije seku, to još ne znači da se poligoni ne zaklanjaju.



Sl. 3 – Upoređivanje zaklonjenosti poligona

Moguće je da se jedan od poligona nalazi unutar drugog poligona, a sve to u ravni perspektivne transformacije. Tada se vidljivost određuje tako što se uzme bilo koja tačka koja pripada prvom poligonu (npr. jedno od temena ili tačaka na sredini jedne od stranica) i ista takva tačka koja pripada drugom poligonu. Zatim se odredi koja je od njih dve bliža posmatraču. Ako je to tačka koja pripada prvom poligonu, tada se on vidi, a drugi poligon se ne vidi, i obrnuto. Ovaj slučaj prikazan je na slici 4.



Sl. 4 - Upoređivanje zaklonjenosti poligona

Ceo postupak predstavlja kvadratni algoritam koji se realizuje u vidu petlje:

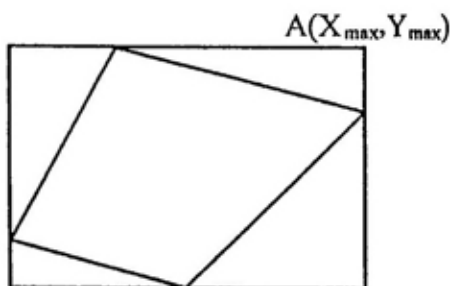
```
For l: = 1 To dim Do
For j: = 1 To dim Do
```

(2)

Ovakvi algoritmi nisu pogodni za primenu, jer povećavanje dimenzija problema za n puta produžava vreme izvršavanja za n^2 puta. Da bi se to izbeglo u postupku inicijalizacije izračunavaju se perspektivne koordinate svih temena poligona.

Zatim se za svaki poligon u ravni perspektivne transformacije odredi pravougaonik koji ga obuhvata (slika 5). Pravougaonik je definisan sa dva temena, (gore desno i dole levo), pri čemu su koordinate temena:

$A(X_{\max}, Y_{\max})$ i $B(X_{\min}, Y_{\min})$.



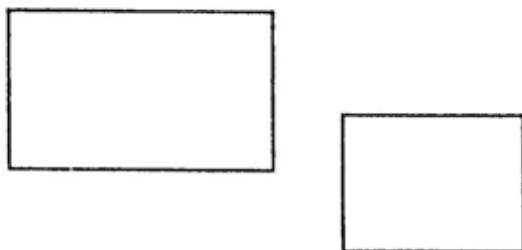
$B(X_{\min}, Y_{\min})$

Sl. 5 - Upoređivanje zaklonjenosti poligona

Ukoliko je poligon nepravilan četvougao čija su temena: $A_1(X_1, Y_1)$, $A_2(X_2, Y_2)$, $A_3(X_3, Y_3)$ i $A_4(X_4, Y_4)$, tada se temena A i B određuju na sledeći način:

$$\begin{aligned} X_{\max} &= \max(X_1, X_2, X_3, X_4) \\ X_{\min} &= \min(X_1, X_2, X_3, X_4) \\ Y_{\max} &= \max(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4) \\ Y_{\min} &= \min(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4) \end{aligned} \quad (3)$$

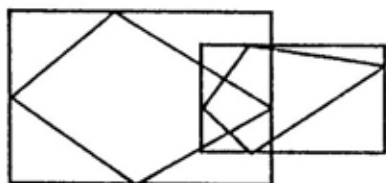
Na taj način svaki poligon je opisan pravougaonikom koji određuje jedan deo ravni perspektivne transformacije. Pre nego što se krene u postupak određivanja vidljivosti dva poligona, najpre se proveri da li se njihovi pravougaonici, koji su određeni na pomenuti način, preklapaju u ravni perspektivne transformacije. Ako nema preklapanja tada se ni poligoni ne preklapaju, jer nisu u istom delu ravni perspektivne transformacije (slika 6).



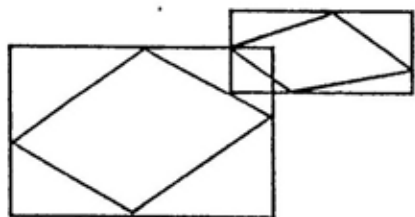
Sl. 6 - Upoređivanje zaklonjenosti poligona

Ako se pravougaonici preklapaju poligoni se mogu preklapati (slika 7), ali ne moraju (slika 8). Na taj način se za svaki poligon broj poligona za koje se sprovodi procedura, opisana na početku poglavlja, drastično smanjuje, a za ostale poligone se obavlja najobičnije upoređivanje realnih brojeva koji određuju temena pravougaonika.

Drugo ubrzanje postiže se tako što se iz unutrašnje FOR-petlje izlazi čim i-ti ili j-ti poligon promeni vidljivost (postane nevidljiv).



Sl. 7 – Upoređivanje zaklonjenosti poligona



Sl. 8 – Upoređivanje zaklonjenosti poligona

Preslikavanje ravni letelice u ravan slike

Termovizijske kamere sa sumiranjem ravni slike imaju prijemnu optiku fokusne dužine F koja preslikava ravan objekta u ravan slike [2], što je šematski prikazano na slici 9.

Na osnovu geometrije sa slike 9 važi relacija [1]:

$$A_2 = A_1 \left(\frac{F}{R} \right)^2 \quad (4)$$

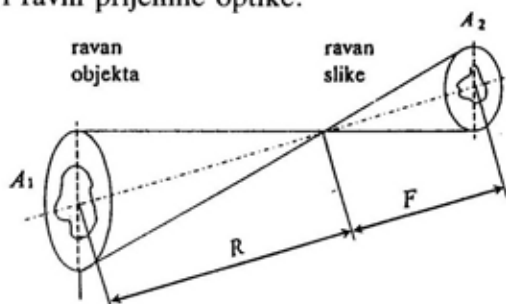
gde je:

A_1 – površina ravni objekta,

A_2 – površina ravni slike,

F – fokusna dužina prijemne optike,

R – rastojanje između ravni objekta i ravni prijemne optike.



Sl. 9 – Preslikavanje ravni objekta u ravan slike

Da bi se dobila termalna slika objekta potrebno je analizirati preslikanu ravan objekta u ravni slike. Analiza ravni slike obavlja se na dva načina: dvoosnim skeniranjem ravni slike i matičnim detektorom sa $m \times n$ elemenata.

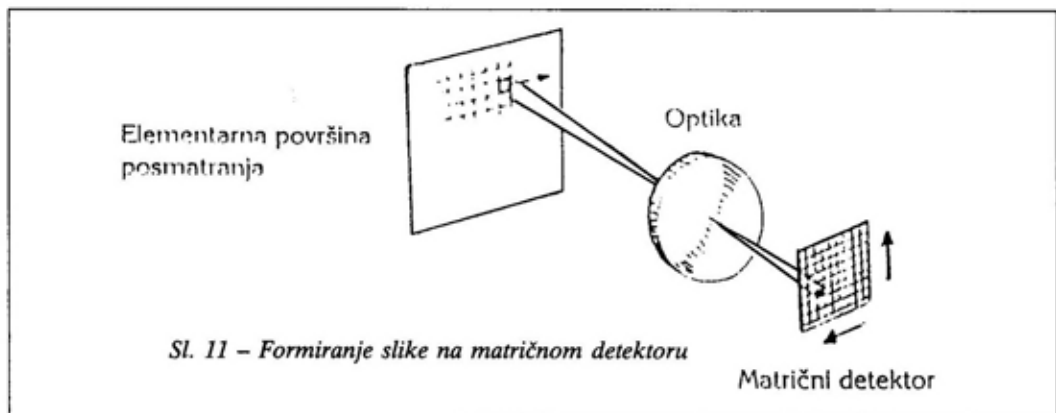
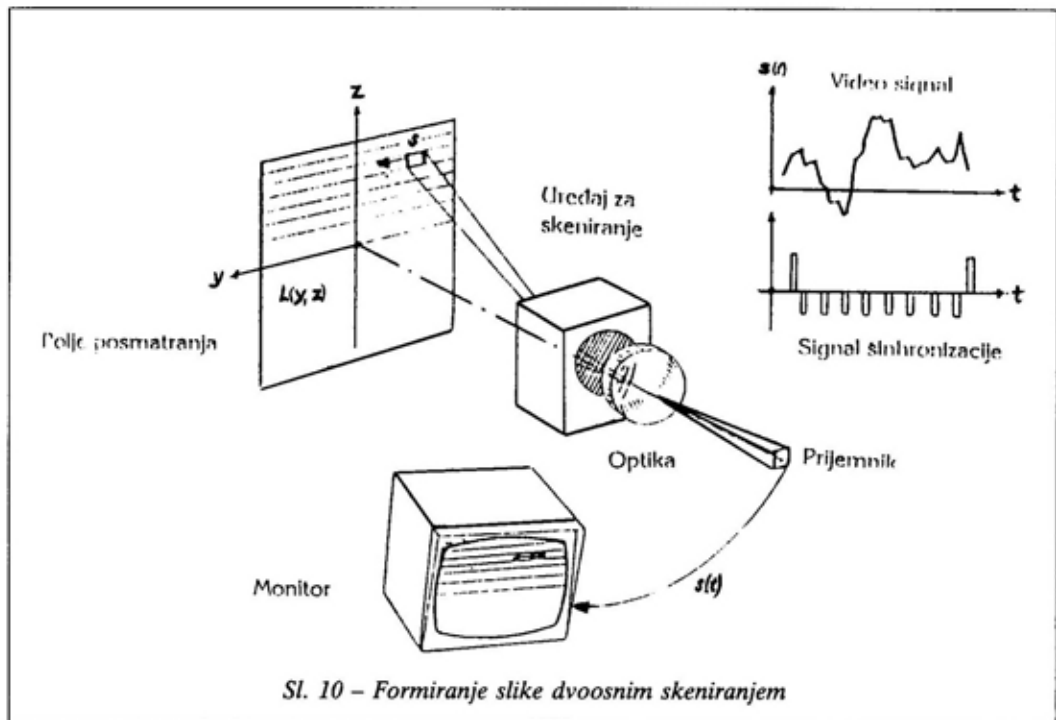
Svako elementarnoj površini letelice odgovara elementarna površina u ravni slike koja se skenira i formira signal na izlazu detektora koji odgovara jednom pikselu (tački) na termalnoj slici. Dvoosnim skeniranjem dobija se slika sa $m \times n$ tačaka.

Primer analize sa dvoosnim skeniranjem ravni slike prikazan je šematski na slici 10 [10].

Primer analize ravni slike, korišćenjem matičnog detektora, prikazan je na slici 11 [10].

Svako elementarnoj površini u ravni slike odgovara jedan element detektora koji generiše napon proporcionalan nivou određene tačke na termalnoj slici. Drugim rečima, postoji m tačaka (piksela) na jednoj liniji, a n je broj linija.

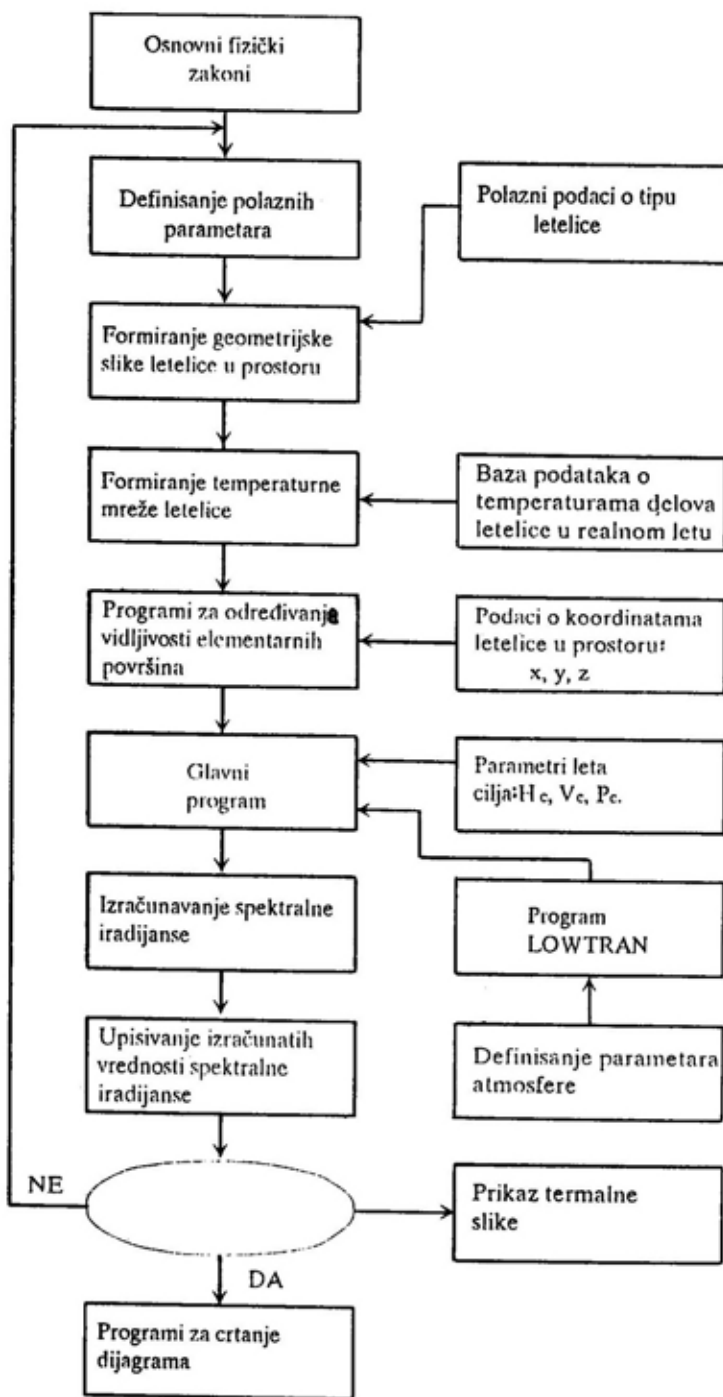
Simulacija na računaru kojom se dobija termovizijska slika razlikuje se od



simulacije u kojoj se ne traži odziv pojedinačnog detektora, po tome što se ne obavlja sumiranje doprinosa pojedinih elementarnih površina. Za svaku elementarnu površinu izračunava se iradijansa na mestu kamere prema relaciji (1), množi se spektralnim odzivom detektora i integrali u opsegu talasnih dužina u kojima je kamera osetljiva.

Termalna slika letelice dobijena matematičkim modelom

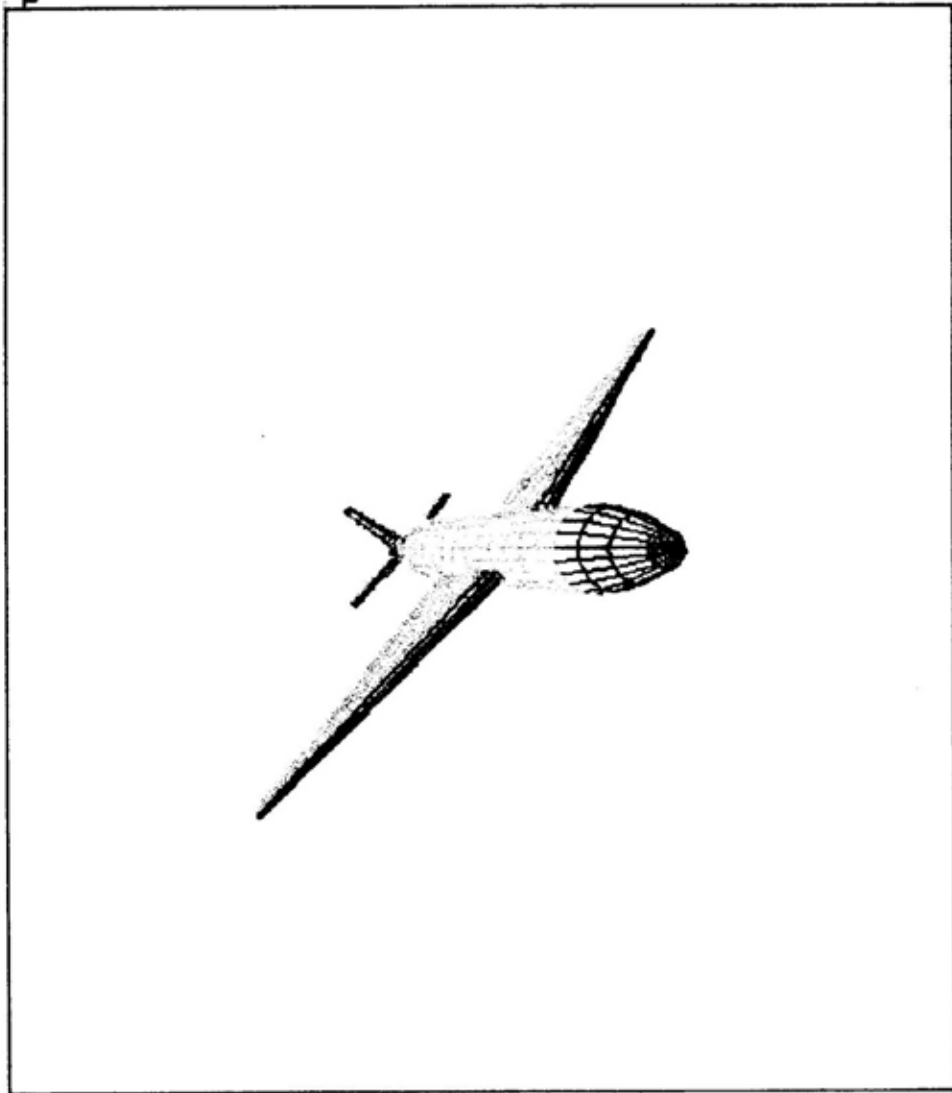
Unošenje mreže poligona na letelici obavlja se tako da se svakom elementu površine upisuje određena temperatura. Tada se osnovna konstrukciona mreža transformiše u originalne termalne slike letelice. Radi stvaranja utiska različitih



Sl. 12 – Dijagram toka proračuna za realizaciju matematičkog modela

TERMHO VISION

<ENTER> B&H



353.0

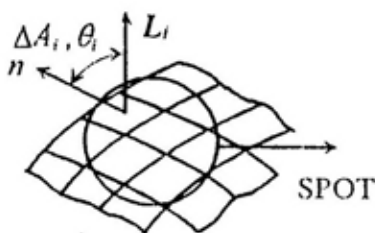
[K]

273.0

*Sl. 13 - Ter-
matna slika
letelice*

temperatura primenjena je tehnika pridodavanja određenih boja pojedinim temperaturama. Dobijene slike slične su termalnim slikama koje registruju mozaičke kamere, s tom razlikom što treba izvršiti skeniranje spotom određenih karakteristika. U okviru spota vrši se integracija doprinosa pojedinih elemenata preko sumiranja proizvoda radijance elemenata (usred njene vrednosti za element) i elementarnog prostornog ugla pod kojim se vide elementi:

$$\Delta H_{\lambda \text{spot}} = \sum_{\text{elementi}} L_{\lambda i} \frac{\Delta A_i \cos \theta_i}{R^2}$$



Dobijeni rezultat daje spektralnu iradijansu na odgovarajućem elementu detektora koji je pretvara u električni signal [2]. Pri tome se obavlja integracija spektralne iradijance u određenom opsegu talasnih dužina. Za dobijanje slike u realnim uslovima potrebno je da se, pri integraciji iradijance, na detektoru u obzir uzme i uticaj atmosfere koji ima efekat filtracije.

Dijagram toka realizacije matematičkog modela za formiranje termalnog

odraza letelice, prikazan je na slici 12. U računarskom modelu postoje razrađeni dijagrami i datoteke za više od 150 položaja letelica [1].

Mogućnosti programa (letelica-mreža) za ubeležavanje mreže poligona na letelici ilustrovane su primerom na slici 13.

Zaključak

Modelovanje termalnog odraza letelica izuzetno je značajno jer ukazuje na važne parametre za detekciju i identifikaciju ciljeva u vazдушnom prostoru. Ovaj model sličan je modelu opisanom u literaturi [3] koji je potpuno zatvoren, i nije dostupan.

Termalne slike letelica generisane opisanim modelom dobro se slažu sa rezultatima dobijenim eksperimentima.

Model termalnog odraza letelice potpuno je otvoren i može se poboljšavati unošenjem pozadine (neba) kao i zračenja izduvnih gasova letelice.

Literatura:

- [1] Bursać, S.: Istraživanje termalnog odraza letelica, doktorska disertacija, Beograd, 1995. godina.
- [2] Gaussorgues, G.: La thermographie infrarouge, prevod sa francuskog na ruski, Moskva 1988.
- [3] Onear Corporation „Pc NirATAM“ BROOKLIN, SAD 1992. godina.

Mr Panto Maslak,
potpukovnik, dipl. inž.
Mr Lajoš Tot,
dipl. inž.
Mirko Ūzelac,
inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

MOGUĆNOSTI SVRHA UPOTREBE METALNIH PROVODNIKA U DVOBAZIM RAKETNIM GORIVIMA

UDC: 621.45.07-6

Rezime:

Na osnovu prethodno razvijenog postupka dobijanja blokova dvobaznih raketnih goriva izvršena su ispitivanja unutrašnjebalističkih i mehaničkih karakteristika goriva sa i bez metalnih provodnika. Unutrašnjebalistička ispitivanja rađena su u Crawfordovoj bombi i opitnom motoru. Iz rezultata dobijenih eksperimentom vidi se da su brzine sagorevanja dvobaznih raketnih goriva sa metalnim provodnicima znatno uvećane. Najveći katalitički uticaj na brzinu sagorevanja pokazuje srebro prečnika žice 0,20 mm (uvećanje brzine od 220 do 260% u odnosu na brzinu osnovnog goriva, u opsegu pritisaka od 80 do 140 bara). Ugradnjom metalnih provodnika u dvobazna raketna goriva mogu se dobiti punjenja koja obezbeđuju veću brzinu leta i bolje manevarske karakteristike taktičkih protivavionskih i protivoklopnih raketnih sistema.

Cljučne reči: dvobazno raketno gorivo, metalni provodnik, brzina sagorevanja, katalitička aktivnost.

POSSIBILITY AND PURPOSE OF USING METALLIC CONDUCTORS IN DOUBLE BASE PROPELLANTS

Summary:

Based on preliminary developed treatment of obtaining blocks of double base propellants, examinations of internal-ballistics and mechanical characteristics of propellants with and without metallic conductors of wire configuration have been performed. Internal-ballistics examinations have been done in the Crawford-s bomb and an experimental motor. From the obtained experimental results it is clear that the combustion rate with metal conductors considerably increases. The best catalytical influence on the combustion rate shows Silver with diameter of wire 0,20 mm (enlargement rate from 220 to 260% in relation to the rate of basic propellants, in pressure interval from 80 to 140 bar). By building in metallic conductors in double base propellants filling can be obtained that ensure higher flight rate and best manoeuvre characteristics in tactical antiarmour and antflight missile systems.

Key words: double base propellants, metallic conductor, combustion rate, catalytic activity.

Uvod

Savremeni protivoklopni (PO) projektili i protivavionski (PA) taktički raketni sistemi koriste čvrstu pogonsku materiju, a rad njihovih pogonskih grupa u velikoj meri zavisi od masenog protoka

produkata sagorevanja koji se, prema zakonu o održanju mase, može prikazati kao funkcija gustine pogonske materije, površine sagorevanja i brzine sagorevanja.

Kao osnovni zahtev pogonskoj grupi vođenog PA sistema za borbu protiv

brzih i niskoletjećih ciljeva nameće se maksimalno povećanje brzine leta i manevarskih karakteristika rakete, što se može ostvariti povećanjem potiska raketnog motora, odnosno povećanjem brzine sagorevanja pogonske materije. Na osnovu podataka iz literature poznato je da se brzina sagorevanja pogonske materije može uvećati nekoliko puta, ugrađivanjem metalnih provodnika kao katalizatora gorenja.

Pošto, za sada, nismo u mogućnosti ugrađivati metalne provodnike u dvobazna raketna goriva (DRG) postupkom livenja, došlo se na ideju da se ostvari veza po spoju gorivo-gorivo, i da se dobije gorivo približnih karakteristika gorivu dobijenom postupkom ekstrudovanja. Cilj je bio da se određenim postupkom dobije gorivo sa reproduktivnim unutrašnjebalističkim parametrima, a da postupak omogućava upotrebu metalnih provodnika, prema određenom rasporedu, broju, odnosno modelu sagorevanja [5,6].

Teorijska razmatranja

Uvećanje brzine sagorevanja pogonske materije sa metalnim provodnicima – toploprovodnim elementima (TE) povezano je sa fizičkim procesom prenosa toplote. Toploprovodni elementi dobro provode oslobođenu toplotu od produkata sagorevanja ka gorivu, što dovodi do lokalnog povećanja temperature, a to uslovljava rast brzine sagorevanja oko

TE. Teorijski proračun brzine sagorevanja goriva sa TE predstavlja složen zadatak povezan sa rešavanjem više jednačina toplotne provodljivosti. Takođe, veoma je teško određivanje pojedinih parametara, kao što su: koeficijenti toplotne provodljivosti (od oslobođenih gasova pri sagorevanju pogonske materije ka provodniku), temperature pripaljivanja kondenzovanih sistema u razmatranim uslovima, nedovoljno je razjašnjena reakcija oksidacije koja se može odigravati na površini metalnih provodnika i sl. Rešenja ovih jednačina po pravilu su glomazna i nepraktična za proračun. Zato se iznalaze približni proračuni za svaki konkretni model sagorevanja. Istraživanja su sprovedena na modelu čeonog sagorevanja sa neprekidnim provodnicima paralelnim uzdužnoj osi punjenja. Za praktičnu primenu najprihvatljiviji je bio tzv. Model rasprostiranja plamena uzduž „beskonačnog“ provodnika, N. N. Bohmana i I. N. Lobanova [1], zbog njegovog dobrog slaganja sa eksperimentalnim rezultatima prema [2]. Prema tom modelu konačni oblik jednačine za brzinu plamena W , u slučaju velike brzine sagorevanja osnovnog goriva v i velikog prečnika (debljine) provodnika d glasi:

$$W = A_1 \lambda_M^{0,5} v^{m/2} d^{m/2-1} = A_1 \lambda_M^{0,5} v^{0,23} d^{-0,53} \quad (1)$$

gde je:

$$A_1 = \frac{A}{\rho_M C_M} \sqrt{(T_p - T_0)/(T_{pt} - T_0)}$$

$$A = \frac{2}{T_p - T_0} \sqrt{\lambda_g k (\rho_{ks} / \eta_g)^m (T_{pt} - T_p) \left(T_g - \frac{T_{pt} + T_p}{2} \right)}$$

v – brzina sagorevanja osnovnog goriva bez provodnika (kondenzovanog sistema);

d – prečnik provodnika;

ρ – gustina;

C – specifična toplota;

λ – koeficijent toplotne provodljivosti;
 T_0 – početna temperatura na površini kondenzovanog sistema
 T_p – temperatura provodnika;
 T_{pt} – temperatura topljenja provodnika;
 m, k – veličine iz kriterijuma sličnosti gde je $m = 0,47$; $k = 0,59$;
 η_g = viskozitet oslobođenih gasova pri sagorevanju kondenzovanog sistema.

Indeksi ks, m i g označavaju kondenzovani sistem, metalni provodnik i gasne produkte sagorevanja kondenzovanog sistema.

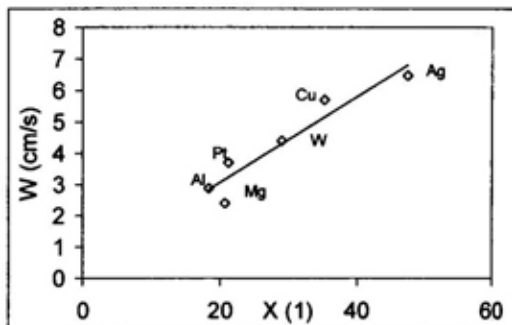
Iz jednačine (1) se vidi da W primetno raste sa umanjnjem prečnika provodnika d .

Teorijska izračunavanja brzine plamena [1] u skladu su sa objavljenim eksperimentalnim rezultatima [2].

Teorijska zavisnost brzine plamena W u zavisnosti od tipa metalnog provodnika prikazana je na slici 1, gde je koordinata X data izrazom:

$$X = \frac{1}{\rho_M C_M} \left[\frac{\lambda_M \left(T_g - \frac{T_{pt} + T_p}{2} \right) (T_{pt} - T_p)}{T_{pt} - T_0} \right]^{0,5}$$

Posmatrajući uticaj ispitivanih provodnika na brzinu plamena može se zaključiti da magnezijum i aluminijum imaju najmanji uticaj jer su temperature topljenja ovih provodnika bliske tempe-



Sl. 1 – Teorijska zavisnost brzine plamena od tipa metalnog provodnika za $T_g = 3000^\circ\text{C}$ i $T_p = 600^\circ\text{C}$ [7]

raturi površine gorenja kondenzovanog sistema. Pri temperaturi $T = T_{pt}$ dolazi do odvajanja rastopljene faze metala od provodnika, što znači da metalni provodnici kod kojih je $T_{pt} = T_p$ uopšte ne mogu uvećati brzinu gorenja pogonske materije, odnosno, proizilazi da je:

$$W_{T_{pt} = T_p} = 0$$

Međutim ako je T_{pt} oksida odgovarajućeg metala viša od T_{pt} samog metala, imajući u vidu da se na površini provodnika stvara oksidna skrama, može biti uvećana i temperatura provodnika.

Rezultati eksperimentalnih istraživanja

Osvojen je odgovarajući postupak i definisani su bitni parametri procesa. Po-

Tabela 1

Brzine sagorevanja u Crawfordovoj bombi na temperaturi 22°C goriva sastava DRG10

Gorivo	Brzina sagorevanja (mm/s) na pritiscima P (bar)							Zakon br. sa $v = bP^n$	
	80	90	100	110	120	130	140	n(1)	b(mm/s.bar)
DRG10/E	21,25	22,00	23,00	23,84	24,65	25,17	25,51	0,343	4,725
NGR10	23,40	24,30	25,20	25,30	26,00	26,30	26,00	0,200	9,890

DRG10/E – gorivo dobijeno postupkom ekstrudovanja
 NGR10 – gorivo dobijeno novim postupkom

Čvrstoća na pritisak goriva DRG10 izrađenog novim postupkom

Br. opita	Maks. čvrstoća (daN/cm ²)	Krit. čvrstoća (daN/cm ²)	Temp. (°C)
1	86,09	28,76	50
2	81,90	27,50	50
3	84,50	26,99	50
4	84,60	27,01	50
5	84,60	27,00	50
6	160,32	51,70	20
7	169,81	52,12	20

stupak je proveravan indirektnom metodom upoređenja unutrašnjebalističkih parametara goriva dobijenog na ovaj način i postupkom ekstrudovanja.

Uporedni prikaz brzine sagorevanja goriva, približno istog sastava kao gorivo DRG10, izrađenog postupkom ekstrudovanja (DRG10/E) i postupkom slepljivanja (DRG10) prikazan je u tabeli 1.

Rezultati brzine sagorevanja, prikazani u tabeli 1, predstavljaju srednje vrednosti dobijene iz pet merenja. Odstupanje od srednje vrednosti brzine sagorevanja za konkretni pritisak nije veće od 5%. Novim postupkom izrađena su i pogonska punjenja sa i bez toploprovodnih elemenata (metalnih provodnika).

Ispitivanja uticaja metalnih provodnika na brzinu sagorevanja dvobaznih raketnih goriva izvedena su dvobaznim raketnim gorivom DRG10 i provodnicima od srebra (Ag), prečnika 0,20; 0,30 i 0,40 mm, bakra (Cu) prečnika 0,15 mm i mesinga To-80 prečnika 0,22 mm.

Radi prikaza reproduktivnosti procesa (homogenost goriva) u tabeli 2 prikazane su vrednosti vremena sagorevanja goriva DRG10 sa provodnikom od mesinga To-80.

Homogenost goriva DRG testirana je i preko mehaničkih karakteristika goriva, a rezultati su prikazani u tabeli 3.

Tabela 2

Vreme sagorevanja DRG10 sa mesingom To-80

Pritisak (bar)	Vreme (s)
80	1,976
	2,077
100	1,950
	1,995
120	2,043
	2,032
140	1,838
	1,861
160	1,797
	1,724

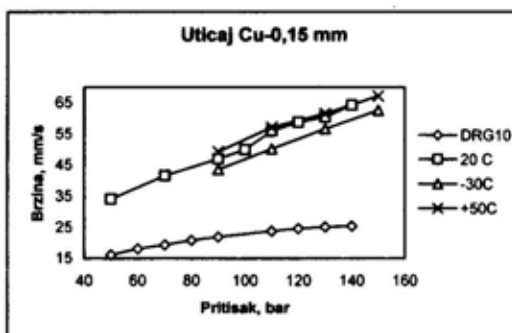
Rezultati govore da se dobija zadovoljavajući kvalitet dvobaznog raketnog goriva u pogledu unutrašnjebalističkih i mehaničkih karakteristika goriva.

Epruvete za Crawfordovu bombu pripremane su iz više uzoraka koji su rađeni prema definisanom tehnološkom postupku [5, 6].

Rezultati ispitivanja brzina gorenja u Crawfordovoj bombi prikazani su na slikama 2, 3 i 4.

Radi lakše procene uticaja pojedinih metalnih provodnika na brzinu sagorevanja osnovnog sastava goriva DRG10, prikazana je i zavisnost tzv. katalitičkog odnosa z u funkciji pritiska (slika 5):

$$z = \frac{v_p}{v}$$

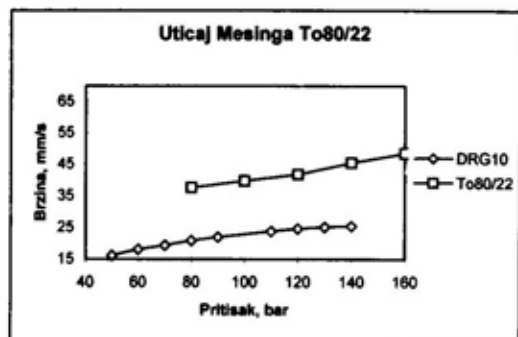


Sl. 2 – Prikaz brzina gorenja goriva DRG10 bez provodnika i sa metalnim provodnikom od bakra

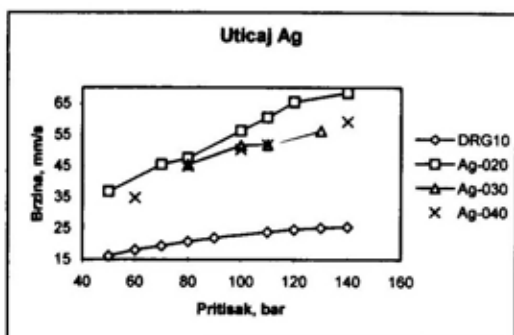
gde je:

v_p – brzina sagorevanja goriva DRG10 sa provodnikom,

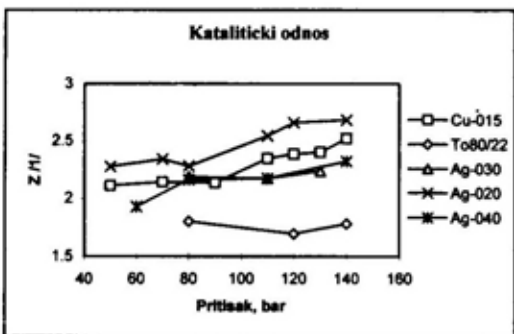
v – brzina sagorevanja goriva DRG bez provodnika



Sl. 3 – Prikaz brzina gorenja goriva DRG10 bez provodnika i sa metalnim provodnikom od mesinga



Sl. 4 – Prikaz brzina gorenja goriva DRG10 bez provodnika i sa metalnim provodnikom od srebra



Sl. 5 – Katalitička aktivnost metalnih provodnika u procesu gorenja goriva DRG

Rezultati statičkih opita u eksperimentalnom motoru NS-81 za DRG10

Br. op.	P_{sr} (bar)	V (mm/s)	T (K)	d_t (mm)
1	61	19,5	323	5
2	62	20,0	323	5
3	58	19,4	323	5
4	229	26,9	323	3,5
5	37	14,3	293	5
6	38	14,6	293	5
7	37	13,8	293	5

Pored eksperimentalnih rezultata iz Krafordove bombe, rezultati ispitivanja u opitnom motoru prikazani su u tabelama 4, 5 i 6. Sklopni crtež opitnog motora, OM-NS/81 (slika 6) namenski je konstruisan za ispitivanje goriva DRG sa metalnim provodnicima.

Oznake u tabelama imaju sledeća značenja:

P_{sr} – srednji pritisak u komori motora;

V – brzina gorenja;

d_t – kritični presek mlaznika;

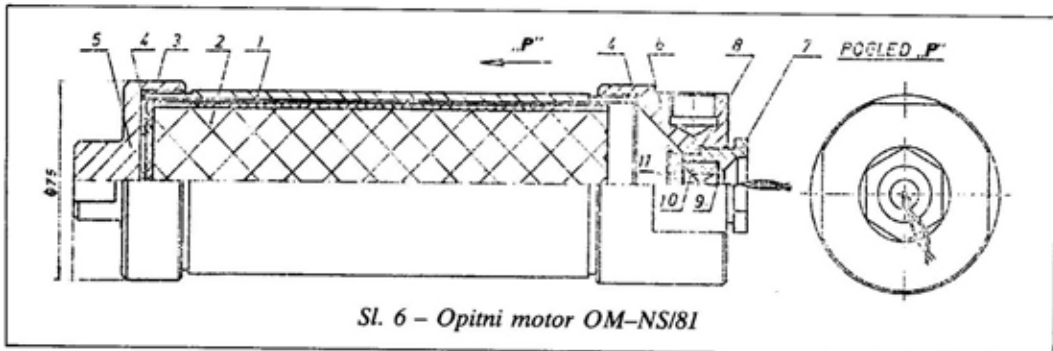
U.v.r. – ukupno vreme rada motora;

E.v.r. – efektivno vreme rada motora,

T – temperatura ispitivanja.

Pri projektovanju pogonskih punjenja posebna pažnja mora se obratiti na definisanje početne površine gorenja. Ona treba da bude proizvod βSo , gde je So početna površina gorenja pogonskog punjenja bez metalnih provodnika, a koeficijent $\beta \geq z$, gde je z – koeficijent katalitičke aktivnosti odgovarajućeg metalnog provodnika. Koeficijent β raste sa porastom parametara erozivnog sagorevanja, što nije slučaj kod čeonog sagorevanja, tako da se može usvojiti da je $\beta = z$. Izgled pogonskog punjenja prikazan je na slici 7. Dimenzije pogonskog punjenja sa bakarnim provodnikom prečnika 0,15 mm, prema proračunu, iznose u mm:

$a = 58$; $b = 40$; $c = 28$; $e = 130$; $f = 24$.



Sl. 6 – Opitni motor OM-NS/81

Tabela 5

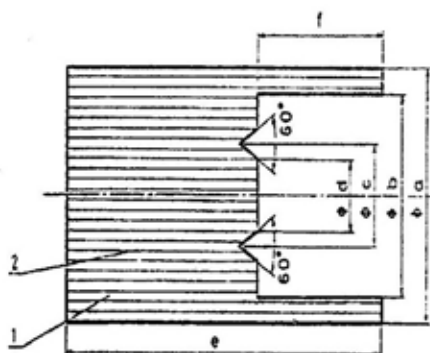
Rezultati statičkih opita u eksperimentalnom motoru NS-81 za DRG10 sa provodnikom od mesinga To-80

Br. op.	P_{st} (bar)	U.v.r.(s)	E.v.r.(s)	T(K)	V (mm/s)
1	87	4,2	3,8	293	35,5
2	91	4,1	3,7	293	36,5
3	110	4,2	3,7	293	36,5
4	92	5,1	4,5	243	30,0
5	101	4,5	3,9	243	34,6
6	59	5,6	5,2	243	26,0
7	58	4,2	3,9	313	34,6
8	53	3,6	3,3	313	41,0

Tabela 6

Rezultati statičkih opita u eksperimentalnom motoru NS-81 za DRG10 sa provodnikom Cu 0,15

Br. op.	P_{st} (bar)	U.v.r.(s)	E.v.r.(s)	V (mm/s)	T (K)	d_t (mm)
1	178	2,60	2,10	64,5	293	5,0
2	204	2,25	1,75	77,1	293	4,5
3	153	2,80	2,30	58,6	293	5,0
4	169	2,60	2,10	64,3	293	4,5
5	54	3,60	3,30	38,6	243	7,0
6	172	2,50	2,00	67,5	313	5,0



Sl. 7 – Pogonsko punjenje sa metalnim provodnicima: 1 – pogonsko punjenje, 2 – metalni provodnik

Osnovne karakteristike korišćenih metalnih provodnika

MESING

Mesingana (legura bakra i cinka) žica prečnika 0,20 mm

Fizičke osobine mesinga CuZn20:

gustina (g/cm^3) 8,65

temperatura topljenja (K) 1238–1273

temperatura isparavanja (K) 1513

toplota provodljivost pri 20°C

($J/cm*s.^{\circ}C$) 1,42

BAKAR

Bakarna žica prečnika 0,15 mm

Fizičko-hemijske karakteristike:

čistoća (%) 99,9

gustina (g/cm^3) 8,93

temperatura topljenja (K) 1356

temperatura ključanja (K) 2811

toplota provodljivost na 810 K

(W/mK) 352,904

specifična toplota na 810 K (kJ/kgK)

0,443

toplota topljenja (kJ/kg) 125

toplota isparavanja (kJ/kg) 5058

SREBRO

Srebrna žica prečnika 0,2; 0,3 i 0,4 mm

Fizičko-hemijske karakteristike:

čistoća (%) 99,9

gustina (g/cm^3) 10,49

temperatura topljenja (K) 1235

temperatura ključanja (K) 2468

toplota provodljivost na 810 K

(W/mK) 347,67

specifična toplota na 810 K (kJ/kgK)

0,268

toplota topljenja (kJ/kg) 84

toplota isparavanja (kJ/kg) 2424

Analiza rezultata eksperimentalnih istraživanja

Iz eksperimentalnih rezultata vidi se da se prikazanim postupkom mogu dobiti goriva, sa i bez metalnih provodnika, zadovoljavajućih unutrašnjebalističkih i mehaničkih karakteristika.

Brzine sagorevanja goriva DRG10 sa metalnim provodnicima znatno su uvećane. Najveći katalitički uticaj na brzinu sagorevanja pokazao je provodnik od srebra, prečnika 0,20 mm (uvećanje brzine sagorevanja 220 do 260% u odnosu

na osnovnu brzinu sagorevanja goriva u opsegu pritisaka 80 do 140 bar), a zatim provodnik od bakra prečnika 0,15 mm (slika 5). Brzina plamena, a time i brzina sagorevanja goriva, zavisi od prirode i debljine provodnika (slike 2, 3 i 4).

Ispitivanje uticaja debljine provodnika na brzinu sagorevanja praćena je na provodniku od srebra, prečnika 0,20; 0,30 i 0,40 mm. Za sada se ne može dati optimalna debljina provodnika (maksimum funkcije brzine plamena), pa treba ispitati uticaj provodnika od srebra prečnika manjeg od 0,20 mm. U ispitivanom opsegu prečnika provodnika, bolju efikasnost pokazuju goriva sa ugrađenim srebrnim provodnikom manjeg prečnika.

Analizom efekta ispitivanih metalnih provodnika na brzinu sagorevanja goriva DRG10, može se zaključiti da je najopravdanija primena provodnika od bakra i njegovih legura, pogotovo ako se ima u vidu da se do postizanja odgovarajućih unutrašnjebalističkih zahteva goriva sa provodnikom, može doći izborom provodnika, kao i prečnikom provodnika i polaznog goriva. Interesantno je da kataliza reakcije goriva DRG sa metalnim provodnicima ima suprotan trend od katalize sa balističkim modifikatorima, što se vidi iz funkcije porasta katalitičke aktivnosti sa porastom pritiska.

Goriva sa toploprovodnim elementima, koja su predmet ovog rada, interesantna su sa stanovišta njihove primene u PO i PA raketnim sistemima.

Ako se pođe od definicije specifičnog impulsa, može se uočiti da je potisak $F = I_{sp} m = I_{sp} \rho A_B v$ funkcija fizičko-hemijskih karakteristika i geometrije pogonskog punjenja, gde je:

m – maseni protok produkata sagorevanja pogonske materije;

ρ – gustina;

A_B – površina sagorevanja;
 v – brzina sagorevanja.

Za unapred izabranu pogonsku materiju I_{sp} i ρ su konstantni parametri, pa se potisak može povećavati povećanjem površine sagorevanja iil povećanjem brzine sagorevanja, što je ovde slučaj. To važi za motore čija konstrukcija ne omogućava promenu površine kritičnog preseka mlaznika u funkciji vremena.

Geometrijska konfiguracija pogonskog punjenja mora zadovoljiti niz protivrečnih zahteva:

- što veću površinu sagorevanja u neutralnom režimu rada (bez progresije ili degresije);

- što veći koeficijent zapreminske popunjenosti komore pogonskom materijom;

- što duže onemogućavanje kontakta vrelih produkata sagorevanja sa zidovima komore motora;

- što manju količinu degresivno dogorevajućih ostataka pogonske materije („sliver“).

Izbor geometrijske konfiguracije, kojom bi se povećala površina sagorevanja radi povećanja sile potiska, svodi se na neku od varijanti pogonskog punjenja sa unutrašnjim sagorevanjem. Pored svih balističkih prednosti ovakve konfiguracije, ona ima i niz nedostataka koji ograničavaju mogućnosti povećanja površine sagorevanja, a to su:

- tehnološke poteškoće izrade raznih unutrašnjih perforacija, pogotovo kod punjenja malog kalibra;

- velike dužine;

- mogućnost pojave erozivnog sagorevanja u kanalu;

- ograničena debljina svoda (zbog čvrstoće punjenja i vremena rada motora);

- pojava „slivera“ na kraju sagorevanja punjenja.

Izbor pogonskog punjenja sa čeonim sagorevanjem, koje obezbeđuje (na datom kalibru) konstantnu površinu sagorevanja, i povećanje, nekom od fizičkih ili hemijskih metoda, brzine sagorevanja, kvalitetan je način za povećanje sile potiska.

Jedna od tih metoda je ugradnja metalnih toplotnih provodnika u blok pogonske materije sa „cigaretnim“ sagorevanjem, čime se mogu postići bolje manevarske karakteristike i veća brzina leta taktičkih raketa, što je i ostvareno eksperimentima prikazanim u radu.

Zaključak

Značaj sprovedenog eksperimenta je u osvajanju postupka kojim se mogu dobiti punjenja većih prečnika nego postupkom ekstrudovanja, tako da se na ovaj način mogu ugraditi toploprovodni elementi u dvobazna raketna goriva radi značajnog uvećanja brzine sagorevanja [5, 6].

Primitan je trend smanjenja eksponenta pritiska u zakonitosti sagorevanja za gorivo dobijeno novim postupkom.

Rezultati ispitivanja brzine sagorevanja goriva sa provodnikom pokazali su da je najveći katalitički uticaj dao provodnik od srebra prečnika 0,20 mm. Uvećanje brzine sagorevanja u odnosu na brzinu sagorevanja osnovnog goriva iznosi 220 do 260% u intervalu pritiska 80 do 140 bara na temperaturi 22°C.

Može se konstatovati da je brzina sagorevanja goriva sa metalnim provodnicima funkcija materijala i debljine provodnika. Na primer, provodnik od bakra prečnika 0,15 mm ima veći uticaj na brzinu sagorevanja nego provodnik od srebra prečnika 0,40 i 0,30 mm, što je u

saglasnosti sa podacima iz [1, 2]. To ima praktičan značaj, pošto se izborom referentnog sastava većeg nivoa osnovnih brzina gorenja i manjim prečnikom provodnika od bakra mogu postići približno isti rezultati kao i sa provodnikom od srebra, cena pogonskih punjenja je znatno manja.

Eksperimentalni rezultati ukazuju na mogućnost ugradnje metalnih provodnika u dvobazna raketna goriva, čime se postižu bolje manevarske karakteristike i veća brzina leta taktičkih protivavionskih i protivoklopnih raketnih sistema.

Literatura:

- [1] Maslak, P., Lazić, Ž., Uzelac, M.: Postupak dobijanja blokova dvobaznog raketnog goriva, Naučno-tehnički pregled, VTI KoV JNA, Vol. XL., 1990.
- [2] Golub, G.: Journal of. Spacecraft, 1965., 2, 4, strana 593.
- [3] Boldorjeva, A. V. i dr.: Fizika Gorenja i Vzriva № 4, 1976., str. 502-506.
- [4] Bjelogrić, Z.: Identifikacija pogonske grupe lakog prenosnog PVO sistema STINGER, diplomski rad, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1979.
- [5] Maslak, P., Uzelac, M.: Tehnički izveštaj, TI-607, Vojnotehnički institut KoV JNA, Beograd, 1981.
- [6] Jekić, D., Zukan, Lj., Maslak, P.: Elaborat, OP-203, Vojnotehnički institut KoV JNA, 1979.
- [7] Bahman, N., Lobanov, N.: Vlijanje teploprovodašćih elemenatov na skorost gorenja, Fizika Gorenja i Vzriva, № 3, 1976.

Rezime:

Na osnovu podataka dobijenih iz eksploatacije, za motor konkretnog vozila specijalne namene izvršena je ocena funkcije pogodnosti održavanja, kao konstrukcijske karakteristike, metodom raspodele vremena trajanja postupaka održavanja kao kumulativne funkcije verovatnoće. Na osnovu dobijene ocene izvršena je analiza srednjeg vremena trajanja korektivnih održavanja, kao i ispunjavanje taktičko-tehničkih zahteva.

Ključne reči: pogodnost održavanja, postupci održavanja, sistem održavanja, vreme trajanja održavanja.

EVALUATION OF MAINTAINABILITY OF SPECIAL
PURPOSE VEHICLES

Summary:

In this work, based on data which are taken from real service for the engine of a particular vehicle, evaluation of the maintainability was carried out using the distribution method of long - lasting time of the procedure of maintenance like the cumulative function of probability. Based on the obtained evaluation the analysis of the Mean Time To Repair (MTTR) was carried out as well as the meeting the Tactical - technical requirements.

Key words: maintainability, procedure of maintenance, maintenance system, long - lasting time of maintenance.

Uvod

Pogodnost održavanja vozila jedna je od važnijih konstrukcijskih karakteristika koja se može opisati vremenima trajanja postupaka održavanja. Pogodnost održavanja predstavlja verovatnoću da će se potrebni postupci održavanja obaviti do određenog vremena pod određenim uslovima [1].

Na osnovu podataka dobijenih iz eksploatacije, za motor konkretnog vozila specijalne namene izvršena je ocena

funkcije pogodnosti održavanja kao konstrukcijske karakteristike metodom raspodele vremena trajanja postupaka održavanja kao kumulativne funkcije verovatnoće. Raspodelom vremena trajanja postupka održavanja može se opisati pogodnost održavanja kao konstrukcijska karakteristika vozila.

Teorijska razmatranja

Pogodnost održavanja je multidisciplinarna karakteristika koja je usko pove-

zana sa pouzdanošću vozila, njegovom bezbednošću, obučennošću ljudskog faktora u korišćenju i održavanju i logističkom podrškom.

Zadatak pogodnosti održavanja jeste da obezbedi maksimalnu gotovost i raspoloživost vozila uz minimalne troškove održavanja i minimalne zastoje, odnosno minimalno vreme održavanja uz minimalnu logističku podršku.

Funkcija pogodnosti održavanja izražava se preko vremena trajanja postupaka održavanja (t_0) i može se izraziti u obliku [1]:

$$F(t_0) = \int_0^t f(t_0) dt_0 \quad (1)$$

gde je $f(t_0)$ – gustina raspodele verovatnoće vremena trajanja postupaka održavanja.

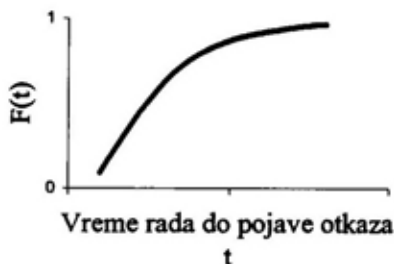
Funkcija gustine raspodele verovatnoće vremena trajanja postupaka održavanja karakteriše pogodnost održavanja sa svim njegovim uticajnim faktorima i dejstvom na održavanje vozila.

Funkcija pogodnosti održavanja izražava se kao kumulativna funkcija verovatnoće i ima isti smisao u teoriji održavanja kao funkcija nepouzdanosti u teoriji pouzdanosti, što je prikazano na slici 1 [1].

Upoređivanjem dva sistema održavanja može se zaključiti da je povoljniji onaj koji za isto vreme ima veću vrednost funkcije pogodnosti održavanja, jer se pri tom postupci održavanja sprovode za kraće vreme, što je prikazano na slici 2 [1].

Na pogodnost održavanja utiče veći broj faktora kao što su: uslovi spoljne sredine, uslovi eksploatacije, kvalitet sistema održavanja, kvalitet logističke podrške, a najveći uticaj ima unutrašnja

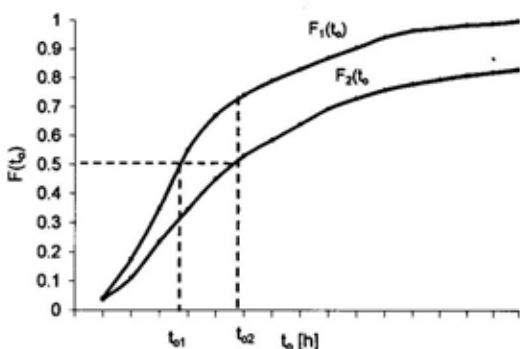
NEPOUZDANOST



POGODNOST ODRŽAVANJA



Sl. 1 – Uporedni prikaz funkcije nepouzdanosti i funkcije pogodnosti održavanja



Sl. 2 – Dijagram zavisnosti vremena održavanja od funkcije pogodnosti održavanja

(ugrađena, sopstvena) ili konstrukcijska pogodnost održavanja ili popravljivost vozila.

Konstrukcijske karakteristike vozila u pogledu pogodnosti održavanja obuhvataju one faktore koji doprinose sma-

njenju vremena zastoja i povećanju raspoloživosti vozila, a to su [2]:

- lakoća održavanja,
- svođenje zadataka preventivnog i korektivnog održavanja na minimum,
- svođenje logističke podrške na minimum, smanjivanjem broja i kvalifikacione strukture ljudstva, rezervnih delova i specijalne opreme za održavanje,
- smanjenje troškova logističke podrške.

Unutrašnja ili konstrukcijska pogodnost održavanja zavisi od unifikacije delova, sklopova i agregata vozila, standardizacije delova, pogodnosti za dijagnostiku, tehnološkičnosti, manipulativnosti, dostupnosti pojedinih agregata, sklopova i delova i vrste alata i opreme koja se primenjuje za održavanje vozila. Konstrukcijske karakteristike vozila utiču na pogodnost njegovog održavanja preko brzine sprovođenja postupaka održavanja, što je tehnološka prilagođenost vozila održavanju i podrazumeva pristupačnost mestima za održavanje, složenost operacija rasklapanja i sklapanja, itd. [3].

Konstrukcijska pogodnost vozila za održavanje predstavlja sposobnost vozila da zadrži ispravno stanje putem preventivnog održavanja, ili da se vrati u ispravno stanje putem korektivnog održavanja. Pogodnost vozila za održavanje smanjuje vreme vozila „u otkazu“ čime se povećava gotovost i raspoloživost vozila, a time i njegoa ukupna efektivnost.

Istraživanja u ovoj oblasti pokazuju da se log-normalna raspodela najčešće koristi za interpretaciju raspodele funkcije pogodnosti održavanja, kada su postupci održavanja praćeni dužim čekanjima, dok je korišćenje Vejbulove raspodele prihvatljivije kada je razlika između vremena aktivnog održavanja i ukupnog vremena u otkazu mala [1, 3].

Za utvrđivanje teorijskih raspodela kojima se mogu najbolje aproksimirati empirijski podaci koriste se dve metodologije testiranja neparametarskih hipoteza [2]: grafičke i analitičke metode.

Grafičke metode obuhvataju konstruisanje papira verovatnoće, konstruisanje histograma, konstruisanje poligona ili funkcije kumulativne raspodele.

Analitičke metode obuhvataju test Kolmogorov-Smirnova, test Hi-kvadrata ili test Pirsona, test Romanovskog, test fon Missesa i mnoge druge.

Funkcija pogodnosti održavanja $F(t_0)$ za log-normalnu raspodelu dobija se prema sledećem izrazu [2]:

$$F(t_0) = \int_0^t \frac{1}{t_0 \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t_0 - m_0}{\sigma} \right)^2} dt \quad (2)$$

Funkcija pogodnosti održavanja $F(t_0)$ prema Vejbulovoj raspodeli dobija se iz jednačine [2]:

$$F(t_0) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3)$$

Funkcija pogodnosti održavanja $F(t_0)$, prema gama-raspodeli, dobija se iz jednačine [2]:

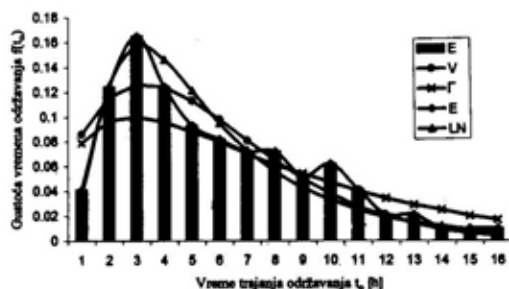
$$F(t_0) = \frac{1}{\eta \Gamma(\beta)} \int_0^t \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\frac{t}{\eta}} dt \quad (4)$$

Na osnovu podataka dobijenih iz eksploatacije za vremena korektivnog održavanja motora konkretnog vozila specijalne namene izvršice se određivanje funkcije pogodnosti održavanja kao konstrukcijske karakteristike.

Na osnovu dobijenih rezultata, a na osnovu srednjeg vremena trajanja aktivnog održavanja, proceniće se, da li navedeni motor ispunjava taktičko-tehničke zahteve date standardom SNO 1096/85.

Određivanje pogodnosti održavanja motora vozila specijalne namene

Na osnovu empirijskih podataka datih u tabeli 1, koji se odnose na trajanje pojedinih vremena korektivnog održavanja, određiće se kvantitativni pokazatelji pogodnosti održavanja motora konkretnog vozila specijalne namene, kao njegove konstrukcijske karakteristike.



Sl. 3 – Histogram i dijagrami raspodele gustine vremena korektivnog održavanja u zavisnosti od vremena održavanja

Pokazatelji pogodnosti održavanja motora dobijeni na osnovu empirijskih podataka, prikazani su u tabeli 2.

Histogram frekvencija pojavljivanja vremena trajanja održavanja, kao i raspodela funkcije gustoće vremena trajanja održavanja na osnovu empirijskih podataka, na osnovu lognormalne, Vejbulove i gama-raspodele grafički je prikazano na slici 3.

Aproksimacija empirijskih podataka log-normalnom raspodelom

Dobijena empirijska raspodela aproksimirana je log-normalnom raspodelom na osnovu koje su dobijene sledeće karakteristike statističkog skupa:

- srednje vreme trajanja aktivnog održavanja $t_{osr} = 5,5$ h,
- standardno odstupanje $S = 3,5$ h,
- srednja vrednost prirodnog loga-

Vremena aktivnog korektivnog održavanja motora

Tabela 1

Red. br. otkaza	Vreme održ.	Red. br. otkaza	Vreme održ.	Red. br. otkaza	Vreme održ.	Red. br. otkaza	Vreme održ.
1.	2,00	26.	1,00	51.	3,00	76.	8,00
2.	8,00	27.	4,00	52.	9,00	77.	4,00
3.	4,00	28.	7,00	53.	3,00	78.	2,00
4.	1,00	29.	12,00	54.	9,00	79.	3,00
5.	15,00	30.	6,00	55.	7,00	80.	11,00
6.	2,00	31.	12,00	56.	5,00	81.	5,00
7.	4,00	32.	16,00	57.	7,00	82.	10,00
8.	10,00	33.	6,00	58.	6,00	83.	5,00
9.	2,00	34.	4,00	59.	8,00	84.	14,00
10.	3,00	35.	3,00	60.	2,00	85.	4,00
11.	6,00	36.	6,00	61.	9,00	86.	10,00
12.	8,00	37.	2,00	62.	3,00	87.	5,00
13.	2,00	38.	11,00	63.	4,00	88.	2,00
14.	3,00	39.	4,00	64.	6,00	89.	5,00
15.	1,00	40.	5,00	65.	13,00	90.	8,00
16.	3,00	41.	3,00	66.	9,00	91.	7,00
17.	3,00	42.	5,00	67.	4,00	92.	5,00
18.	2,00	43.	2,00	68.	13,00	93.	3,00
19.	3,00	44.	1,00	69.	10,00	94.	9,00
20.	7,00	45.	4,00	70.	3,00	95.	2,00
21.	6,00	46.	8,00	71.	7,00	96.	10,00
22.	10,00	47.	11,00	72.	4,00	97.	4,00
23.	7,00	48.	5,00	73.	3,00		
24.	3,00	49.	3,00	74.	2,00		
25.	8,00	50.	11,00	75.	5,00		

Procenjeni pokazatelji pogodnosti održavanja motora na osnovu empirijskih podataka

Red. br.	Vreme održavanja t_0 (h)	Frekvencija pojavljivanja vremena održavanja	Kumulativna frekv. vrem. održavanja	Funkcija gustine rasp. vrem. održavanja $f(t_0)$	Funkcija pogodnosti održavanja $F(t_0)$
1.	1,00	4	4	0,041	0,041
2.	2,00	12	16	0,124	0,165
3.	3,00	16	32	0,165	0,330
4.	4,00	12	44	0,124	0,454
5.	5,00	9	53	0,093	0,547
6.	6,00	8	61	0,082	0,629
7.	7,00	7	68	0,072	0,701
8.	8,00	7	75	0,072	0,773
9.	9,00	5	80	0,052	0,825
10.	10,00	6	86	0,062	0,887
11.	11,00	4	90	0,041	0,928
12.	12,00	2	92	0,021	0,949
13.	13,00	2	94	0,021	0,970
14.	14,00	1	95	0,010	0,980
15.	15,00	1	96	0,010	0,990
16.	16,00	1	97	0,010	0,999

ritma od trajanja vremena održavanja $m_0 = 1,57$,

- standardno odstupanje prirodnog logaritma od vremena održavanja $\sigma = 0,66$.

Pokazatelji pogodnosti održavanja za log-normalnu raspodelu prikazani su u tabeli 3.

Testiranje log-normalne raspodele

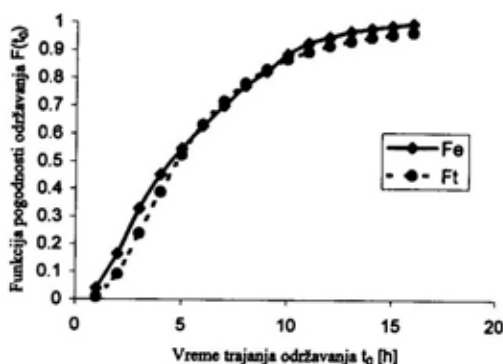
Odstupanje vrednosti funkcije pogodnosti održavanja na osnovu log-normalne raspodele od vrednosti koje su procenjene na osnovu empirijskih podataka prikazano je u tabeli 4 i na slici 4.

Test Kolmogorov-Smirnova

Za stepen značajnosti $\alpha = 0,20 \Rightarrow \lambda = 1,07$. Najveća razlika između teorijske raspodele $F_t(t)$ i procenjenih vredno-

Tabela 3
Vrednost pokazatelja pogodnosti održavanja motora na osnovu log-normalne raspodele

Red. br.	Vreme održavanja t_0 (h)	Funkcija gustine raspodele vremena održavanja $f(t_0)$	Funkcija pogodnosti održavanja $F(t_0)$
1.	1,00	0,036	0,009
2.	2,00	0,125	0,092
3.	3,00	0,157	0,239
4.	4,00	0,146	0,389
5.	5,00	0,121	0,524
6.	6,00	0,095	0,633
7.	7,00	0,073	0,716
8.	8,00	0,056	0,782
9.	9,00	0,043	0,832
10.	10,00	0,033	0,869
11.	11,00	0,025	0,896
12.	12,00	0,019	0,918
13.	13,00	0,015	0,934
14.	14,00	0,012	0,948
15.	15,00	0,009	0,958
16.	16,00	0,007	0,966



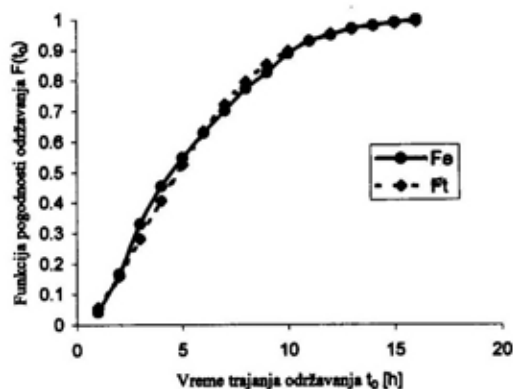
Sl. 4 - Dijagram odstupanja funkcije pogodnosti održavanja dobijene na osnovu log-normalne raspodele od vrednosti procenjenih na osnovu empirijskih podataka

Tabela 4

Odstupanja vrednosti funkcije pogodnosti održavanja na osnovu log-normalne raspodele od vrednosti procenjenih na osnovu empirijskih podataka

Red. br.	Vreme održavanja t_0 (h)	$F_e(t_0)$	$F_t(t_0)$	Δ
1.	1,00	0,041	0,009	0,032
2.	2,00	0,165	0,092	0,073
3.	3,00	0,330	0,239	0,091
4.	4,00	0,454	0,389	0,065
5.	5,00	0,547	0,524	0,023
6.	6,00	0,629	0,633	0,004
7.	7,00	0,701	0,716	0,015
8.	8,00	0,773	0,782	0,009
9.	9,00	0,825	0,832	0,007
10.	10,00	0,887	0,869	0,018
11.	11,00	0,928	0,896	0,032
12.	12,00	0,949	0,918	0,031
13.	13,00	0,970	0,934	0,036
14.	14,00	0,980	0,948	0,032
15.	15,00	0,990	0,958	0,032
16.	16,00	0,999	0,966	0,033

sti $F_e(t)$ na osnovu empirijskih podataka pojavljuje se za rezultat na rednom broju tri i iznosi $D_{\max} = 0,091$. Za broj elemenata $n = 97$ i $\alpha = 0,20$ dozvoljena vrednost razlike je $D_{\text{doz}} = \lambda/\sqrt{n} = 0,109$. Pošto je $D_{\max} < D_{\text{doz}}$ ova teorijska aproksimativna raspodela zadovoljava test Kolmogorov-Smirnova.



Sl. 5 – Dijagram odstupanja funkcije pogodnosti održavanja dobijene na osnovu Vejbulove raspodele od vrednosti procenjenih na osnovu empirijskih podataka

Test Pirsona

Pošto je izračunata vrednost $\chi^2 = 0,226$ manja od tablične vrednosti $\chi_{0,99}^2 = 4,107$ za 13 stepeni slobode, teorijska aproksimativna raspodela zadovoljava test Pirsona.

Test Romanovskog

Pošto je izračunata vrednost za test Romanovskog $2,5052 < 3$, teorijska aproksimativna raspodela zadovoljava ovaj test.

Aproksimacija empirijskih podataka Vejbulovom raspodelom

Dobijena empirijska raspodela aproksimirana je i Vejbulovom dvoparametarskom raspodelom.

Na osnovu proračuna dobijeni su parametri Vejbulove raspodele:

- parametar razmere $\eta = 5,5$ (h),
- parametar oblika $\beta = 1,6$.

Pokazatelji pogodnosti održavanja motora na osnovu Vejbulove raspodele prikazani su u tabeli 5.

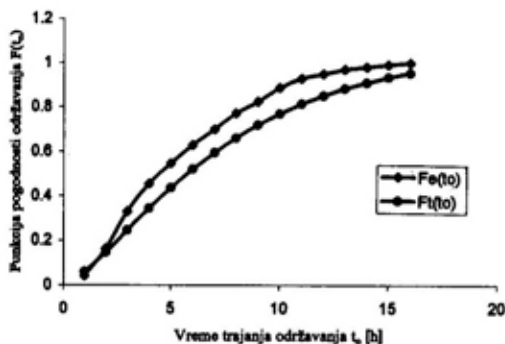
Tabela 5

Vrednosti pokazatelja pogodnosti održavanja motora na osnovu Vejbulove raspodele

Red. br.	Vreme održavanja t_0 (h)	Funkcija gustine raspodele vremena održavanja $f(t_0)$	Funkcija pogodnosti održavanja $F(t_0)$
1.	1,00	0,086	0,055
2.	2,00	0,116	0,158
3.	3,00	0,126	0,281
4.	4,00	0,124	0,407
5.	5,00	0,113	0,526
6.	6,00	0,098	0,632
7.	7,00	0,081	0,722
8.	8,00	0,065	0,795
9.	9,00	0,050	0,852
10.	10,00	0,038	0,896
11.	11,00	0,027	0,929
12.	12,00	0,020	0,952
13.	13,00	0,014	0,968
14.	14,00	0,009	0,979
15.	15,00	0,006	0,987
16.	16,00	0,004	0,992

Testiranje Vejbulove raspodele

Odstupanje vrednosti funkcije pogodnosti održavanja na osnovu Vejbulove raspodele od vrednosti procenjenih na osnovu empirijskih podataka prikazano je u tabeli 6 i na slici 6.



Sl. 6 – Dijagram odstupanja funkcije pogodnosti održavanja dobijene na osnovu gama-raspodele od vrednosti procenjenih na osnovu empirijskih podataka

Test Kolmogorov–Smirnova

Za stepen značajnosti $\alpha = 0,20 \Rightarrow \lambda = 1,07$. Najveća razlika između teorijske raspodele $F_t(t)$ i procenjenih vredno-

Tabela 6

Odstupanja vrednosti funkcije pogodnosti održavanja na osnovu Vejbulove raspodele od vrednosti procenjenih na osnovu empirijskih podataka

Red. broj	Vreme održavanja $t_0(i)$	$F_c(t_0)_i$	$F_t(t_0)_i$	Δ
1.	1,00	0,041	0,055	0,014
2.	2,00	0,165	0,158	0,007
3.	3,00	0,330	0,281	0,049
4.	4,00	0,454	0,407	0,047
5.	5,00	0,547	0,526	0,021
6.	6,00	0,629	0,632	0,003
7.	7,00	0,701	0,722	0,021
8.	8,00	0,773	0,795	0,022
9.	9,00	0,825	0,852	0,027
10.	10,00	0,887	0,896	0,009
11.	11,00	0,928	0,929	0,001
12.	12,00	0,949	0,952	0,003
13.	13,00	0,970	0,968	0,002
14.	14,00	0,980	0,979	0,001
15.	15,00	0,990	0,987	0,003
16.	16,00	0,999	0,992	0,007

sti na osnovu empirijskih podataka $F_c(t)$ javlja se za rezultat na rednom broju tri tabele 6 i iznosi $D_{\max} = 0,049$. Za broj elemenata $n = 97$ i $\lambda = 0,20$ dozvoljena vrednost razlike je $D_{\text{doz}} = \lambda / \sqrt{n} = 0,109$. Pošto je $D_{\max} < D_{\text{doz}}$ teorijska aproksimativna Vejbulova raspodela zadovoljava ovaj test.

Test Pirsona

Pošto je izračunata vrednost $\chi^2 = 0,0209$ manja od tablične vrednosti $\chi_{0,99}^2 = 4,107$ za 13 stepeni slobode, teorijska aproksimativna Vejbulova raspodela zadovoljava test Pirsona.

Test Romanovskog

Pošto je izračunata vrednost za test Romanovskog $2,5454 < 3$, teorijska aproksimativna Vejbulova raspodela zadovoljava ovaj test.

Aproksimacija empirijskih podataka gama-raspodelom

Dobijena empirijska raspodela aproksimirana je i gama-raspodelom.

Pokazatelji pogodnosti održavanja za gama-raspodelu prikazani su u tabeli 7.

Testiranje gama-raspodele

Odstupanje vrednosti funkcije pogodnosti održavanja na osnovu gama-raspodele od vrednosti procenjenih na osnovu empirijskih podataka prikazano je u tabeli 8 i na slici 6.

Test Kolmogorov–Smirnova

Najveća razlika između teorijske raspodele $F_t(t)$ i procenjenih vrednosti $F_c(t)$ na osnovu empirijskih podataka javlja se

Tabela 7

Vrednosti pokazatelja pogodnosti održavanja motora na osnovu gama-raspodele

Red. br.	Vreme održavanja t_0 (h)	Funkcija gustine raspodele vremena održavanja $f(t_0)$	Funkcija pogodnosti održavanja $F(t_0)$
1.	1,00	0,079	0,059
2.	2,00	0,097	0,147
3.	3,00	0,100	0,246
4.	4,00	0,096	0,344
5.	5,00	0,088	0,436
6.	6,00	0,080	0,520
7.	7,00	0,070	0,595
8.	8,00	0,061	0,661
9.	9,00	0,054	0,719
10.	10,00	0,047	0,770
11.	11,00	0,040	0,814
12.	12,00	0,034	0,851
13.	13,00	0,029	0,883
14.	14,00	0,025	0,910
15.	15,00	0,020	0,933
16.	16,00	0,017	0,952

Tabela 8

Odstupanja vrednosti funkcije pogodnosti održavanja na osnovu gama-raspodele od vrednosti procenjenih na osnovu empirijskih podataka

Red. broj	Vreme održavanja $t_0(i)$	$F_e(t_0)_i$	$F_r(t_0)_i$	Δ
1.	1,00	0,041	0,059	0,018
2.	2,00	0,165	0,147	0,018
3.	3,00	0,330	0,246	0,084
4.	4,00	0,454	0,344	0,110
5.	5,00	0,547	0,436	0,111
6.	6,00	0,629	0,520	0,109
7.	7,00	0,701	0,595	0,106
8.	8,00	0,773	0,661	0,112
9.	9,00	0,825	0,719	0,106
10.	10,00	0,887	0,770	0,117
11.	11,00	0,928	0,814	0,114
12.	12,00	0,949	0,851	0,098
13.	13,00	0,970	0,883	0,087
14.	14,00	0,980	0,910	0,070
15.	15,00	0,990	0,933	0,057
16.	16,00	0,999	0,952	0,047

na rednom broju 10 i iznosi $D_{\max} = 0,117$. Za stepen značajnosti $\alpha = 0,20$ i broj elemenata $n = 16$ dozvoljena vrednost razlike je $D_{\text{doz}} = 0,258$. Pošto je $D_{\max} < D_{\text{doz}}$ ova teorijska aproksimativna raspodela zadovoljava test Kolmogorov – Smirnova.

Test Pirsona

Pošto je izračunata vrednost $\chi^2 = 0,241$ manja od tablične vrednosti $\chi_{0,99}^2 = 4,107$ za 13 stepeni slobode, teorijska aproksimativna raspodela zadovoljava test Pirsona.

Test Romanovskog

Pošto je izračunata vrednost za test Romanovskog $2,5024 < 3$, teorijska aproksimativna raspodela zadovoljava ovaj test.

Iz dobijenih rezultata može se videti da i log-normalna i gama i Vejbulova raspodela dobro aproksimiraju procenjene vrednosti iz empirijskih podataka.

Da bi se videlo koja raspodela najbolje aproksimira empirijske podatke izvršeno je upoređivanje rezultata testiranja svih raspodela, što je prikazano u tabeli 9.

Upoređivanjem rezultata testiranja može se zaključiti da Vejbulova raspodela znatno bolje zadovoljava test Kolmogorov–Smirnova, nešto bolje zadovoljava test Pirsona, dok gama i log-normalna nešto bolje zadovoljavaju test Romanovskog. Dakle, Vejbulova raspodela najbolje aproksimira empirijske podatke dobijene iz eksploatacije.

Iz dijagrama sa slika 4, 5 i 6 može se videti da se 50% svih korektivnih održavanja navedenog motora obavi za manje od 5 časova rada, 30% korektivnih održavanja za manje od 3 časa rada, dok

Tabela 9

Uporedni prikaz pokazatelja testiranja teorijskih raspodela

Test Raspodela	Kolmogorov – Smirnova D_{\max}	Pirsona χ^2	Romanovskog $ \chi^2 - k /\sqrt{2k}$
log-normalna	0,091	0,226	2,5052
Vejbulova	0,049	0,209	2,5454
gama	0,117	0,241	2,5024

se samo 10% korektivnih održavanja obavi za više od 10 časova rada.

Pored toga, upoređivanjem dobijenih podataka za srednje vreme aktivnog korektivnog održavanja od 5 časova rada sa taktičko-tehničkim zahtevima, datim u SNO 1096/85 u tabeli 3.7.1. na rednom broju 6, za mašine i agregate koje iznosi 10 časova za srednje vreme trajanja otklanjanja neispravnosti na nivou srednjeg remonta, može se zaključiti da navedeni motor ima dobre pogodnosti održavanja i u potpunosti ispunjava taktičko-tehničke zahteve u tom pogledu.

Zaključak

U radu je na osnovu aktivnog vremena korektivnog održavanja 97 motora istog tipa vozila u realnim uslovima eksploatacije praktično prikazana primena jedne od metoda za ocenjivanje pogodnosti održavanja, kao konstrukcijske karakteristike datog podsistema.

Vremena održavanja predstavljaju ukupno vreme aktivnog rada na korektivnom održavanju navedenog konkretnog podsistema vozila. Iz dobijenih rezultata može se videti da se raspodela vremena aktivnog korektivnog održavanja najpri-

bližnje može opisati Vejbulovom raspodelom.

Iz dobijenih rezultata može se zaključiti da se 30% svih korektivnih održavanja motora obavi za manje od 3 časa rada, 50% svih korektivnih održavanja za manje od 5 časova rada i samo 10% svih korektivnih održavanja obavi za više od 10 časova.

Upoređivanjem dobijenih rezultata sa taktičko-tehničkim zahtevima može se zaključiti da ih motor u potpunosti zadovoljava u pogledu pogodnosti održavanja za srednje vreme trajanja otklanjanja neispravnosti na nivou srednjeg remonta.

Primenom navedene metode može se odrediti pogodnost održavanja i ostalih podsistema, agregata i sklopova, kao i vozila u celini.

Literatura:

- [1] Todorović, B.J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, Jugoslovensko društvo za motore i vozila, Beograd, 1993.
- [2] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1990.
- [3] Krstić, V.B.: Eksploatacija motornih vozila i motora, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1997.
- [4] Zelenović, D., Todorović, B.J.: Efektivnost sistema u mašinstvu, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [5] Taktičko-tehnički zahtevi za razvoj tehničkih materijalnih sredstava, SNO 1096/85, Beograd, 1985.
- [6] Brkić, Lj.: Optimizacija sistema održavanja motornih vozila specijalne namene, magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1998.

Dr Predrag Petrović,
dipl. inž.
Industrija motora Rakovica,
Beograd

MOGUĆA KONSTRUKCIONA REŠENJA DIZEL MOTORA SA ASPEKTA REDUKCIJE EMISIJE BUKE

UDC: 621.436-533

Rezime:

Savremeni razvoj dizel motora, pored mnogobrojnih poboljšanja u pogledu emisije izduvnih gasova, povećanja specifične snage, smanjenja potrošnje goriva, primene alternativnih materijala, i dr., prate i zahtevi za smanjenje emisije buke. Takav problem se, u osnovi, može rešiti: smanjenjem pobude, promenom odziva strukture i primenom akustičkih zaštita. Ispitivanjima koja su vršena u Industriji motora Rakovica ustanovljeni su dominantni izvori buke brzohodnog dizel motora. Na osnovu toga data su moguća konstrukciona poboljšanja radi smanjenja emisije buke.

Ključne reči: dizel motor, poboljšanje konstrukcije, buka, izolacija.

POSSIBLE CONSTRUCTIONAL SOLUTIONS FOR DIESEL MOTORS FROM THE ASPECT OF REDUCTION OF NOISE EMISSION

Summary:

Besides numerous improvements as to the emission of exhaust gases, increase in specific power, reduction in fuel consumption, application of alternative materials, fuels, etc., contemporary development of diesel engines is characterised also by the requests for reduction of noise emission. In principle, the approach to such a problem can be: by reducing the excitation, by changing the structural response, and by changing the acoustic protections. By means of tests carried out at IMR, dominant sources of noise of a high-speed diesel engine were established and on that basis possible design improvements and other solutions were given, with a view to reducing noise emission.

Key words: diesel engine, design improvement, noise, isolation, excitation.

Uvod

Zbog ubrzanog razvoja industrije, saobraćaja, energetike i drugih delatnosti, u životnoj sredini je sve prisutniji problem buke, čije kontinualno impulsno ili neko drugo dejstvo nepovoljno utiče na ljude. Motor sa unutrašnjim sagorevanjem, kao pogonski agregat motornog vozila, predstavlja značajan izvor vibracija i buke, što se veoma nepovoljno

može odraziti na vozilo, vozača, putnike i okolinu. Procesom rada motora koji prate neuravnotežene inercijalne sile, neuravnoteženi momenti inercijalnih sila, promenljivi obrtni momenti, neujednačenost radnog procesa, vibriranje strukture i uređaja na motoru, neadekvatni elastični oslonci i dr., ostvaruju se nepovoljna dejstva motora na okolinu.

Kod motora motornih vozila vibracije se prenose na vozilo, pobuđujući

vibriranje elemenata njegove konstrukcije. Kod motornih vozila izraženi su i drugi vidovi vibracija, npr. usled uticaja podloge puta, kvaliteta i tipa pneumatika, što zavisi od oblika noseće konstrukcije i njene osetljivosti prema vibracijama. S obzirom na to da je motor primarni izvor buke motornih vozila, u poslednje vreme razvijeni su novi postupci, metode ispitivanja i konstruisanja radi smanjenja buke. U prošlosti se taj problem nije potencirao, jer redukcija buke zahteva nova materijalna ulaganja za koja nisu bili zainteresovani ni proizvođači ni korisnici. Međutim, propusti proizvođača u prošlosti danas se veoma negativno odražavaju uvođenjem zakonskih propisa u pogledu dozvoljenih granica nivoa buke, koji se nažalost veoma brzo menjaju u pogledu sve oštrijih zahteva, pa mnogi svetski proizvođači, a naročito domaći, taj korak ne mogu da prate. Zbog toga je pri stvaranju uslova za poboljšanje konstrukcije i optimizacije pojedinih delova i sklopova veoma važno utvrditi karakter osetljivosti delova na pobudu pri određenim definisanim režimima rada motora. Takva ispitivanja i utvrđivanja dominantnih zona motora koje emituju buku najvišeg intenziteta obavljana su u Industriji motora Rakovica na brzohodnom dizel motoru.

Mogući pristupi smanjenju emisije buke

Energija izazvana pobudama procesa generisanja zvučnih talasa prenosi se kroz delove sistema i dolazi do mesta gde se emituje u okolinu u vidu zvuka. Da bi se nivo emitovanog zvuka smanjio potrebno je izvršiti konstrukciona poboljšanja međusobnih odnosa pojedinih sklopova i komponenata motora. Da bi se prigušili

izvori poremećaja, putevi prenošenja i smanjila akustička emisija, mogući su sledeći osnovni pristupi:

1. Smanjenje pobude:
 - od procesa sagorevanja,
 - od mehaničkih udara pojedinih komponenata,
 - od usisnog i izduvnog sistema.
2. Promena odziva strukture:
 - primenom materijala sa većim unutrašnjim prigušenjem,
 - primenom odgovarajućih izolacionih materijala zidova i poklopaca,
 - povećanjem krutosti komponenata.
3. Primena akustičkih zaštita:
 - postavljanjem bliskih zaštita zidova bloka i korita (oblaganjem),
 - izolovanjem eventualno postojećih tunela (usisnih, izduvnih, za hlađenje i dr.),
 - izolovanjem motorskog prostora – kapslovanje.

Konkretna konstrukciona rešenja, koja mogu dovesti do pozitivnih trendova u navedena tri pravca, mogu biti:

- obezbediti minimalnu vrednost porasta pritiska u procesu sagorevanja, naročito kod dizel motora zbog većih stepena kompresije, pritiska i temperatura u radnim procesima. Paljenje smeše električnom varnicom obezbeđuje kontinualan i blag porast pritiska, a prelaz iz kompresione linije u liniju sagorevanja je kontinualan i teško primetan. Kod dizel motora nakon perioda pritajenog sagorevanja pripremljene smeše i naglog porasta pritiska, prelaz iz kompresione u liniju sagorevanja je diskontinualan. Impuls pritiska preko onog koji može da se apsorbuje promenom zapremine pretvara se u primarne zvučne talase;

- obezbediti ponovljivost iniciranja samopaljenja od cilindra do cilindra i od ciklusa do ciklusa;

– ograničiti tolerancije na svim zazorima ležajeva, uključujući i klipove. Habanje i drugi procesi treba da budu takvi da u toku radnog veka ove zazore održe na nivou koji je blizak nominalnim vrednostima;

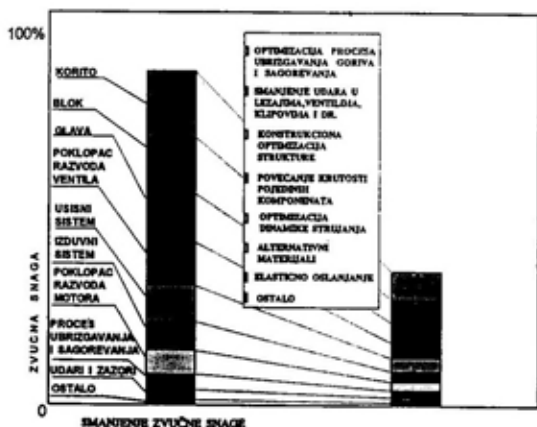
– obezbediti potreban nivo dinamičke uravnoteženosti pokretnih delova;

– adekvatno balansirati oscilujuće mase;

– povećati krutost i izolacionu moć velikih ravnih površina,

– obezbediti optimalno ukrućenje na kritičnim površinama.

Na slici 1 prikazana su moguća smanjenja nivoa emitovane buke dizel motora.

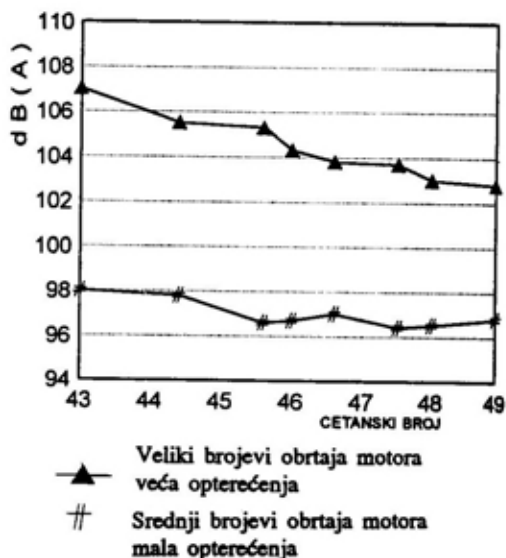


Sl. 1 – Mogućnosti smanjenja buke pojedinih komponenti dizel motora

Primeri mogućih konstrukcionih poboljšanja dizel motora

Proces sagorevanja

Poboljšanje procesa sagorevanja kod dizel motora u znatnoj mери može doprineti smanjenju buke. Stvaranje kompaktnije smeše goriva i ravnomernije raspršivanje u prostoru za sagorevanje može se postići visokim pritiscima ubrizgavanja,



Sl. 2 – Zavisnost buke motora od cetanskog broja

povećanim brojem i smanjenim prečnicima otvora na brizgaljkama.

Takvi sistemi omogućavaju ravnomernije raspršivanje goriva, što utiče na smanjenje perioda pritajenog, a naročito neregulisanog sagorevanja. Na takve procese utiče i vrednost cetanskog broja, temperatura vazduha u trenutku ubrizgavanja, stepen kompresije koji diktira veličinu temperature i pritiska, vihorno strujanje i dr.

Poželjno je da cetanski broj goriva bude što veći, kako bi upaljenje smeše što pre nastalo. To doprinosi smanjenju buke motora. Zavisnost nivoa buke od cetanskog broja dizel goriva na udaljenosti 1 m prikazana je na slici 2.

Temperatura vazduha u trenutku ubrizgavanja deluje na brzinu isparavanja i na brzinu pretplamenih reakcija. Povećanjem temperature vazduha postiže se skraćivanje perioda pritajenog sagorevanja.

Stepen kompresije diktira veličinu temperature tokom perioda pritajenog sagorevanja, pa je bitna konstrukcija

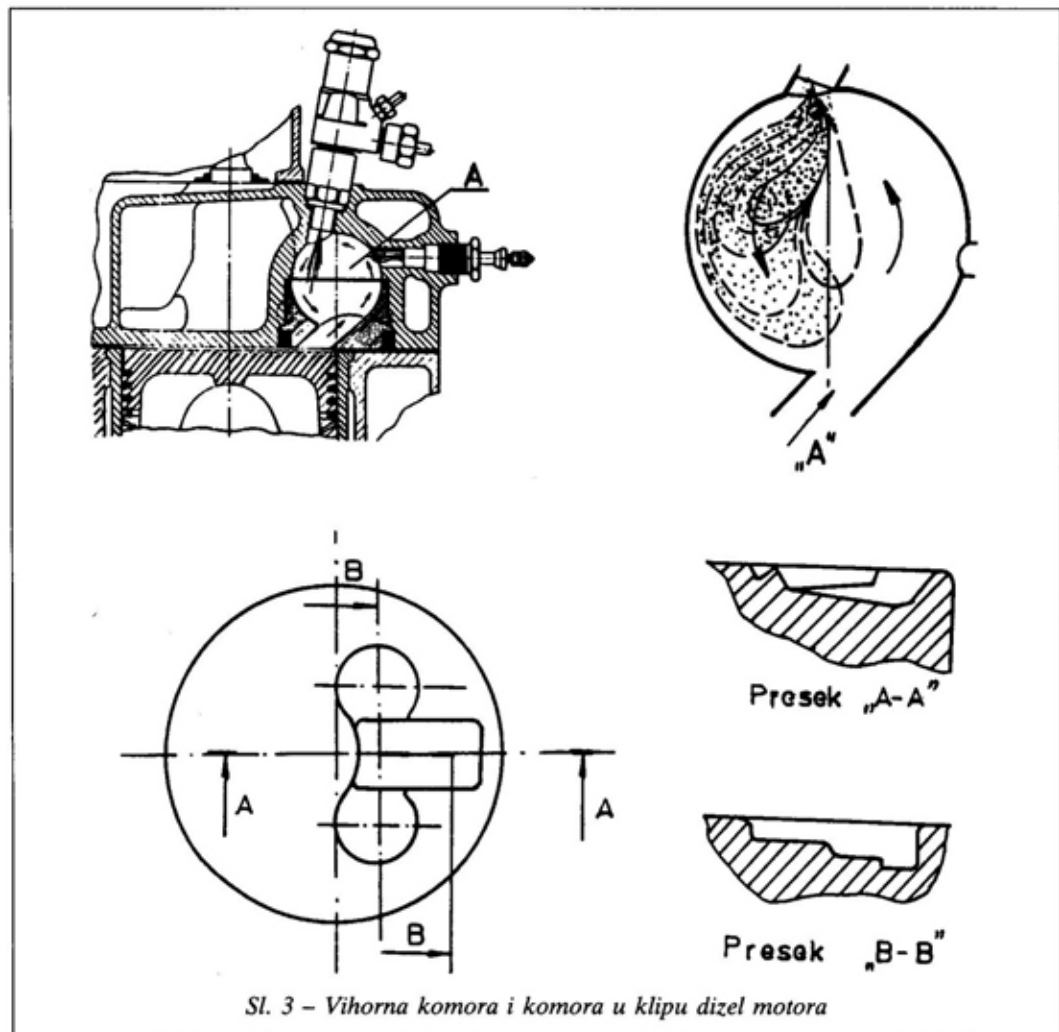
kojom se obezbeđuje skraćivanje ovog perioda.

Vihorno kretanje vazduha inicira mešanje i isparavanje, ali i povećanje gubitka zbog intenzivnijeg prenosa toplote.

Kod motora sa direktnim ubrizgavanjem goriva u periodu neregulisanog sagorevanja dolazi do nagle promene porasta pritiska, koji izaziva udarno sagorevanje. To karakteriše rad motora sa povećanom bukom i porastom mehaničkih naprezanja delova motora.

Kod dizel motora sa ubrizgavanjem goriva na zid komore gorivo postepeno isparava, tako da ne dolazi do nagomilavanja goriva, pa je porast pritiska relativno blag i udarno opterećenje je slabijeg intenziteta.

Kod motora sa vihornom komorom eventualno burno sagorevanje odvija se u komori, čime je motor zaštićen od naglog porasta pritiska u glavnom prostoru za sagorevanje. Izgled vihorne komore i komore u klipu brzohodnog dizel motora prikazan je na slici 3.



Sl. 3 - Vihorna komora i komora u klipu dizel motora

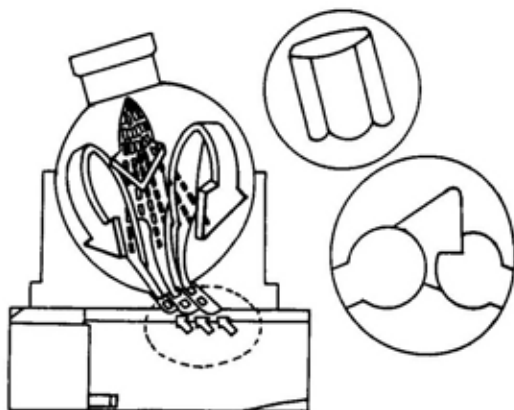
Kod takvih motora vazduh se sabija i ubacuje tangencijalno u komoru stvarajući intenzivan vrtlog sa ubrizgavanim gorivom u komori, gde se i odigrava početak sagorevanja, da bi potom nesagorelo gorivo istrujavalo izvan komore i nastavilo sagorevanje u glavnom prostoru.

Da bi ceo proces ustrujavanja vazduha u komoru bio ravnomerniji, a time i bolje formiranje smeše, mogu se primeniti specijalne konstrukcije vihorne komore u glavi motora. Konstrukcija ulaza u komoru omogućava tzv. „trovrtložno“ ustrujavanje vazduha u komoru, što doprinosi boljem formiranju smeše i ravnomernijem sagorevanju. Jedno takvo rešenje sa izgledom oblika ulaska u vihornu komoru i izgled komore u klip prikazano je na slici 4.

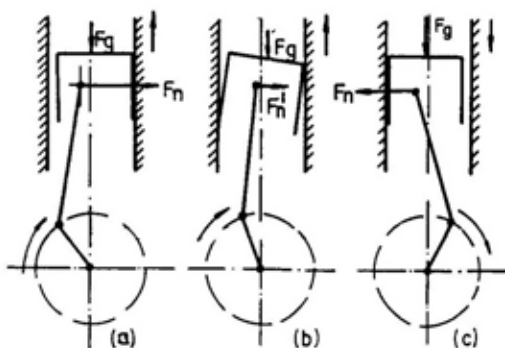
Vihorna komora kod ovakvih motora nije sferična već jajastog oblika, koji omogućava ravnomernije strujanje vazduha pored zidova komore, odnosno, oblik komore je prilagođen toku strujanja vazduha.

Klipni mehanizam

U toku eksploatacije motora dolazi do habanja radnih površina klipnog mehanizma, a time i do povećanja zazora koji intenzivira pojavu udara klipa o košuljicu cilindra. Na pojavu udara, pored zazora, utiču i normalna sila koja je promenljivog smera i intenziteta, otklon klipnjače i dr. Intenzitet udara klipa može se smanjiti redukcijom otklona klipnjače (smanjenjem ugla β i povećanjem dužine klipnjače) i pomeranjem ose osovinice od ose klipa za oko 2 do 3% od prečnika cilindra na stranu naleganja klipa, odnosno u smeru nominalne sile za vreme



Sl. 4 – „Trovrtložno“ ustrujavanje vazduha u vihornu komoru

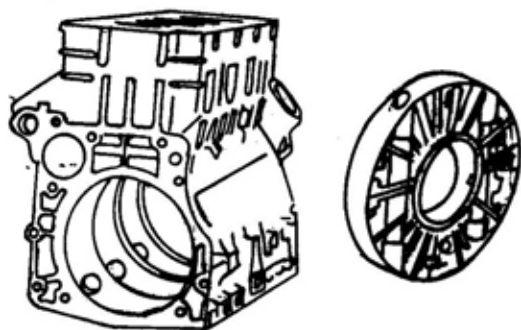


Sl. 5 – Premeštanje ekscentrično oslonjenog klipa motora

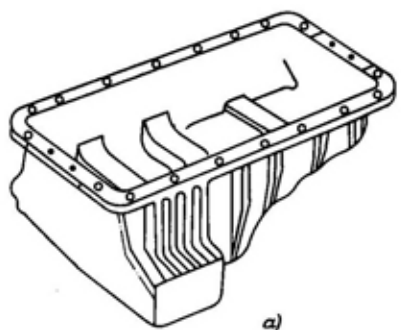
takta ekspanzije. Na slici 5 prikazano je ekscentrično premeštanje oslonjenog klipa. Takvo rešenje omogućava pravilniji hod klipa i povoljnije podmazivanje klipa u cilindru, čime se smanjuje i intenzitet pobude.

Kolenasto vratilo

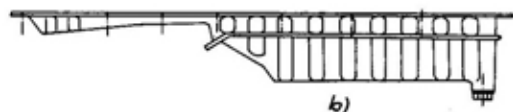
Vibracije sklopa kolenastog vratila mogu predstavljati značajan izvor pobude. Gasne sile procesa sagorevanja izazivaju vibriranje kolenastog vratila u horizontalnom i vertikalnom pravcu. Da bi se vibracije smanjile jedna od mogućnosti je povećanje krutosti većom debljinom



Sl. 6 – Prigušivač udara kolenastog vratila



Čelične ploče
Prigušni materijal



Sl. 7 – Konstrukciona rešenja korita motora: a) – jednodelno, b) – dvodelno

ramena kolenastog vratila. U novije vreme koriste se prigušivači udara u vidu elastičnih diskova u koje se ugrađuju čaure kliznih ležajeva.

Na slici 6 prikazano je jedno rešenje takvih prigušivača udara. Ispitivanjem je ustanovljeno da je intenzitet zvuka najveći u zoni prigušivača torzionih oscilacija. U toj zoni potrebno je obezbediti što manje zadržavanje vazduha i njegovu rotaciju što se postiže smanjenjem rastojanja između prigušivača i zaptivača za

ulje, i ugradnjom specijalnih akustičkih apsorbera na radilici, koji presecaju to-kove vibracija i smanjuju vazdušni prostor u toj zoni.

Korito motora

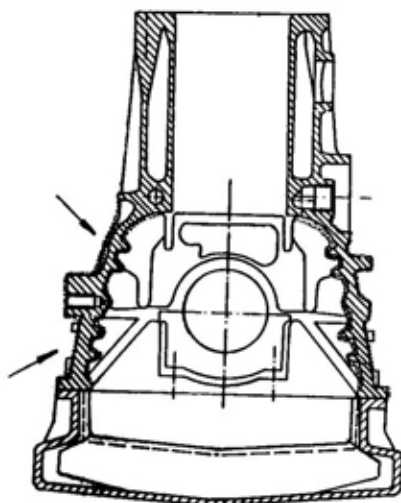
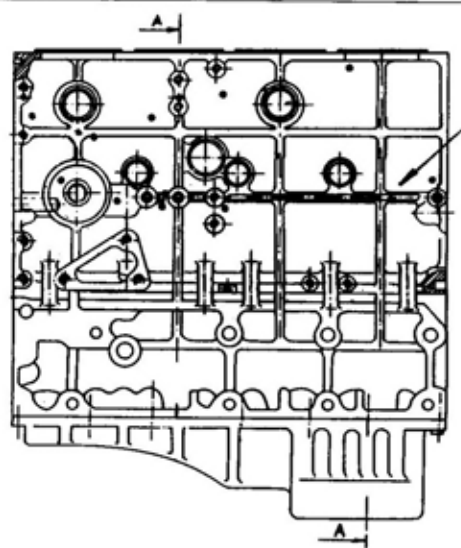
Kroz zidove korita motora protiče najviše zvučne energije, pa je konstrukciono izvođenje korita i način pričvršćivanja za blok vrlo značajno za ukupnu buku motora. Na slici 7 prikazana su moguća konstrukciona rešenja korita motora.

Takva rešenja ostvaruju se izradom od kompozitnog ili plastičnog materijala, mada njihova primena ima i negativnih efekata, pre svega sa aspekta mogućih udara i relativno lošeg odvođenja toplote. Zvučna izolaciona svojstva takvog rešenja mogu biti poboljšana oblaganjem, sa unutrašnje strane, izolacionim akustičkim materijalom, otpornim na visoke temperature i vibracije (slika 7a).

Pri izradi dvodelnih korita motora, sa tzv. „suknjicom“ od lakih legiranih materijala, npr. $AlSi_{10}Mg$ i dna od čeličnog lima, javljaju se izvesne slabosti zbog nedovoljnog smanjenja emitovanja zvučne energije koja dolazi iz unutrašnjosti motora. Radi boljih apsorpcionih prigušenja mogu se koristiti višeslojni materijali za izradu dna korita, kao što su specijalne ploče od lima debljine oko 1 mm i izolacioni materijal između ploča (slika 7b).

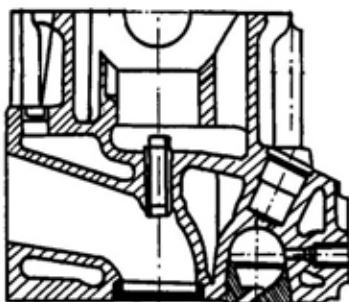
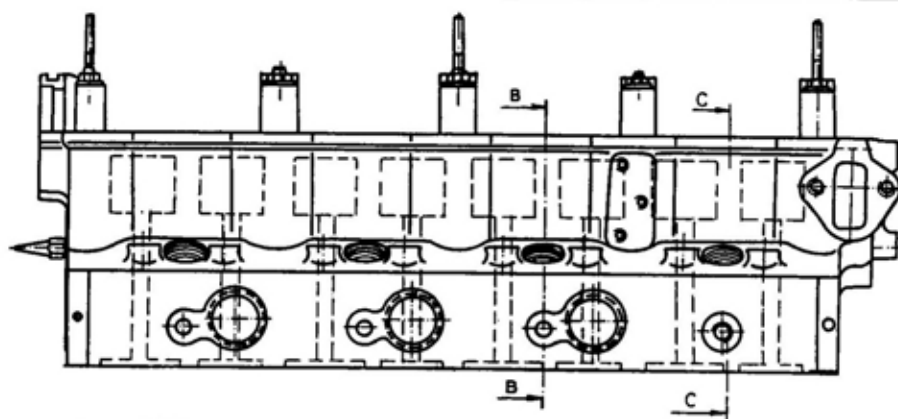
Blok motora

Primenom modalne analize i analize zvučnog intenziteta koje su vršene na dizel motoru ustanovljeni su viši nivoi vibracija i buke u zonama cilindara, odnosno vodenog međuprostora, gde su i zi-

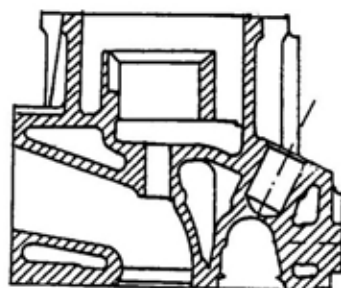


Presek A-A

Sl. 8 – Konstrukcija bloka motora sa produženim bočnim stranicama i dodatnim orebrenjima



Presek „B-B”



Presek „C-C”

Sl. 9 – Konstrukcija glave dizel motora

dovi najmanje debljine. Druga zona po nivou intenziteta je donji deo bloka, odnosno zona ležajeva kolenastog vratila. Da bi se smanjio uticaj pomenutih zona bloka u ukupnoj emisiji buke motora, moguća su konstrukciona rešenja u vidu povećanja debljine zida i uvođenja dodatnih rebara koja bi povećala krutost zone, i produženja bočnih stranica bloka. Kombinacijom takvih konstrukcionih rešenja i primenom materijala sa malim modulom elastičnosti, kojim bi se oblagali zidovi bloka, postigla bi se i akustička poboljšanja. Konstrukciono poboljšanje bloka prikazano je na slici 8.

Glava motora

Glava motora se obično izrađuje od legura lakih materijala, npr. $AlSi_6Cu_4$ i ne predstavlja značajniji izvor buke. Konstrukcija glave dizel motora prikazana je na slici 9.

Ventilski razvod

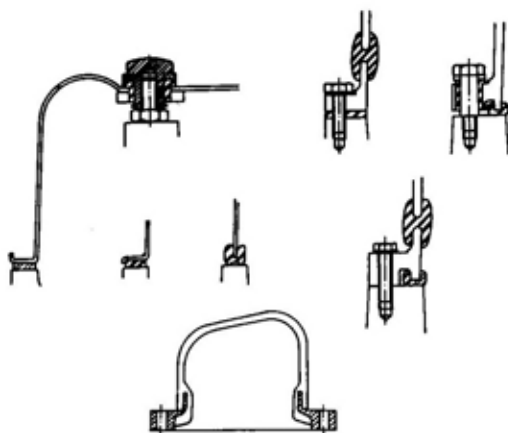
S obzirom na to da je ventilski razvod motora značajan izvor tzv. mehaničke buke, njeno smanjenje svodi se na optimizaciju poklopca ventilskog razvoda. Mogu se koristiti poklopci izrađeni od silikonske gume, sa obodom od aluminijuma, kao od plastičnih i kompozitnih materijala sa različitim načinima oblaganja.

Na slici 10 prikazani su neki oblici poklopca glave i način spajanja sa blokom motora.

Razvod motora

Bilo koja varijanta razvoda motora (zupčanički, zupčasti kaiš, lančanički) može biti značajan izvor emisije buke.

Zbog toga su izbor konstrukcionog rešenja, materijal i način pričvršćivanja veoma bitni za akustičko smanjenje buke.

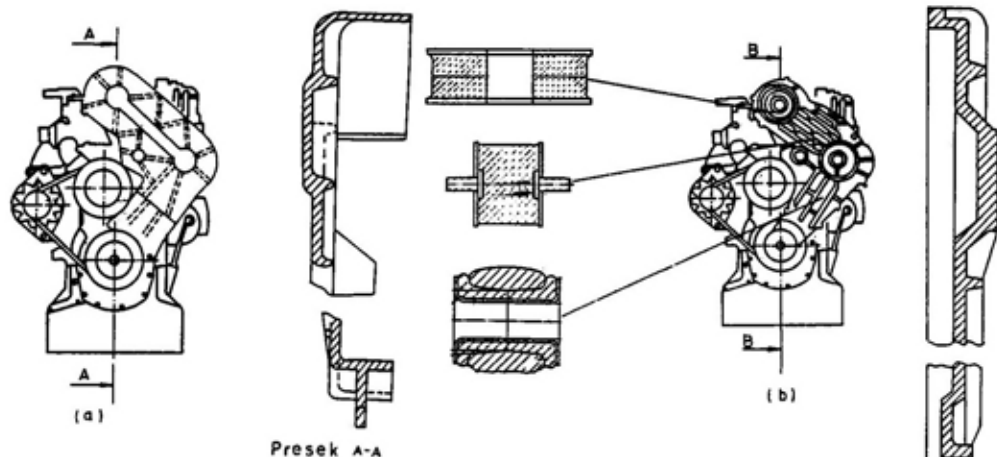


Sl. 10 – Mogući oblici i način oslanjanja poklopca glave motora

Ovaj prostor pogodno je zatvoriti metalnim, plastičnim ili poklopcem od kompozitnog materijala sa elastičnim spojevima, od kojih su neki prikazani na slici 11.

Primena plastičnih materijala u izradi delova motora

Zbog manje mase, lakšeg oblikovanja, veće otpornosti na koroziju, boljih prigušnih svojstava, nižih frekvencija vlastitih oscilacija, i dr. plastični i kompozitni materijali imaju sve veću primenu u proizvodnji motora. Plastični materijali, ojačani vlaknima, poseduju poboljšane mehaničke i toplotne karakteristike u odnosu na konvencionalne plastične materijale. Kod većine plastičnih i kompozitnih materijala, zbog malog modula elastičnosti (krutosti) frekvencije vlastitih oscilacija su niske, pa je radno područje u natkritičnoj zoni frekvencija. Time se postižu visoka prigušenja vibracija i izolacija buke.



Sl. 11 – Poklopci razvoda motora: a) – plastični, b) – metalni Presek B-B

Koeficijent apsorpcije u difuznom akustičnom polju je:

$$K_a \times 20 \log a - 10 \log [\log e (1 + a^2)]$$

$$a = \omega \cdot m / 2\rho^* \cdot C$$

gde je:

ω – frekvencija zvuka,

ρ^* – gustina vazduha,

C – brzina zvuka u vazдушnom prostoru,

$m = \rho \cdot h$ – masa po jedinici površine,

h – debljina ploče.

Za tanku ravnu ploču, vlastita frekvencija je:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{D}{m}} \cdot K^2 = \frac{h}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{\rho(1 - \nu^2)}} \cdot K^2$$

gde je:

E – modul elastičnosti,

ν – Poasonov koeficijent,

K – talasni broj,

ρ – gustina izolacionog materijala,

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)} - \text{krutost ploče.}$$

U zavisnosti od zatezne čvrstoće i radne temperature i plastični materijali mogu se primenjivati u izradi komponenta motora.

Koeficijent apsorpcije plastičnih materijala je za 10 do 100 puta veći u odnosu na koeficijent apsorpcije metala.

Danas se od plastičnih i kompozitnih materijala mogu izrađivati poklopci glave motora, korita, poklopci i kućišta razvoda, usisne grane i dr.

U svetu je sve veći trend primene i drugih lakih materijala u proizvodnji motora, tako da se legure aluminijuma koriste za izradu blokova i glava, kompozitni materijali i legure magnezijuma za poklopce, klipnjače od sinterovanih materijala, komponente ventilskog razvoda od legura titana, a neki delovi i od keramike, dok se klipovi ojačavaju keramičkim fibrom. Primena lakih alternativnih materijala doprinosi smanjenju mase, trenja, nivoa vibracija, buke, potrošnje goriva i dr.

Zaključak

Da bi se stvorili osnovni preduslovi za optimizaciju konstrukcije dizel motora potrebno je prethodno istražiti proces stvaranja i emisije zvučnih talasa motora u kvalitativnom i kvantitativnom smislu. U Industriji motora Rakovica obavljena su opsežna istraživanja procesa generisanja strukturne buke dizel motora, primenom teorijsko-eksperimentalnih metoda. Teorijskim razmatranjem razrađen je mehanizam stvaranja buke pojedinih sklopova motora, a primenom metoda zvučnog intenziteta, eksperimentalne modalne analize, merenja pritiska i akustičke emisije pojedinih sklopova u anehoičnoj komori locirane su zone sa najvećom akustičkom aktivnošću, određen modalni odziv pojedinih delova motora, kao i struktura buke i doprinos pojedinih sklopova ukupnoj emisiji buke.

Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja prikazana su moguća i već sprovedena konstrukciona poboljšanja dizel motora sa aspekta smanjenja ukupne emisije buke. Ta poboljšanja su se ogledala u smanjenju pobuda, promeni odziva struk-

ture i primeni akustičke zaštite. Dati su konkretni predlozi za smanjenje pobude izazvane mehaničkim udarima i procesom sagorevanja, konstrukciona poboljšanja korita, bloka, poklopca razvoda, poklopca glave motora, sa aspekta povećanja krutosti, akustičkog prigušenja i primene novih materijala.

Literatura:

- [1] Petrović, P.: Istraživanje procesa generisanja strukturne buke dizel motora, doktorska disertacija, MF Beograd, 1996.
- [2] Živković, M., Trifunović, R.: Motori sa unutrašnjim sagorevanjem, II deo, MF Beograd, 1983.
- [3] Morrison, D.: Designing in engine refinement and low noise, Ricardo, 1987.
- [4] Petrović, P., Janković, S., Ognjanović, M.: Modalni odziv i emisija buke pojedinih komponenata dizel motora, XVI Međunarodni naučni stručni skup NMV '97, Beograd, 1997.
- [5] Petrović, P.: Prostiranje pobudnih poremećaja kroz strukturu dizel motora, Vojnotehnički glasnik 2/97.
- [6] Petrović, P., Ognjanović, M., Janković, S.: Research of generation of noise of diesel engine components, Svetski kongres Inter-noise '97, Budimpešta, Vol. 1., avgust 1997.
- [7] Petrović, P., Ognjanović M.: Effect of nature of elastic disturbances on modal responses of diesel engine parts, Int. simpozijum Mašine i mehanizmi – ISMM, Beograd 1997.
- [8] Grupa autora i Petrović, P.: Buka motora i motornih vozila, prilog u monografiji „Buka – osnovi, analiza, izvori i zaštita“, Beograd, G.F., A.F i IMS, 1998.
- [9] Tomić, M., Petrović, S.: Motori sa unutrašnjim sagorevanjem, MF Beograd, 1994.

Mr Igor S. Simić,
kapetan I klase, dipl. inž.
VP 4522 Batajnica
Dr Aleksa J. Zejak,
docent, dipl. inž.
Institut IMTEL, Novi Beograd

SAW KOMPONENTE I NJIHOVE PRIMENE U OBRADI SIGNALA

UDC: 534.87:621.391

Rezime:

SAW (Surface Acoustic Wave) komponente, ili komponente sa površinskim akustičkim talasom, imaju široku primenu u analognoj obradi signala. Različitim tipovima SAW komponenti mogu se postići mnoge funkcije u obradi signala. U ovom radu prikazane su najčešće primene SAW komponenti u komunikacionim, radarskim i sonarskim uređajima, kao i sistemima za protivielektronsku borbu.

Ključne reči: SAW komponente, linija za kašnjenje, čirp, konvolver, korelator, kompresija impulsa, sintezator frekvencije, prilagođeni filter.

SAW DEVICES AND ITS SIGNAL PROCESSING APPLICATIONS

Summary:

SAW or surface acoustic wave devices have a wide application in analog signal processing. Many different signal processing functions can be achieved by different SAW devices. In this paper we described the most significant use of SAW devices in communication, radar and sonar equipment as well as in electronic warfare systems.

Key words: SAW devices, delay line, chirp, convolver, correlator, pulse compression, frequency generator, matched filter.

Uvod

Komponente SAW (Surface Acoustic Wave) ili komponente sa površinskim akustičkim talasom, imaju široku primenu u analognoj obradi signala. Različitim tipovima ovih komponenti mogu se projektovati: filteri (sa fiksnim i promenljivim propusnim opsegom), kompresioni filteri, linije za kašnjenje (sa fiksnim i promenljivim kašnjenjem), korelatori, konvolveri, Furijeovi transformatori, prilagođeni filteri, generatori talasnih oblika, analogne memorije, diskriminatori i sl.

Glavne prednosti SAW komponenti jesu: mogućnost obrade signala u realnom vremenu, male dimenzije i jednostavnost, a nedostatak predstavlja ograničen dinamički opseg.

Iako digitalna obrada signala omogućava fleksibilnost i programabilnost veću od bilo koje druge tehnologije, SAW komponente još uvek nalaze svoju primenu u radarskim i sonarskim sistemima, komunikacijama sa prenosom u proširenom spektru, kao i prijemnicima za elektronski rat.

Princip rada SAW komponenti

Radio-frekventni signal može se pretvoriti u akustički talas na koji je moguće uticati promenom uslova propagacije na površini piezoelektričnog supstrata. Obradeni analogni signal dobija se ponovnom konverzijom akustičkog u električni signal. Ovaj postupak nalazi se u osnovi načina rada komponenti sa površinskim akustičkim talasom. Drugim rečima, ulazna elektromagnetska energija pretvara se u mehaničku, odnosno u akustički talas koji nastaje zbog rastezanja i skupljanja piezoelektrika, a zatim se, promenom uslova prostiranja akustičkih talasa, menja faza i amplituda signala, unosi kašnjenje i na kraju se ponovo akustički talas (mehanička energija) piezoelektrikom „vraća“ u električni signal.

Akustički talasi su locirani na površini supstrata i udaljavanjem od nje intenzivno slabe. U tome je i osnovna tehnološka razlika SAW komponenti i kristala kvarca, u kome se akustički talasi prostorno šire. Brzina prostiranja akustič-

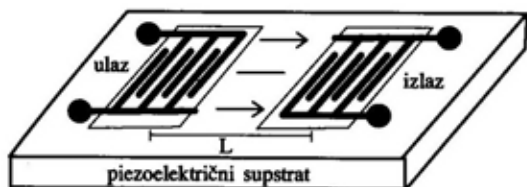
kih talasa na površini piezoelektričnog materijala praktično ne zavisi od frekvencije i približno iznosi 3000 m/s (zavisno od tipa supstrata iznosi od 1680 do 6170 m/s). To je $\sim 10^5$ puta manje od brzine prostiranja elektromagnetskog talasa u slobodnom prostoru, pa omogućava da komponente za obradu signala budu manjih dimenzija. Na slici 2 prikazana je opšta blok-šema SAW komponente.

Da se talasi ne bi reflektovali na rubovima supstrata, postavljaju se posebno naneseeni slojevi apsorpcionog materijala. Ovaj problem se na drugi način rešava zakošenjem bočnih ivica supstrata.

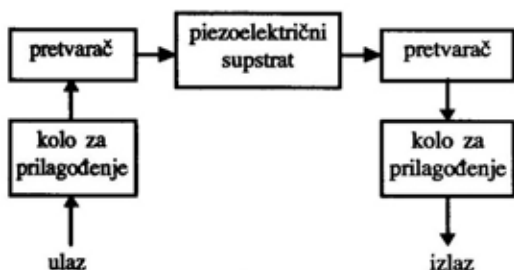
Materijali koji se najčešće koriste za izradu supstrata su [1,2]: litijum-niobat (LiNbO_3), kvarc (SiO_2), $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ i Li-TaO_3 . Izbor materijala uslovljen je nizom faktora. Tako su, na primer, komponente sa kvarcnim supstratom najmanje osetljive na promene temperature, LiNbO_3 ima najveći koeficijent elektro-akustičke konverzije, a $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ima najmanju brzinu prostiranja akustičkih talasa (1650 m/s).

Za generisanje i prijem površinskih akustičkih signala koristi se pretvarač (transducer). Karakteristike SAW komponente najvećim delom su određene svojstvima pretvarača. Predajni i prijemni pretvarači površinskih akustičkih talasa najčešće se proizvode u obliku „češlja“ koji se u vidu metalnih elektroda nanosi na glatki supstrat. Osnovne veličine kod pretvarača su: d – rastojanje između susjednih „zubaca“, N – broj traka u češlju i A – konstanta elektro-akustičke konverzije.

Pritisak koji se dobija u tački na površini supstrata, na rastojanju x od pretvarača, kada se elektrode pretvarača pobuđuju signalom $u = U \cos(\omega t)$, jeste [1]:



Sl. 1 – Prikaz jednostavne SAW linije za kašnjenje



Sl. 2 – Osnovni elementi SAW komponente

$$p(t,x) = 2NAU \sin\left(\frac{\pi\omega}{2\omega_0}\right) \frac{\sin(N\pi\omega/\omega_0)}{N \sin(\pi\omega/\omega_0)} \sin\left(\omega t - \frac{\pi x\omega}{d\omega_0}\right), \quad (1)$$

gde je $\omega_0 = 2\pi f_0 = \pi v/d$ sopstvena frekvencija pretvarača.

Napon na izlazu prijemnog pretvarača sa M traka u češlju i elektro-akustičkom konstantom B dat je izrazom [1]:

$$u_i = U_i \cos(\omega t - \psi), \quad (2)$$

gde je:

$$U_i = 4NMABU \sin^2\left(\frac{\pi\omega}{2\omega_0}\right) \frac{\sin(N\pi\omega/\omega_0) \sin(M\pi\omega/\omega_0)}{NM \sin(\pi\omega/\omega_0)}, \quad (3)$$

$$\text{a faza } \psi = \frac{\pi x\omega}{d\omega_0}. \quad (4)$$

Amplitudsko-frekvencijska karakteristika SAW komponente sa dva pretvarača i N traka u svakom od njih je:

$$|H(\omega)| = \frac{U_i}{U_u} = \left[\sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{\omega}{\omega_0}\right) \frac{\sin(N\pi\omega/\omega_0)}{N \sin(\pi\omega/\omega_0)} \right]^2. \quad (5)$$

Zbog neprilagođenosti impedansi na strani izvora i na strani opterećenja, uneseno slabljenje se povećava, pa se SAW komponenti dodaju kola za prilagođenje. U impedansi pretvarača dominira statička kapacitivnost, tako da se prilagođenje na strani izvora, odnosno opterećenja, obavlja pomoću odgovarajućeg induktiviteta.

Tabela 1

Približne vrednosti maksimalnog kašnjenja SAW linije za kašnjenje

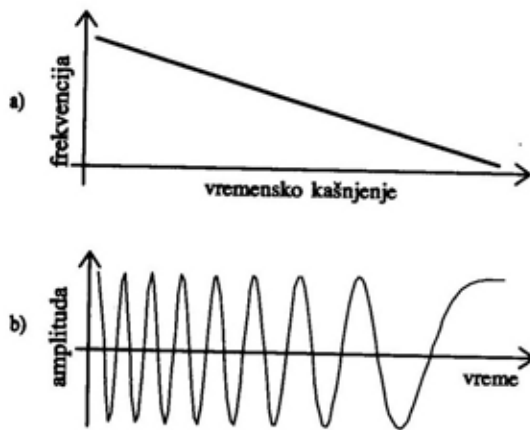
Frekvencijski opseg (MHz)	Kašnjenje (μ s)
10	80-100
20	60-80
50	45-60
100	20-30
200	5-15
500	2-5
1000	0,4-0,6

Zahvaljujući tehnologiji elektronske litografije, razvoj SAW komponenti omogućio je njihovu primenu u mikrotalansnom frekvencijskom opsegu (<2 GHz). Poboljšanja u oblasti materijala dovela su do znatno manjih unesenih gubitaka (<30 dB) i povećanja frekvencijskog opsega (1GHz). Maksimalna kašnjenja, koja se mogu ostvariti SAW linijama za kašnjenje, prikazana su u tabeli 1.

Linije za kašnjenje

Linija za kašnjenje je filter čije je kašnjenje funkcija ulazne frekvencije. Karakteristika linearne disperzivne linije za kašnjenje, ili čirp-filtera, prikazana je na slici 3.

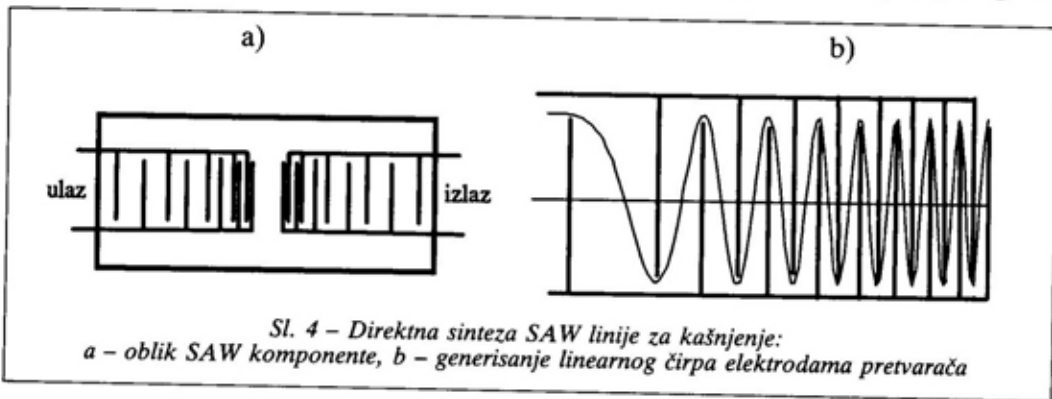
Postoje dva osnovna pristupa u projektovanju SAW linija za kašnjenje. Prvi



Sl. 3 - Karakteristika linearne disperzivne linije za kašnjenje: a - odnos trenutne frekvencije i kašnjenja, b - impulсни odziv filtera

značajnije potiskivanje bočnih snopova kada se očekuju varijacije temperature [3]. Treba napomenuti da je na bazi struktura RAC razvijen filter IMCON SAW [4] za kompresiju impulsa koji ima veliki TB proizvod, uz dobru linearnost i malu osetljivost na mehaničke promene.

Linije za kašnjenje i čirp-filter nalaze primenu u mnogim sklopovima za obradu signala. Najčešća primena je u radarskim sistemima za kompresijom impulsa čirp-signalom. Generisanje signala pri predaji obavlja se impulsnom pobudom SAW linije za kašnjenje (ekspander). Drugom linijom za kašnjenje (čirp-filterom) u prijemniku obavlja se kompresija signala



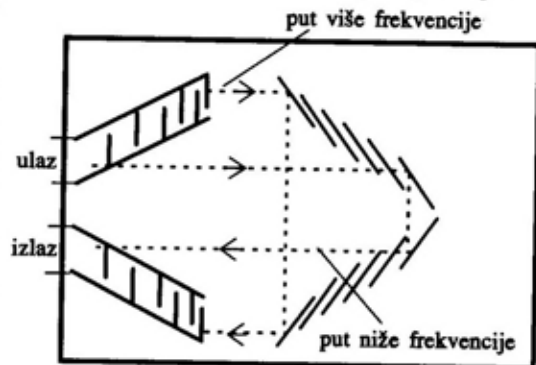
Sl. 4 - Direktna sinteza SAW linije za kašnjenje: a - oblik SAW komponente, b - generisanje linearnog čirpa elektrodama pretvarača

način podrazumeva da akustički talas putuje direktno od ulaznog do izlaznog pretvarača (IDT Inter - Digital Transducers), što je prikazano na slici 4.

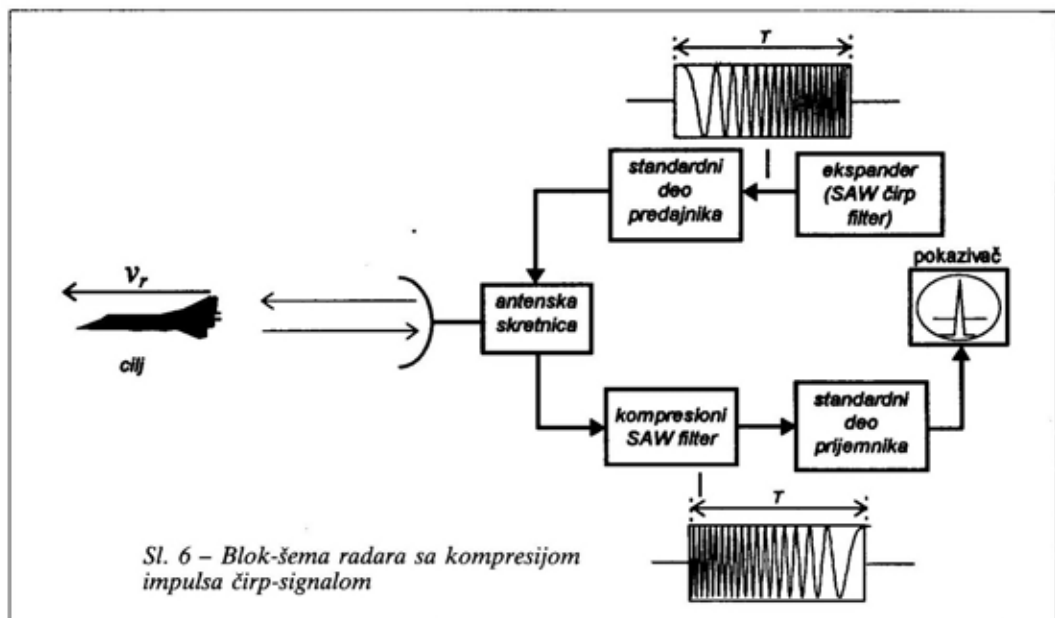
Kod drugog načina, na putu akustičkog talasa nalaze se reflektori kojima se utiče na fazu reflektovanih talasa (RAC Reflective Array Compressor), što je prikazano na slici 5.

Primena SAW linija za kašnjenje (čirp-kompresioni filter) sa refleksijom zvučnog talasa (RAC) omogućava veće vrednosti TB proizvoda. Međutim, ove strukture su manje temperaturno i mehanički stabilne, pa nije moguće postići

reflektovanog od cilja, što je prikazano na slici 6. U osnovi kompresije impulsa



Sl. 5 - SAW čirp-linija za kašnjenje sa refleksijom zvučnog talasa



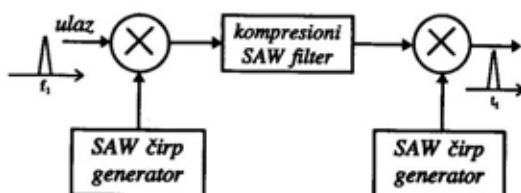
jeste postupak unutarimpulsne modulacije signala. Termin *kompresija impulsa* potiče od funkcije prijemnika, koji čirp-signal, reflektovan od cilja, pretvara u uski impuls, na svom izlazu, uz očuvanje ukupne energije.

Prilagođeni filter za složene radarske signale jeste istovremeno i kompresioni filter, koji široki impuls na ulazu trajanja T pretvara u uski impuls na izlazu. Vršna snaga ulaznog impulsa je mnogo manja od vršne snage izlaznog impulsa, ali im je ukupna energija jednaka.

Linije za kašnjenje koriste se i za izradu analognih Furijeovih transformatora. Množenjem ulaznog signala sa čirp-signalom, zatim konvolucijom sa čirpom (propuštanjem kroz čirp-filter) i množenjem dobijenog signala sa čirpom dobija se Furijeova transformacija signala. Furijeova transformacija dobijena na taj način zove se i *čirp-transformacija*, a sklop kojim se to postiže u literaturi poznat je kao *kompresivni* ili *mikrosken prijemnik*. Ovaj tip prijemnika, zbog osobine da u

kratkom intervalu odredi Furijeovu transformaciju širokopojasnog signala, nalazi široku primenu u sistemima za protivlektronsku borbu. Na slici 7 prikazana je blok-šema kompresivnog prijemnika.

Čirp-transformacija može se posmatrati i kao relacija inverzne Furijeove transformacije, tako da se modifikacijom prethodne blok-šeme dobija generator talasnih oblika. Dovođenjem Furijeove transformacije željenog signala na ulaz sklopa, na izlazu se dobija inverzna Furijeova transformacija. Za sintezu sinusnog signala frekvencije f , čija se Furijeova transformacija sastoji od dve spektralne linije na frekvencijama $\pm f$ koje su međusobno razdvojene $2f$, potreban ulaz u sklop predstavljaju dva impulsa vremen-



Sl. 7 – Blok-šema kompresivnog prijemnika

ski razmaknuta za $2f/k$. Blok-šema sintetizatora frekvencije, primenom čirp-filtera, SAW prikazana je na slici 8.

Promenom međusobnog kašnjenja među ulaznim impulsima frekvencija izlaznog signala može se menjati. Ova tehnika je primenjena pri generisanju koherentnih signala za frekvencijsko skakanje [3,5]. Na slici 9 prikazana je blok-šema sintetizatora frekvencije za signale sa frekvencijskim skakanjem.

Ako su $r_1(t)$ i $R_1(f)$, kao i $r_2(t)$ i $R_2(f)$ Furijeovi transformacioni parovi, tada je, prema teoremi konvolucije,

$$\int_{-\infty}^{\infty} r_1(\tau)r_2(t - \tau)d\tau \text{ i } R_1(f)R_2(f),$$

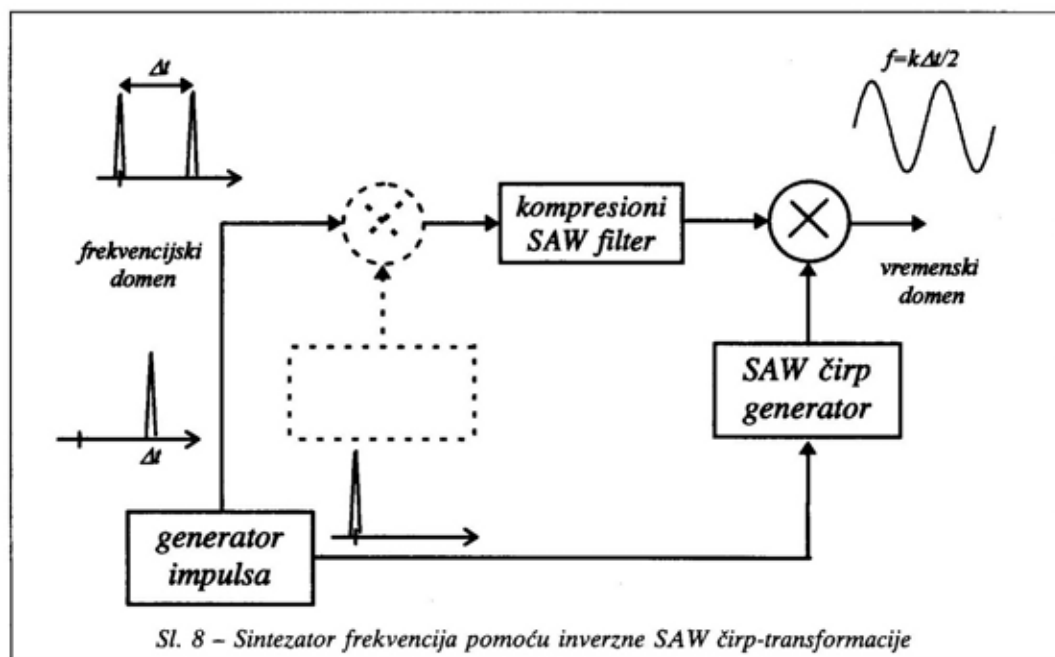
takođe, Furijeov transformacioni par. Ova teorema pokazuje da je konvoluciju moguće realizovati u vremenskom ili frekvencijskom domenu. Računanjem inverzne Furijeove transformacije proizvoda Furijeovih transformacija dva signala do-

bija se konvolucija u frekvencijskom domenu.

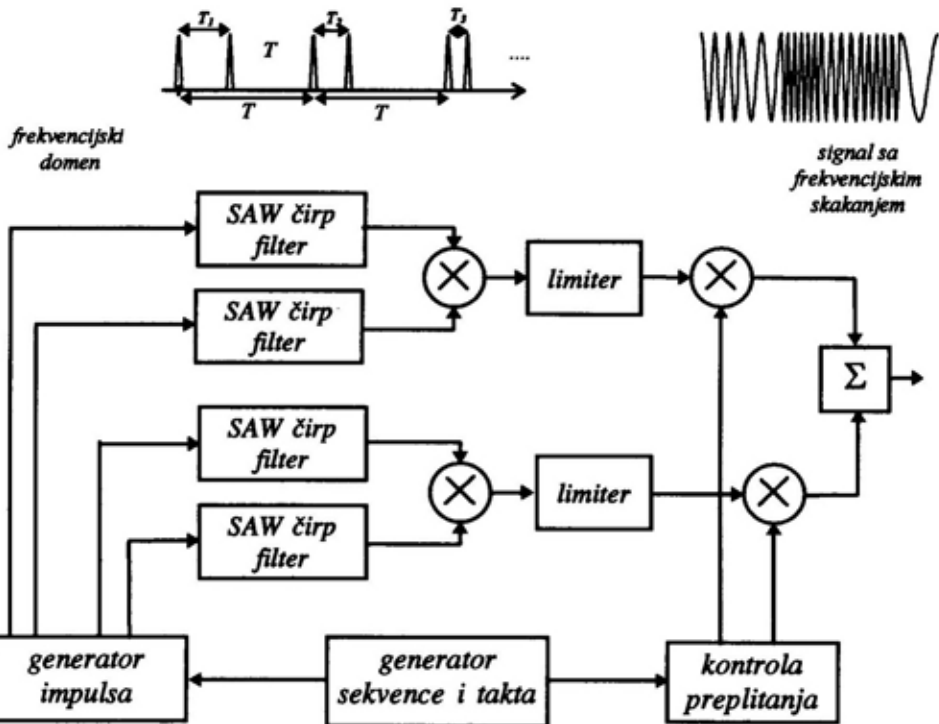
Ovom tehnikom, pomoću SAW čirp-filtera, projektuju se filteri sa promenljivim propusnim opsegom, kao i druge vrste programabilnih analognih filtera. U radarskoj tehnici se programabilnim filterima postiže prilagođeno filtriranje za proizvoljan skup predajnih signala. Dodatna prednost jeste da se programabilnim korelatorima može postići kompresija radarskog impulsa bez neželjenih bočnih snopova [6]. Na slici 10 prikazana je blok-šema programabilnog filtera (programabilnog konvolvera) koja je ostvarena primenom teoreme o konvoluciji.

Razvojem tehnologije SAW komponenti prethodna šema za konvoluciju zamenjena je SAW komponentama projektovanim za konvoluciju ulaznog i proizvoljnog referentnog signala.

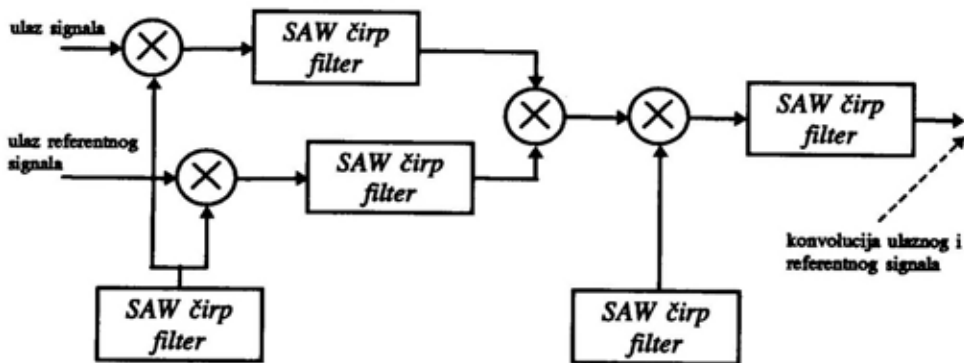
Promenljiva linija za kašnjenje je još jedna funkcija u analognoj obradi signala koja se može ostvariti primenom SAW



Sl. 8 - Sintezator frekvencija pomoću inverzne SAW čirp-transformacije



Sl. 9 – Sintezator frekvencija za signale sa frekvencijskim skakanjem

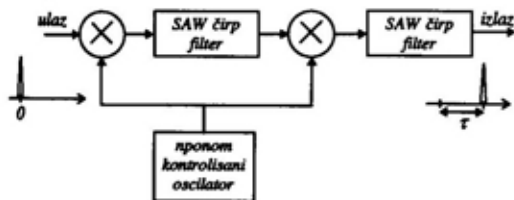


Sl. 10 – Blok-šema programabilnog filtera

komponenti. Na slici 11 prikazana je blok-šema promenljive linije za kašnjenje. Precizno vreme kašnjenja izlaznog impulsa određeno je frekvencijom signala iz naponom kontrolisanog oscilatora f i

strminom promene trenutne frekvencije impulsnog odziva čirp-filtera k :

$$\tau = \tau_0 + \frac{2\pi f}{k} \quad (6)$$

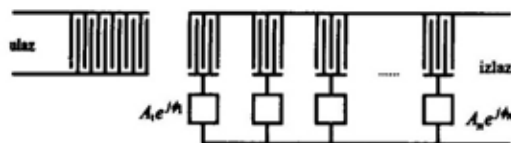


Sl. 11 – Blok-šema promenljive linije za kašnjenje

gde je τ_0 fiksno kašnjenje koje postoji nezavisno od frekvencije.

Fiksni korelatori i konvolveri

Čirp-filter SAW (čirp prilagođeni filter) jeste komponenta koja se koristi za detekciju linearno frekvencijski moduliranih signala. Linija za kašnjenje je fiksni korelator za linearni čirp-signal. Jedna od važnih prednosti SAW komponenti jeste da signali mogu biti odabirani duž puta prostiranja akustičkog talasa. Svaki odbirak može se akustički ili elektronski ponderisati odgovarajućom amplitudom ili fazom, što predstavlja direktnu realizaciju transverzalnog filtera. Na slici 12 prikazana je jedna od mogućih struktura ponderisane linije za kašnjenje. Ovakve strukture pogodne su za realizaciju prilagođenih i razdešenih filtera za fazno modulirane signale.



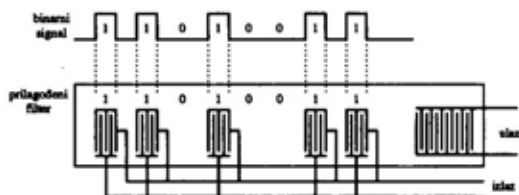
Sl. 12 – Linija za kašnjenje sa faznim i amplitudskim ponderisanjem

Ako se postavi da $A_n e^{j\phi_n}$ ima vrednosti -1 i 1 , može se generisati bifazno kodovan signal, odnosno formirati prilagođeni filter za binarni kod, kao što je prikazano na slici 13.

Osnovni nedostatak fiksnih korelatora jeste da se sekvenca ili signal na koji je korelator prilagođen može menjati samo pravljjenjem nove komponente.

Programabilni korelatori i konvolveri

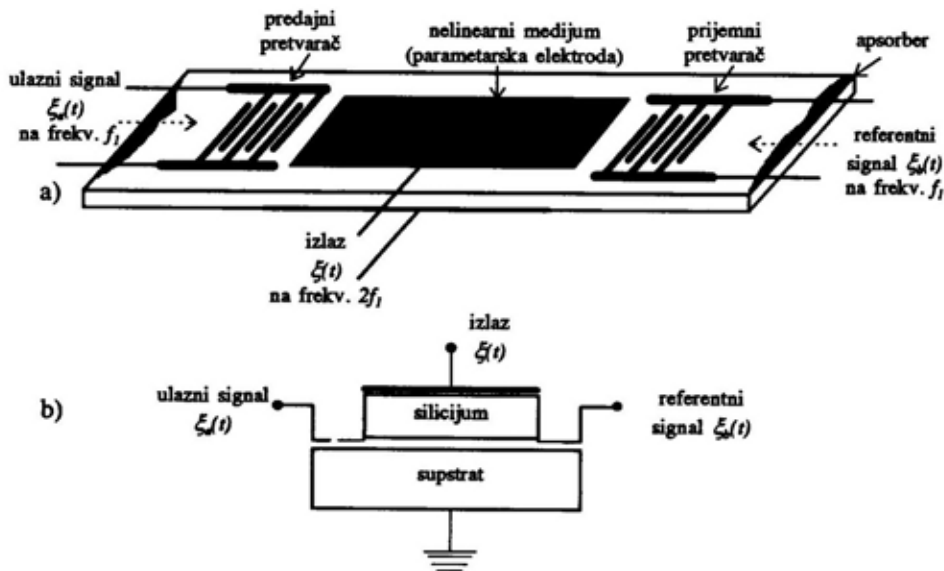
Područje upotrebe SAW komponenti prošireno je formiranjem programabilnih korelatora i konvolvera. Postoje dva osnovna načina kojima se to postiže. Prvi podrazumeva promenu impulsnog odziva SAW komponente dodavanjem jednostavnih prekidačkih sklopova i manipulisanjem pojedinačnim težinama. Ovaj metod pogodan je za programabilne prilagođene filtere i generatore digitalnih signala [2,7].



Sl. 13 – Prilagođeni SAW filter za binarni signal

Drugi način koristi nelinearnu interakciju između ulaznog i referentnog signala kako bi se dobila njihova konvolucija. Oblik ovog tipa komponente prikazan je na slici 14a.

Konvolveri se sastoje od supstrata na kojem su dva ulazna pretvarača koji konvertuju ulazne signale $\xi_a(t)$ i $\xi_b(t)$ u odgovarajuće površinske akustičke talase. Talasi se prostiru u suprotnim smerovima, a iznad površine supstrata nalazi se silicijum, kao što je prikazano na slici 14b. Oba signala se propuštaju u vremenskom intervalu T . U prostoru ispod silicijuma akustički talasi se međusobno pre-



Sl. 14 – Osnovni elementi SAW konvolvera: a – struktura, b – poprečni presek

klapaju, a zbog nelinearne interakcije električnog polja i potencijala na površini poluprovodnika pojavljuju se proizvodi mešanja. Za realizaciju konvolucije bitan je samo treći proizvod koji se stvara nelinearnošću drugog reda $\xi_a(t) \xi_b(t)$ [1].

Ako se izvrši integracija na dužini $L > 10\lambda_0$ ($\lambda_0 = v/f_0$) za ukupni izraz biće bitan baš željeni treći proizvod. Kada se tako dobijeni signal propusti kroz detektor ovojnice dobija se [1]:

$$\xi(t) = \int_{t-L/2v}^{t+L/2v} \xi_a(\tau) \xi_b(2t-\tau) d\tau. \quad (7)$$

Za odabranu dužinu oblasti integracije $L = Tv$ prethodni izraz predstavlja konvoluciju ulaznih signala, uz napomenu da je izlazni signal komprimovan u vremenu za faktor 2, a frekvencija signala na izlazu $\xi(t)$ dvostruko je viša. Fizički,

to je posledica prostiranja akustičkih talasa u suprotnim smerovima, pa je njihova relativna brzina $2v$. Interval T zavisi od osobina supstrata, i prema trenutnim tehnološkim mogućnostima može iznositi do 100 μ s.

Dinamički opseg programabilnih konvolvera ograničen je termičkim šumom za signale sa malom snagom, a za velike snage signala saturacijom u kristalu i varira od 30 do 50 dB, zavisno od konfiguracije.

Zaključak

SAW komponente omogućavaju realizaciju niza funkcija obrade signala u radarskim, sonarskim, komunikacionim i sistemima EW. Male dimenzije, niska cena i mala potrošnja karakteristike su koje ih čine interesantnim za realizaciju

kako vojnih tako i komercijalnih uređaja. Kompresija impulsa i njene mnogobrojne primene lako se postižu SAW linijama za kašnjenje i čirp-filterima. Značajna primena ovih komponenti jeste u sistemima za komunikaciju sa prenosom u proširenom spektru, gde se čitav niz funkcija (kompresija, sinhronizacija, detekcija prilagođenim ili razdešenim filterom, generisanje talasnih oblika) postiže SAW komponentama. Presretanje i detekcija signala u širokom frekventijskom opsegu, što je značajno u sistemima za protiv elektronsku borbu, postiže se primenom SAW komponenti u kompresivnom prijemniku.

Literatura:

- [1] Kostić, I. M.: Radiotehnički sklopovi i arhitekture, Pergemna, Podgorica, 1996.
- [2] Maines, J. D., Paige, E. G. S.: Surface-acoustic-wave components, devices and applications, Proc. IEE, IEE Reviews, Vol. 120, No.10R, October 1973, pp. 1078-1110.
- [3] Jack, M. A., Grant, P. M., Collins, J. H.: The Theory, Design, and Applications of Surface Acoustic Fourier-Transform Processors, Proc. of the IEEE, Vol. 68, No. 4, April 1980, pp. 450-468.
- [4] Martin, T. A.: The IMCON Pulse Compression Filter and its Applications, IEEE Trans. on microwave theory and techniques, vol. MTT-21, No. 4, April 1973, pp. 186-194.
- [5] Grant, P. M., Morgan, D. P., Collins, J. H.: Generation and Correlation of Digitally Controlled Coherent Frequency-Hopped Waveforms Using Surface Acoustic Wave Devices, Proc. of the IEEE, May 1976, pp. 826-828.
- [6] Zejak, A. J.: Razdešeni filtri u radarima sa fazno kodovanim signalom optimizovani po Doplerovom pomaku frekvencije, doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 1994.
- [7] Shreve, W. R.: Signal Processing Using Surface Acoustic Waves, IEEE Communications Magazine, Vol. 23, No. 4, April 1985, pp. 6-11.

Dr Dragan M. Knežević,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

METOD ANALITIČKOG DEFINISANJA REPREZENTATIVNIH VENTILA MEHANIČKIH SISTEMA ZA ZAŠTITU OD PRODORA UDARNOG TALASA U UNUTRAŠNJOST OBJEKTA

UDC: 621.646.5:623.459.72

Rezime:

Na originalan način analitički su definisani modeli procesa za tipične – karakteristične protivudarne ventile sa aksijalno pomičnim pokretnim sklopom za zaštitu od prodora vazdušnouidarnog talasa u unutrašnjost objekta. Modeli ventila definisani su u zavisnosti od otpornosti ventila na dejstvo impulsa pritiska vazdušnouidarnog talasa nuklearne eksplozije, geometrijskih karakteristika, karakteristika elastičnih elemenata i aerodinamičkih karakteristika sličnih ventila željenih nazivnih prečnika. Posebno je obrađen dinamički kriterijum za ocenu valjanosti ventila, izražen vremenom zatvaranja ventila nazivnih prečnika 100–200 mm, otpornosti do 900 kPa. Detaljno je izložen metod analitičkog definisanja koeficijenta otpora ventila i sproveden eksperimentalni postupak. Na osnovu dobijenih podataka, regresionom analizom, metodom najmanjih kvadrata, definisan je opšti analitički izraz koeficijenta otpora sličnih ventila koristeći pri tome metode matematičke statistike. Izvršen je izbor optimalnih i po otpornosti univerzalnih rešenja konstrukcija ventila.

Ključne reči: nuklearna eksplozija, vazdušnouidarni talas, zaštita, ventili, matematičko modeliranje, planiranje eksperimenta, metode matematičke statistike, aerodinamičke, dinamičke karakteristike, optimalna rešenja.

THE METHOD OF ANALYTICAL DEFINITION OF REPRESENTATIVE VALVES OF MECHANICAL SYSTEMS FOR PROTECTION FROM BLAST WAVES PENETRATION INSIDE THE BUILDING

Summary:

By original analytical way the paper defines models of process for typical anti-shock valves with axle moving texture for protection from penetration inside the building. Valve models are defined depending on valves resistance to pressure impulse of air-blast wave of nuclear explosion, geometrical characteristics, characteristics of elastic elements and aerodynamics characteristics of similar valves with desired nominal diameters. Dynamic criterion for estimation of valves, expressed by closing time of valves with diameters 100–200 mm, with resistance up to 900 kPa is given in particular. The paper also establishes the method of analytical definition of valve resistance coefficient and the experimental procedure is carried out. Using the obtained data, methods of mathematical statistics, regression analysis and the least square method, analytical expression of resistance coefficient of similar valves is defined. The selection of optimal solutions of valves construction, is done and criteria established for valve quality estimation.

Key words: nuclear explosion, air-blast wave, shelter valves, mathematical modelling, experimental planing, mathematical statistics methods, aerodynamics, dynamics characteristics, optimal solution.

Uvod

Zbog funkcionalnih veza između okoline i unutrašnjosti objekta, na objektima specijalne namene postoje otvori za kretanje, prolaz ljudi, dovod svežeg vazduha i sveže vode kao i odvod vazduha i otpadne vode. U ventilacione otvore (za dovod svežeg i odvod korišćenog vazduha) objekata specijalne namene ugrađuju se razne konstrukcije ventila i sistema ventila, koji predstavljaju i najosetljivije tačke takvih objekata. Kvalitet zaštite direktno zavisi od kvaliteta zaštite raznih otvora objekata specijalne namene.

Izbor sistema ventila mehaničkih sistema za zaštitu od prodora vazdušnog talasa (VUT-a) nuklearne i klasične eksplozije u unutrašnjost objekta, koji se ugrađuju u ventilacione otvore objekata, svodi se na dva reprezentativna tipa ventila:

- protivudarni ventili sa akcijalno pomičnim pokretnim sklopom,
- kombinovani protivudarni ventili sa membranom za regulaciju natpritiska.

Na najvećem broju objekata preovlađuju ventili i sistemi ventila koji se zatvaraju pod neposrednim dejstvom direktnog vazdušnog talasa.

Cilj istraživanja, obuhvaćenog ovim radom, jeste analitičko definisanje reprezentativnih ventila mehaničkih sistema za zaštitu od prodora VUT-a nuklearne i klasične eksplozije u unutrašnjost objekta. Cilj rada je da se izvedu analitički izrazi, kojima su definisana vremena zatvaranja ventila u zavisnosti od otpornosti, geometrijskih karakteristika i karakteristika elastičnih elemenata sličnih ventila, kao i analitički izrazi koeficijenata otpora ventila, odnosno otpora strujanju vazduha kroz ventile u funkciji njihovog prečnika i protoka vazduha. Zatim, na

osnovu analize teorijski i teorijski-eksperimentalno izvedenih izraza kojima su definisani ventili, uslova da su vremena zatvaranja ventila 2 ms za otpornost 900 kPa, izvršen je izbor optimalnih i univerzalnih rešenja ventila nazivnih prečnika 100; 150 i 200 mm, otpornosti 300; 600 i 900 kPa. Da bi se dostigao postavljeni cilj, potrebna je kompleksna analiza, koja obuhvata:

- definisanje analitičkih izraza vremena zatvaranja protivudarnih ventila i kombinovanih protivudarnih ventila sa membranom za regulaciju natpritiska i zaštitu od prodora VUT-a nastalog pri nuklearnoj i klasičnoj eksploziji u unutrašnjost objekta;

- definisanje analitičkih izraza koeficijenata otpora i otpora ventila u zavisnosti od protoka vazduha kroz ventile i prečnika ventila;

- uporednu analizu teorijskih i eksperimentalnih rezultata vremena zatvaranja protivudarnih ventila usled dejstva vazdušnog talasa.

Metod analitičkog definisanja protivudarnih ventila za zaštitu od prodora impulsa pritiska vazdušnog talasa nuklearne eksplozije u unutrašnjost objekta

Rad obuhvata jedan od mogućih pristupa analitičkog definisanja protivudarnih ventila namenjenih za zaštitu od prodora impulsa pritiska VUT-a nuklearne eksplozije u unutrašnjost objekta. Cilj istraživanja je da se izvedu analitički izrazi kojima su definisani ventili, odnosno da se definišu analitički izrazi vremena zatvaranja ventila i koeficijenta otpora i otpora ventila u zavisnosti od otpornosti, geometrijskih karakteristika,

karakteristika elastičnih elemenata, odnosno od protoka vazduha kroz ventile i prečnika ventila. Na osnovu analize teorijski izvedenih analitičkih izraza, kojima su definisani protivudarni ventili, uslova da su vremena zatvaranja ventila 2 ms za otpornosti 900 kPa, izvršiće se izbor optimalnih i univerzalnih rešenja ventila nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm, otpornosti 300, 600 i 900 Pa.

Korišćene oznake:

C – krutost opruge ventila,
 x – veličina pomeranja pokretnog sklopa ventila,

x_n – veličina ugiba opruge ventila,
 ω – kružna frekvencija,
 m – masa pokretnog sklopa ventila,
 m_m – masa membrane ventila,
 m_n – masa steznog sklopa membrane ventila,

A – napadna površina pokretnog sklopa ventila,

F_p – prinudna sila,
 p_f – pritisak u frontu direktnog VUT-a,

t – vreme za koje se odvija kretanje pokretnog sklopa ventila pod dejstvom pritiska p_f na putu x,

τ – vreme trajanja pozitivne faze VUT-a,

n – eksponent zavisano od nivoa pritiska u frontu VUT-a,

p_r – reflektovani pritisak VUT-a,
 t_z – vreme zatvaranja ventila,

D_1 – spoljni prečnik membrane ventila,

d_2 – prečnik osovine ventila,
 ρ_m – zapreminska masa materijala membrane ventila,

δ – debljina membrane ventila,
 $x_0 = h$ – hod pokretnog sklopa ventila,

v – brzina strujanja vazduha neposredno ispred ventila,

ρ_v – gustina vazduha,
 Q_1 – protok vazduha kroz ventil,
 d_1 – prečnik cilindričnog dela membrane,

ΔH – otpor strujanju vazduha kroz ventile – otpor ventila,

Q – zapreminski protok vazduha kroz ventil,

ξ – koeficijent otpora ventila,
 ϕ – relativna vlažnost vazduha,

t_v – temperatura vazduha,
 a_0, a_1, a_2, d i K_1 – konstante,

S^2_{nead} – disperzija neadekvatnosti,
 d_1 – broj članova regresionog polinoma,

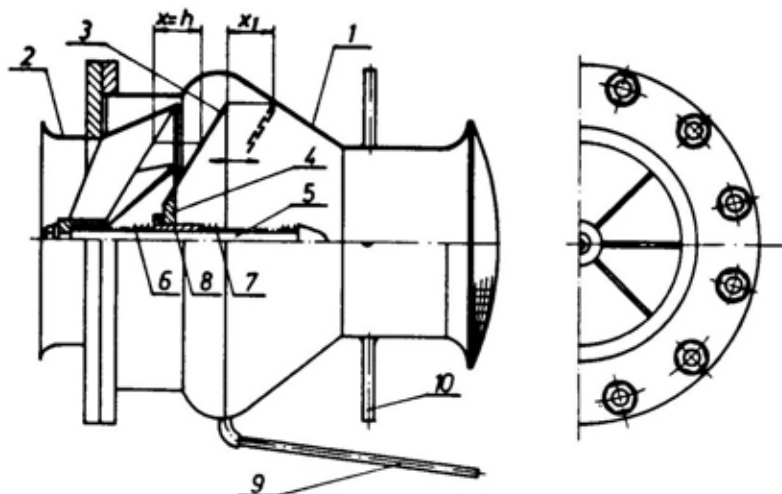
N – broj eksperimentalnih jedinica,
 n_1 i n_2 – stepeni slobode.

Uloga, namena i funkcionisanje protivudarnog ventila

Zadatak ventila je da spreči protok VUT-a u objekat kroz otvor za dovod svežeg vazduha i time spreči oštećenja koja bi mogao izazvati impuls pritiska VUT-a u sistemu ventilacije.

Koncepcija i konstrukciona rešenja ovih ventila trebalo bi da obezbede njihovu otpornost i funkcionalnost pri dejstvu impulsa pritiska VUT-a i otvaranje po prestanku njegovog dejstva, čime se obezbeduje slobodan protok vazduha. Na slici 1 prikazan je šematski izgled protivudarnog ventila (PUV).

Pri nailasku VUT-a na objekat, usmereni talas kroz kanal protivudarnog ventila dejstvom impulsa pritiska na konkavnu površinu membrane naglo je pomerena i zatvara otvor na izlaznom kanalu. Kada nastupi negativna faza VUT-a pokretni sklop ventila pod dejstvom potpritiska naglo će se pokrenuti u suprotnom smeru i prekinuti vezu sa spoljnom atmosferom.



Sl. 1 - Protivudarni ventil:

1 - telo ventila, 2 - izlazni kanal, 3 - membrana, 4 - navrtka membrane, 5 - osovina ventila, 6 - opruga ventila, 7 - opruga za negativnu fazu, 8 - vodica membrane ventila, 9 - cev za odvod kondenzata iz ventila, 10 - šipka za armiranje ventila

Pri ventilaciji skloništa ventil je otvoren, odnosno membrana se posredstvom opruga nalazi na rastojanju $x = h$ od krajnjeg položaja, kada je ventil zatvoren. Rastojanje $x_0 = h$ membrane pri normalnoj ventilaciji uslovljeno je maksimalnim dozvoljenim padom pritiska u ventilu, koji ne sme da pređe 200 Pa, što se postiže konstrukcijom ventila. Pri normalnoj ventilaciji (pri brzinama strujanja vazduha od 12 m/s), konstrukcija ventila trebalo bi da obezbedi stabilno strujanje vazduha.

Za protivudarne ventile, domaći i strani propisi nalažu da:

- otpor strujanju vazduha kroz ventil pri normalnoj ventilaciji ne sme biti veći od 200 Pa;

- ventili zatvaraju ka objektu pri natpritisku u frontu direktnog VUT-a od 30 kPa, a pri potpritisku od 10 kPa u suprotnom smeru;

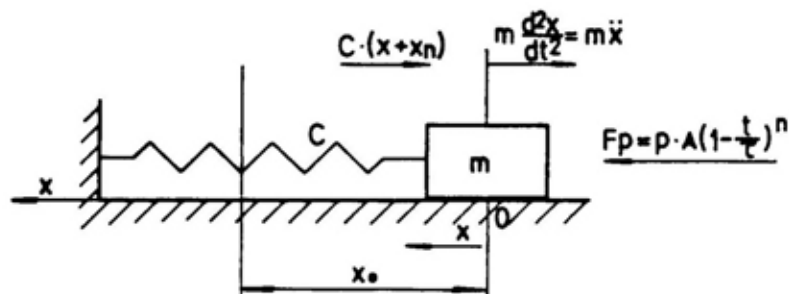
- vreme zatvaranja ventila iznosi 2 ms za ventile otpornosti 900 kPa.

Nalaženje analitičkog izraza vremena zatvaranja ventila

Mehanički model protivudarnog ventila prikazan je na slici 2. Masa (m) pokretnog sklopa ventila predstavljena je kao materijalna tačka, koja se pod dejstvom prinudne sile (F_p) kreće po horizontalnoj glatkoj ravni O_x . Na tačku deluje inercijalna sila $m\ddot{x} = m(d^2x/dt^2)$, sila u opruzi ventila $C(x + x_n)$, koja je proporcionalna rastojanju mase (m) od ravnotežnog položaja (x) i veličini ugiba (x_n) za koji je opruga prethodno sabijena u ravnotežnom položaju (radi sticanja stabilnog strujanja vazduha kroz ventil pri normalnoj ventilaciji). Iz uslova ravnoteže sila koje deluju na pokretni sklop ventila mase (m) [1, 2, 3, 4]:

$$m\ddot{x} + C(x + x_n) = F_p \quad (1)$$

dobija se diferencijalna jednačina sistema, oblika



Sl. 2 - Mehanički model protivudarnog ventila

$$\ddot{x} + \omega^2 \left(x + x_n - \frac{F_p}{C} \right) = 0 \quad (2)$$

Prinudna sila F_p može da se izrazi preko impulsa pritiska direktnog VUT-a:

$$F_p = p_f A \left(1 - \frac{t}{\tau} \right)^n \quad (3)$$

gde je:

p_f - pritisak u frontu direktnog VUT-a,
 t - vreme za koje se odvija kretanje pokretnog sklopa ventila pod dejstvom pritiska p_f (reda milisekunda),

τ - vreme trajanja pozitivne faze VUT-a (u sekundama),

n - eksponent zavisen od nivoa pritiska u frontu direktnog VUT-a.

Eksponent n , određen eksperimentalnim putem [1, 5], definisan je izrazom:

$$n = 1,9 p_f^{1/2} \quad (4)$$

Prema [1, 2, 5, 6] za reflektovane pritiske VUT-a od 3, 6 i 9 bara, odgovarajuće vrednosti pritiska u frontu direktnog VUT-a, računane na osnovu funkcionalne veze [1, 5, 7]:

$$p_r = 2p_f + \frac{6p_f^2}{p_f + 7,2} \text{ [bar]} \quad (5)$$

iznose $p_{r1} = 1,08$; $p_{r2} = 1,86$ i $p_{r3} = 2,53$ bar, respektivno.

Diferencijalna jednačina (2) rešava se iz uslova da se zatvaranje pokretnog sklopa ventila obavlja pod dejstvom impulsa pritiska, čije je vreme (τ) znatno duže od vremena zatvaranja ventila, tj. $t/\tau \ll 1$. Odnos $t/\tau \ll 1$ može da se zanemari u odnosu na jedinicu. Iz ove analize sledi da ventil zatvara prinudna sila F_p koja ima konstantnu vrednost

$$F_p = p_f \frac{\pi}{4} (D_1^2 - d_2^2).$$

Opšte rešenje diferencijalne jednačine (2) ima oblik:

$$x = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t + \frac{F_p}{C} - x_n \quad (6)$$

Iz početnih uslova određuju se konstante integracije C_1 i C_2 :

1. $t = 0$; $x = -x_n$, dobija se konstanta integracije $C_1 = -F_p/C$

2. $t = 0$; $dx/dt = \dot{x} = 0$, dobija se konstanta integracije $C_2 = 0$

Nakon uvođenja vrednosti za integracione konstante C_1 i C_2 u izraz za x , dobija se:

$$x = \frac{F_p}{C} (1 - \cos \omega t) - x_n \quad (7)$$

Rešenjem jednačine (7) po vremenu t i uvođenjem izraza za prinudnu silu, dobija se:

$$t = \left(\frac{m}{C}\right)^{1/2} \arccos \left[1 - \frac{C(x + x_n)}{p_f \frac{\pi}{4} (D_1^2 - d_2^2)} \right]$$

Iz graničnog uslova: $t = t_z$, $x = x_0$ i nakon dimenzionalnog sređivanja dobija se analitički izraz vremena zatvaranja ventila t_z , oblika:

$$t_z = \left(\frac{m}{1000C}\right)^{1/2} \arccos \left[1 - \frac{4000C(x + x_n)}{p_f \pi (D_1^2 - d_2^2)} \right] \quad (8)$$

gde je:

- t_z [s] – vreme zatvaranja ventila;
- m [kg] – masa pokretnog sklopa ventila;
- x_0 [m] – hod pokretnog sklopa ventila;
- x_n [m] – veličina za koju je opruga prethodno napregnuta;
- C [N/mm] – krutost opruge ventila;
- p_f [N/m²] – pritisak u frontu direktnog VUT-a;
- D_1 [m] – spoljni prečnik membrane ventila;
- d_2 [m] – prečnik osovine ventila.

U analitičkom izrazu vremena zatvaranja ventila figurišu veličine: masa pokretnog sklopa ventila m i ugib x_n , koje je potrebno analitički definisati.

Analitički izraz mase pokretnog sklopa

Masa pokretnog sklopa ventila sastoji se od mase membrane i steznog sklopa, tj:

$$m = m_m + m_n \quad (9)$$

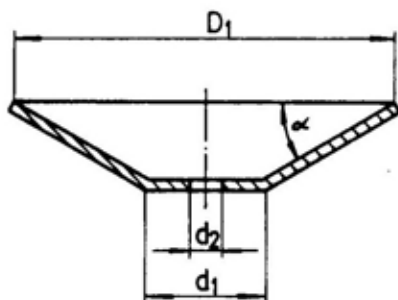
Šematski izgled membrane ventila prikazan je na slici 3.

Masa membrane ventila definisana je izrazom:

$$m_m = \rho_m \frac{\pi \delta}{4000} \left[\frac{1}{\cos \alpha} (D_1^2 - d_1^2) + (d_1^2 - d_2^2) \right] \text{ [kg]} \quad (10)$$

gde je:

- ρ_m [kg/m³] – zapreminska masa materijala membrane ventila,
- δ [mm] – debljina membrane ventila,
- D_1, d_1, d_2 [m] – odgovarajući prečnici membrane ventila.



Sl. 3 – Membrana protivudarnog ventila

Masa steznog sklopa membrane ventila [1, 2] data je u funkciji nazivnog prečnika ventila (tabela 1).

Analitičko definisanje izraza ugiba x_n opruga ventila

Za stabilno strujanje vazduha kroz ventile pri normalnoj ventilaciji potrebno je da sila u opruzi bude jednaka ili veća od sile koja deluje na pokretni sklop ventila, pri brzini strujanja vazduha kroz ventil, $v = 12$ m/s [1, 2, 8], odnosno:

$$Cx_n \geq \rho Q_1 v \quad (11)$$

odakle je:

$$x_n \geq \frac{\rho_v Q_1 v}{C} \quad (12)$$

Ulazni podaci za protivudarne ventile

Veličina i oznaka		Nazivni prečnik ventila		
		PUV-100	PUV-150	PUV-200
Spoljni prečnik membrane ventila	D_1 [m]	0,158	0,230	0,306
Prečnik cilindričnog dela membrane	d_1 [m]	0,053	0,060	0,074
Prečnik otvora membrane ventila	d_2 [m]	0,024	0,032	0,036
Ugao nagiba membrane	α [°]	30	30	30
Masa steznog sklopa ventila	m_n [kg]	0,105	0,175	0,277
Zapreminska masa materijala membrane	ρ_m [kg/m ³]	2600	2600	2600
Debljina membrane ventila	δ [mm]	2,5	2,5	2,5
Krutost opruge ventila	C [N/mm]	2,4	2,4	2,4
Vreme zatvaranja ventila (pri $p_f = 253000$ N/m ²)	t_z [s]	0,0020	0,0020	0,0020
Pritisak u frontu direktnog VUT-a	p_f [N/m ²]	253000	253000	253000

gde je:

$F_v = \rho_v Q_1 v$ – sila u struji vazduha,

$Q_1 = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - d_2^2) v$ – protok vazduha

kroz ventil.

Nakon uvođenja Q_1 u nejednačinu (12) i dimenzionalnog sređivanja dobija se analitički izraz ugiba x_n opruge ventila, kojim se obezbeđuje stabilno strujanje vazduha kroz ventil [1, 8]:

$$x_n \geq \frac{\rho_v \pi}{4000C} (D_1^2 - d_2^2) v^2 \quad (13)$$

gde je:

ρ_v [kg/m³] – gustina vazduha ($\rho_v = 1,2$ kg/m³),

C [N/mm] – krutost opruge ventila,

D_1 i d_2 [m] – odgovarajući prečnici ventila,

v [m/s] – brzina strujanja vazduha neposredno ispred membrane ventila ($v = 12$ m/s).

Analitički izrazi kojima je definisano vreme zatvaranja ventila

Analitički izrazi kojima je definisan problem određivanja vremena zatvaranja protivudarnih ventila su:

$$t_z = \left(\frac{m}{1000C} \right)^{1/2} \arccos \left[1 - \frac{4000C(x_0 + x_n)}{p_f \pi (D_1^2 - d_2^2)} \right]$$

$$m = m_m + m_n$$

$$m_m = \rho_m \frac{\pi \delta}{4000} \left[\frac{1}{\cos \alpha} (D_1^2 - d_1^2) + (d_1^2 - d_2^2) \right]$$

m_n = vidi tabelu 1

$$x_n \geq \frac{\rho_v \pi}{4000C} (D_1^2 - d_2^2) v^2$$

Da bi se postigao postavljeni cilj, potrebno je doći do funkcionalne veze između koeficijenta otpora, odnosno otpora ventila, prečnika ventila i protoka vazduha kroz ventil.

Metod nalaženja analitičkog izraza koeficijenta otpora i otpora protivudarnih ventila

Analiziran je uticaj prečnika protivudarnog ventila na koeficijent otpora ξ ventila. Cilj je da se dođe do funkcionalne veze koja bi kvalitativno i kvantitativno iskazala uticaj dva pomenuta faktora na koeficijent otpora ventila. Koeficijent otpora ventila je funkcija nekoliko faktora:

$$\xi = f(D, h, \rho, \varphi, v, t_v) \quad (14)$$

od kojih najveći uticaj imaju prečnik ventila i hod pokretnog sklopa ventila.

Opis eksperimenta

Pad pritiska ΔH u ventilu proporcionalan je dinamičkom pritisku [1, 9, 10, 11, 12]:

$$\Delta H = \xi \frac{\rho v^2}{2} \quad (15)$$

Ako se u jednačinu (14) brzina strujanja vazduha v iza ventila izrazi preko protoka Q i reši po ξ , dobija se izraz koeficijenta otpora ventila za fiksirani položaj pokretnog sklopa ventila, oblika:

$$\xi = \frac{\pi^2 D^4 \Delta H}{8 \rho Q^2} \quad (16)$$

gde je:

D [m] – nazivni prečnik ventila,

ΔH [Pa] – otpor strujanju vazduha kroz ventil,

ρ [kg/m³] – zapreminska masa vazduha,

Q [m³/s] – zapreminski protok vazduha.

Analizom jednačine (16) lako je uočiti da su pri fiksnom hodu pokretnog sklopa ventila koeficijent otpora ventila

i odnos H/Q^2 konstantni, pri bilo kojem protoku. Promenom hoda pokretnog sklopa ventila direktno se utiče na otpor strujanju vazduha kroz ventil, definisan izrazom:

$$\Delta H = \frac{8\rho}{\pi^2 D^4} \xi Q^2 \quad (17)$$

U izrazu za ΔH ne figuriše hod h pokretnog sklopa, pa analizom izraza (17) nije moguća kvalitativna ocena uticaja hoda na otpor ventila, već samo logička. Cilj je da se dođe do analitičkog izraza, koji bi kvalitativno iskazao uticaj prečnika ventila i hoda pokretnog sklopa ventila na koeficijent otpora ventila, odnosno na otpor ventila. U tom smislu bilo je potrebno izvršiti eksperimentalna istraživanja. Eksperiment se sastoji u tome da su za tri slična ventila nazivnih prečnika 100; 150 i 200 mm, pri hodu pokretnog sklopa ventila od 26; 40 i 48 mm, mereni otpori ΔH ventila i dinamički pritisak ($p_d = \rho v^2/2$), odnosno protok Q vazduha kroz ventile. Na osnovu izmerenih podataka za otpore ΔH ventila i protoke Q vazduha kroz ventile, na osnovu izraza (16) računane su odgovarajuće vrednosti za koeficijente otpora ξ_i ventila. Ovde se radi o dvotraktornom eksperimentu, pošto su veličine (φ , ρ , v , t_v) funkcionalne veze (14) konstantni. Randomizacija, planiranje i izvođenje eksperimenta izvršeno je po principima planiranog eksperimenta.

Rezultati eksperimenta

Sredeni rezultati merenja za koeficijente otpora ξ_i ventila nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm, pri hodu pokretnog sklopa ventila od 26, 40 i 48 mm dati su u tabeli 2.

Tabela 2

Rezultati za koeficijent otpora ventila ξ

D [mm]	h [mm]	Koeficijent otpora ξ_i ventila			ξ
		Merenje			
		1	2	3	
100	26	3,70	3,72	3,71	3,71
	40	2,70	2,68	2,70	2,693
	48	2,40	2,42	2,41	2,41
150	26	4,20	4,25	4,16	4,2033
	40	3,10	3,15	3,10	3,1169
	48	2,70	2,65	2,70	2,6833
200	26	5,0	4,90	4,80	4,90
	40	3,70	3,6	3,55	3,617
	48	3,10	3,15	3,20	3,15

Broj eksperimentalnih jedinica iznosi $N = abn$, gde je:

$a = 3$ – nivo faktora D;

$b = 3$ – nivo faktora h i

$n = 3$ – broj ponovljenih očitavanja.

$N = abn = 27$ eksperimentalnih jedinica.

Obrada eksperimentalnih rezultata istraživanja

Za nalaženje analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila, na osnovu eksperimentalnih podataka datih u tabeli 2, korišćene su metode matematičke statistike:

1. Provera jednorodnosti disperzija na osnovu Cohrenovog kriterijuma, tj. provera normalnosti raspodele eksperimentalno dobijenih podataka ξ_i koeficijenta otpora ventila;

2. Disperziona analiza, tj. provera da li na koeficijent otpora ventila znatno utiču prečnik ventila i hod pokretnog sklopa ventila;

3. Regresiona analiza, pomoću koje se metodom najmanjih kvadrata dolazi

do analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila.

4. Provera adekvatnosti analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila.

Detaljnije o ovim metodama razmatra se u literaturi [1, 9, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24]. Postupak provere jednorodnosti disperzija i disperziona analiza su, zbog obimnosti materije, izostavljeni, ali su dati zaključci.

Disperzije su jednorodne sa verovatnoćom od 95%, tj. raspodela rezultata za koeficijente otpora ventila ξ_i je normalna.

Na koeficijent otpora ventila ξ znatno utiču prečnik ventila D i hod pokretnog sklopa ventila h. To znači da ima smisla pristupiti nalaženju analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila u funkciji prečnika i hoda pokretnog sklopa ventila.

Regresionom analizom, metodom najmanjih kvadrata, dolazi se do analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila, koristeći eksperimentalne podatke za ξ , date u tabeli 2. Postoji više analitičkih pretpostavki za ξ . Jedna od njih, pogodna za primenu, bila bi da je [1, 22, 24, 25, 26]:

$$\xi = KD^c h^d \quad (18)$$

Ako se jednačina (18) logaritmuje:

$$\ln \xi = \ln K + c \ln D + d \ln h \quad (19)$$

i uvede smena:

$$\begin{aligned} Y &= \ln \xi; \quad a_0 = \ln K; \quad a_1 = c; \\ X_1 &= \ln D; \quad a_2 = d; \quad X_2 = \ln h \end{aligned} \quad (20)$$

dobija se jednačina linearne regresije oblika $Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2$.

Ako se uzme u obzir greška eksperimenta ε dobiće se izraz oblika:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \varepsilon \quad (21)$$

Određivanje konstanti (a_0 , a_1 , a_2) vrši se obradom eksperimentalnih podataka metodom najmanjih kvadrata.

Metoda se sastoji u minimiziranju odstupanja eksperimentalnih rezultata od regresionog polinoma, oblika:

$$[\varepsilon(Y_i - a_0 - a_1X_{1i} - a_2X_{2i})^2] = (\varepsilon^2)_{\min} \quad (22)$$

Minimalna odstupanja nalaze se diferenciranjem prethodne funkcije po traženim parametrima i izjednačavanjem izvoda sa nulom:

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial a_0} = -2 \sum (Y_i - a_0 - a_1X_{1i} - a_2X_{2i}) = 0$$

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial a_1} = -2 \sum (Y_i - a_0 - a_1X_{1i} - a_2X_{2i}) X_{1i} = 0 \quad (23)$$

$$\frac{\partial \varepsilon^2}{\partial a_2} = -2 \sum (Y_i - a_0 - a_1X_{1i} - a_2X_{2i}) X_{2i} = 0$$

Nakon sređivanja dobija se sistem jednačina:

$$Na_0 + a_1 \sum X_{1i} + a_2 \sum X_{2i} = \sum Y_i$$

$$a_0 \sum X_{1i} + a_1 \sum X_{1i}^2 + a_2 \sum X_{2i} X_{1i} = \sum X_{1i} Y_i \quad (24)$$

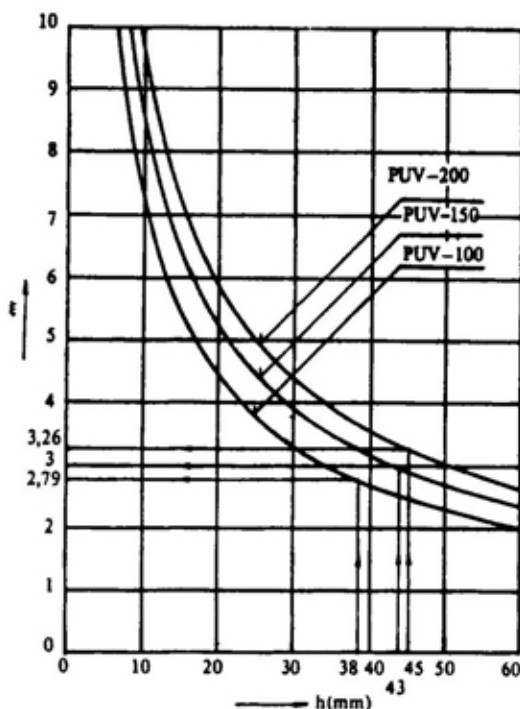
$$a_0 \sum X_{2i} + a_1 \sum X_{1i} X_{2i} + a_2 \sum X_{2i}^2 = \sum X_{2i} Y_i$$

Nakon obrade eksperimentalnih podataka i rešenja sistema jednačina dobija se analitički izraz koeficijenta otpora ventila, oblika:

$$\xi = 6,0865 \cdot \frac{D^{0,398}}{h^{0,718}} \quad (25)$$

Grafički prikaz analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila dat je na slici

4. Potrebno je izvršiti proveru adekvatnosti analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila.



Sl. 4 – Grafički prikaz analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila

Provera adekvatnosti analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila

Provera adekvatnosti analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila vrši se upoređenjem koeficijenta odnosa disperzija V_{01} sa Fisherovim kriterijumom F . Koeficijent odnosa disperzija V_{01} računa se po obrascu:

$$V_{01} = \frac{S_{nead}^2}{S_{sar}^2} \quad (26)$$

gde je:

S_{nead}^2 – disperzija neadekvatnosti;
 S_{sar}^2 – srednja disperzija.

Disperzija neadekvatnosti računa se po obrascu:

$$S_{\text{nead}}^2 = \frac{1}{N - d_1} (\bar{\xi}_i - \xi_{\text{rac}})^2 \quad (27)$$

Stepen slobode za disperziju neadekvatnosti je: $N - d_1 = 27 - 3 = 24$,

gde je:

N – broj eksperimentalnih jedinica;

d_1 – broj članova regresivnog polinoma;

ξ_{rac} – vrednost koeficijenta otpora ventila, računata na osnovu dobijenog analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila.

Provera adekvatnosti analitičkog izraza koeficijenta otpora ξ ventila izvršena je i prikazana u tabeli 3.

Tabela 3

Provera adekvatnosti

D [mm]	h [mm]	ξ	ξ_{rac}	$(\xi - \xi_{\text{rac}})^2$
100	26	3,71	3,6690	$1,6783 \cdot 10^{-3}$
	40	2,6933	2,6929	0,0
	48	2,410	2,3625	$2,2480 \cdot 10^{-3}$
150	26	4,2033	4,3116	$1,1733 \cdot 10^{-2}$
	40	3,1169	3,1646	$2,2786 \cdot 10^{-3}$
	48	2,6833	2,7763	$8,6609 \cdot 10^{-3}$
200	26	4,90	4,8347	$4,2649 \cdot 10^{-3}$
	40	3,617	3,5486	$4,6838 \cdot 10^{-3}$
	48	3,15	3,1132	$1,3552 \cdot 10^{-3}$
Ukupno:				$3,6903 \cdot 10^{-2}$

Disperzija neadekvatnosti iznosi:

$$S_{\text{nead}}^2 = 0,6151 \cdot 10^{-2}$$

Koeficijent odnosa disperzije V_{01} iznosi:

$$V_{01} = \frac{S_{\text{nead}}^2}{S_{\text{sr}}^2} = \frac{0,6151 \cdot 10^{-2}}{0,467 \cdot 10^{-2}} = 1,317,$$

pri čemu je srednja disperzija S_{sr}^2 definisana izrazom:

Tabela 4

Vrednosti aritmetičkih sredina ξ_i i disperzija rezultata $S_{\xi_i}^2$

D [mm]	h [mm]	ξ_i	$S_{\xi_i}^2$	Stepen slobode
100	26	3,71	$1,0 \cdot 10^{-2}$	2
	40	2,6933	$0,0134 \cdot 10^{-2}$	2
	48	2,410	$1,0 \cdot 10^{-2}$	2
150	26	4,2033	$0,2045 \cdot 10^{-2}$	2
	40	3,1169	$0,0834 \cdot 10^{-2}$	2
	48	2,6833	$0,048 \cdot 10^{-2}$	2
200	26	4,90	$1,0 \cdot 10^{-2}$	2
	40	3,617	$0,5689 \cdot 10^{-3}$	2
	48	3,15	$0,25 \cdot 10^{-3}$	2
Ukupno:			$4,2032 \cdot 10^{-2}$	18

$$S_{\text{sr}}^2 = \frac{1}{ab} \sum S_{\xi_i}^2 \quad (28)$$

gde je:

$$S_{\xi_i}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_1^n (\xi_i - \bar{\xi})^2 - \text{disperzija eksperimentalnih rezultata,}$$

$$\bar{\xi} = \frac{1}{n} \sum_1^n \xi_i - \text{aritmetička sredina jed-}$$

ne kombinacije nivoa,

$\sum S_{\xi_i}^2$ – zbir disperzija.

Vrednosti aritmetičkih sredina $\bar{\xi}_i$ i disperzija rezultata $S_{\xi_i}^2$ date su u tabeli 4.

Srednja disperzija iznosi:

$$S_{\text{sr}}^2 = \frac{1}{ab} \sum S_{\xi_i}^2 = \frac{1}{3 \cdot 3} 4,2032 \cdot 10^{-2} = 0,467$$

Fisherov kriterijum F za verovatnoću od 99% i stepene slobode: $n_1 = N - d_1 = 27 - 3 = 24$, i $n_2 = ab(n - 1) = 3 \cdot 3(3 - 1) = 18$, iz tablice prema [1, 22] iznosi: $F = 4,01$. Pošto je koeficijent $V_{01} = 1,317 < 4,01 = F$, znatno manji od Fisherovog kriterijuma, sledi za-

ključak da je dobijeni analitički izraz koeficijenta otpora ventila adekvatan verovatnoći od 99%.

Analitički izrazi kojima su definisani protivudarni ventili

Protivudarni ventili definisani su analitičkim izrazima:

$$t_z = \left(\frac{m}{1000C} \right)^{1/2} \arccos \left[1 - \frac{4000C(x + x_n)}{\rho_f \pi (D_1^2 - d_2^2)} \right] \quad (8)$$

$$m = m_m + m_n \quad (9)$$

$$m_m = \rho_m \frac{\pi \delta}{4000} \left[\frac{1}{\cos \alpha} (D_1^2 - d_1^2) + (d_1^2 - d_2^2) \right] \quad (10)$$

$m_n =$ vidi tabelu 1

$$x_n \geq \frac{\rho_v \pi}{4000C} (D_1^2 - d_2^2) v^2 \quad (13)$$

$$\xi = 6,0865 \cdot \frac{D^{0,398}}{h^{0,718}} \quad (25)$$

$$\Delta H = \frac{8\rho}{\pi^2 D^4} \xi Q^2 \quad (17)$$

Rešenje diferencijalne jednačine (2) u [1, 2, 8] glasi:

$$T_z = 2 \left[\frac{2m(x_0 + x_n)}{\rho_f \pi (D_1^2 - d_2^2) - 4000C(x_0 + x_n)} \right]^{1/2} \quad (29)$$

Izbor optimalnih karakteristika ventila

Do optimalnih karakteristika (rešenja) protivudarnih ventila dolazi se iz uslova:

– da vremena zatvaranja ventila otpornosti 900 kPa budu 2 ms;

– da protok vazduha kroz ventile bude nominalan, tj. $Q = Q_{nom}$;

– za proračunate vrednosti hoda pokretnog sklopa ventila, koeficijent otpora ventila je optimalan.

Na osnovu jednačina (8), (9), (10), (13), (17) i (25) konkretnih geometrijskih veličina, datih u tabeli 1, i postavljenog kriterijuma vremena zatvaranja ventila 2 ms za ventile otpornosti 900 kPa, izračunate su optimalne karakteristike ventila: $x_0 = h$; m_m , x_n , ξ_{opt} , Q_n i ΔH_n , nazivnih prečnika 100; 150 i 200 mm i prikazane su u tabeli 5.

Na osnovu analitičkih izraza (8) i (29) vremena zatvaranja ventila i ulaznih podataka za protivudarne ventile, datih u tabeli 1, konstruisan je dijagram zavisnosti vremena zatvaranja ventila nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm od pritiska u frontu direktnog VUT-a (slika 5).

Dijagram na slici 5 predstavlja zakonitost zatvaranja sličnih ventila, definisan analitičkim izrazima (8) i (29), prečnika 100, 150 i 200 mm, pri dejstvu impulsa pritiska VUT-a nastalog pri nuklearnoj eksploziji.

Analitički izrazi optimalnih otpora ventila u funkciji protoka vazduha kroz ventile

Ako se u opšti izraz (17) koeficijenta otpora ventila uvrsti protok Q [m^3/h], dobija se izraz oblika:

$$\xi = \frac{\pi^2 D^4}{8\rho} \frac{\Delta H}{Q^2} 3600^2 \quad (30)$$

Rešenjem izraza za ξ po ΔH dobija se opšti oblik analitičkog izraza otpora ventila:

$$\Delta H = \frac{8\rho}{\pi^2 D^4} \frac{Q^2}{3600^2} \xi \quad (31)$$

Veličina	Oznaka	Oznaka i tip ventila		
		PUV-100	PUV-150	PUV-200
Nazivni prečnik ventila	D [mm]	100	150	20
Vreme zatvaranja ventila	t_z [s]	0,0020	0,0020	0,0020
Ugib opruge ventila	x_n [m]	0,0015	0,0030	0,0050
Hod pokretnog sklopa ventila – optimalni	α [°]	0,037	0,040	0,040
Spoljni prečnik membrane ventila	D_1 [m]	0,158	0,230	0,306
Prečnik otvora membrane ventila	d_2 [m]	0,024	0,032	0,036
Krutost opruge ventila	C [N/mm]	2,4	2,4	2,4
Pritisak u frontu direktnog VUT-a	p_f [N/m ²]	253000	253000	253000
Masa pokretnog sklopa ventila	m [kg]	0,247	0,479	0,818
Koeficijent otpora ventila	ξ_{opt}	2,79	3,0	3,26
Protok vazduha kroz ventil – nominalni	Q_n [m ³ /h]	188	375	750
Otpor ventila – nominalni	ΔH_n [N/m ²]	74,10	62,54	86

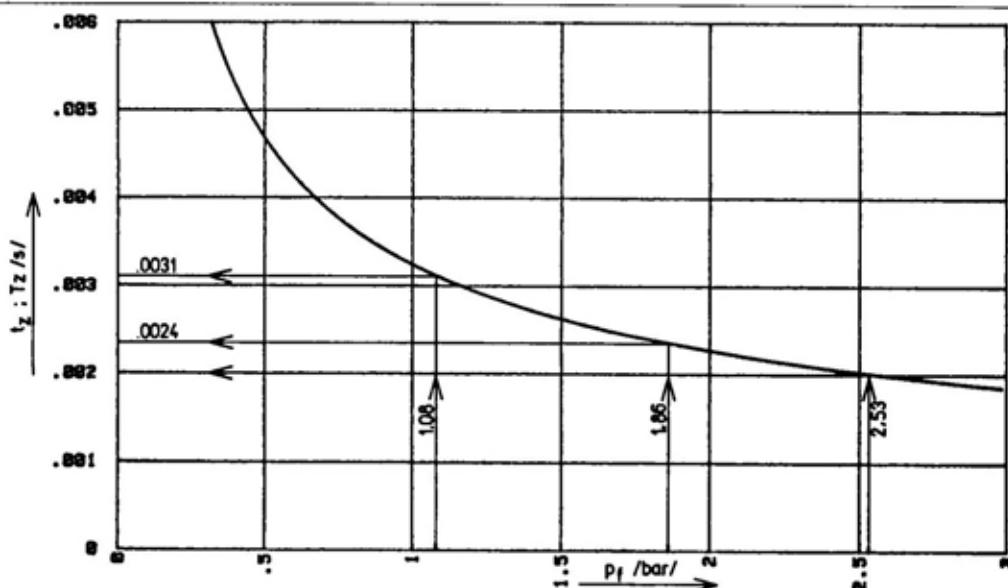
Analitički izrazi optimalnih otpora ventila ΔH_{opt} dobijaju se uvođenjem odgovarajućih optimalnih vrednosti koeficijenata otpora ventila $\xi = \xi_{opt}$ (tabela 5) u jednačinu (31). Analitički izrazi optimalnih otpora ventila PUV-100, PUV-150 i PUV-200 glase:

$$\Delta H_{opt} = 2,0962 \cdot 10^{-3} Q^2 \quad (32)$$

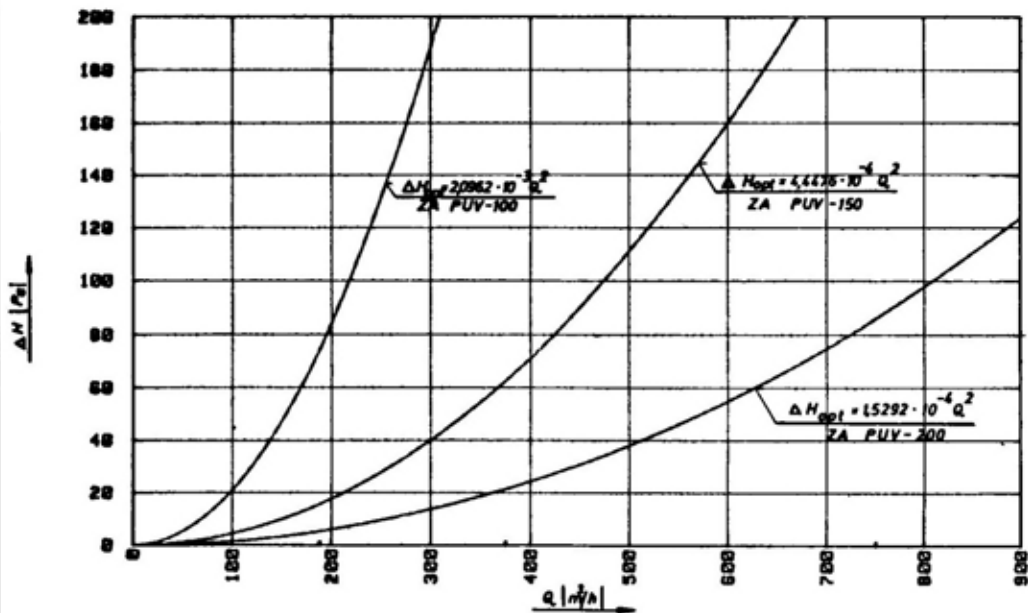
$$\Delta H_{opt} = 4,4476 \cdot 10^{-4} Q^2 \quad (33)$$

$$\Delta H_{opt} = 1,5292 \cdot 10^{-4} Q^2 \quad (34)$$

respektivno, gde je:



Sl. 5 – Zavisnost vremena zatvaranja (t_z , T_z) protivudarnih ventila nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm od pritiska u frontu direktnog VUT-a



Sl. 6 – Zavisnost otpora ventila (ΔH) od prečnika i protoka vazduha (Q) kroz ventile

Q [m^3/h] – protok vazduha kroz ventil,
 ΔH [N/m^2] – optimalni otpor ventila.

Analitički izrazi (32), (33) i (34) prikazani su na slici 6.

Na osnovu izvedene analize analitičkih izraza, kojima su definisani ventili kao kriterijumi za ocenu njihove valjanosti, predlažu se vremena zatvaranja ventila u funkciji otpornosti na dejstvo impulsa pritiska VUT (tabela 6).

Izvedena analiza ukazuje na neodrživost još uvek važećih široko postavljenih kriterijuma [27]:

$T_z = 3,0$ ms – za ventile otpornosti 600 kPa, i

$T_z = 5,0$ ms – za ventile otpornosti 300 kPa.

Zaključak

Na originalan način analitički su definisani protivudarni ventili za zaštitu od prodora VUT-a u unutrašnjost objekta osnovne zaštite.

Analitički izrazi definisani su u zavisnosti od otpornosti ventila na dejstvo impulsa pritiska VUT-a nuklearne eksplozije, geometrijskih karakteristika, karakteristika elastičnih elemenata i aerodinamičkih karakteristika sličnih ventila željenih nazivnih prečnika.

Kao kriterijum o oceni valjanosti ventila usvojeno je vreme zatvaranja. Izražen je u opštem obliku, a zatim pri-

Tabela 6

Predlog vremena zatvaranja ventila

Vreme zatvaranja ventila t_z [s]	Otpornost ventila p_r [kPa]	Pritisak u frontu direktnog VUT-a p_f [N/m^2]
2,0	900	253000
2,40	600	186000
3,10	300	108000

menjen na ventile nazivnih prečnika 100, 150 i 200 mm, otpornosti 300, 600 i 900 kPa.

Na osnovu vremena zatvaranja od 2 ms za ventile otpornosti 900 kPa, izvršen je izbor optimalnih konstrukcija ventila.

Modeli ventila su uopšteni, pa su primenljivi na familiju sličnih ventila željenih karakteristika.

Na osnovu optimalnih vrednosti koeficijenata otpora ventila ξ_{opt} definisani su analitički izrazi optimalnih otpora ventila 100, 150 i 200 mm u funkciji protoka vazduha kroz njih.

Postavljeni su kriterijumi (nova vremena zatvaranja ventila) za ocenu valjanosti ventila (tabela 6) umesto još uvek važećih široko postavljenih [27].

Literatura:

- [1] Knežević, M.D.: Prilog analitičkom definisanju pneumatičkih karakteristika sistema ventila specijalne namene, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1994.
- [2] Knežević, D.: Nalaženje analitičkog izraza vremena zatvaranja protivudarnih ventila, Naučno-tehnički pregled, Vol. XXXV, 1985., br. 9, str. 6-13.
- [3] Rašković, D.: Teorija oscilacija, Naučna knjiga, Beograd, 1965.
- [4] Vujanović, B.: Dinamika, Naučna knjiga, Beograd, 1976.
- [5] Mandić, J.: Ostvarivanje udarnog kratkotrajnog impulsa pritiska u udarnim cevima izjednačavajućeg pritiska, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Novi Sad, 1976.
- [6] Knežević, D.: Interna ispitivanja prototipova ventila tipa PPUV-400, PPUV-600 i HV-400 na dejstvo pritiska vazdušnog talasa nuklearne eksplozije, III deo, Vojnotehnički institut KoV, 07-01.0109, Beograd, 1988., strana 9.
- [7] Schardin, H.: Simulierung von Druckstossen beliebig langer Dauer in einem Stosswellenrohr, Wehrtechnische Monatsheft, 1966., 4.
- [8] Knežević, D.: Analitičko definisanje kriterijuma za ocenu valjanosti ventila namenjenih za zaštitu od prodora impulsa pritiska vazdušnog talasa nuklearne eksplozije u unutrašnjost objekta, Naučno-tehnički pregled, Vol. XLI, 1991., br. 4, str. 47-52.
- [9] Knežević, D.: Nalaženje analitičkog izraza koeficijenta otpora ventila metodom potpunog eksperimenta, Naučno-tehnički pregled, Vol. XXXV, 1985., br. 7-8, str. 21-26.
- [10] Pečornik, M.: Mehanika fluida, Strojarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1982.
- [11] Voronjec, K., Obradović, N.: Mehanika fluida, Naučna knjiga, Beograd, 1970.
- [12] Zrnić, V.: Pneumatika, III izdanje, Tehnička knjiga, Beograd, 1986.
- [13] Duduković, B., Milosavljević, D.: Planiranje eksperimenta i optimizacija procesa, IHTM Centar za tehnokonomiku i programiranje, Beograd, 1976.
- [14] Freund, J., E.: Mathematical Statistics, New York, 1971.
- [15] Ivanović, B.: Teorijska statistika, Naučna knjiga, Beograd, 1973.
- [16] Ivković, Z.: Matematička statistika, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [17] Knežević, D.: Analitički metod definisanja ventila za regulaciju protoka vode, Naučno-tehnički pregled, Vol. XXXVI, 1986., br. 5, str. 11-17.
- [18] Knežević, D.: Analitički metod definisanja kombinovanog protivudarnog ventila za regulaciju nadpritiska, Naučno-tehnički pregled, Vol. XXXVI, 1986., br. 9, str. 13-24.
- [19] Milošević, V.: Teorijska statistika, Naučna knjiga, Beograd, 1983.
- [20] Nenadović, M.: Metode optimizacije sistema, SANU, Beograd, 1980.
- [21] Nenadović, M.: Matematička obrada podataka dobijenih merenjem, SANU, posebno izdanje, knjiga DLXXXVII, Odeljenje tehničkih nauka, knjiga 29, Beograd, 1988.
- [22] Pantelić, I.: Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta, Radnički univerzitet „Radivoj Čirpanov“, Novi Sad, 1986.
- [23] Stojanović, S.: Matematička statistika, Naučna knjiga, Beograd, 1970.
- [24] Vukadinović, V.: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, drugo izmenjeno izdanje, Privredni pregled Beograd, 1978.
- [25] Gurevič, A.: Proračun regulacijskih ventila, Lenjingrad, MAŠGIZ, Moskva, 1968.
- [26] Knežević, D.: Metod iznalaženja analitičkog izraza koeficijenta otpora protivudarnih ventila, Naučno-tehnički pregled, Vol. XXXV, 1985., br. 10, str. 37-45.
- [27] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju skloništa (Sl. list SFRJ br. 11/1976).

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

PRIMENA KOMPOZITNIH MATERIJALA U VAZDUHOPLOVNOJ INDUSTRIJI

UDC: 629.7.023-034:623.483

Rezime:

Primena kompozitnih materijala u vazduhoplovnoj industriji usmerena je na smanjenje mase, povećanje čvrstoće određenih delova i sklopova, uštedu deficitarnih i skupih materijala. Kompozitni materijali se koriste već duže vreme, a njihova primena je sve veća u mnogim segmentima konstrukcije aviona.

Ključne reči: kompozitni materijali, avion, helikopter, proizvodnja, vlakno, svojstva kompozitnih materijala.

COMPOSITE MATERIALS APPLICATION IN AIRCRAFT INDUSTRY

Summary:

Composite materials application in aircraft industry have a tendency in reduction of mass, increase of strength of some elements and assemblies and in saving deficient and expensive materials. Composite materials are used for a long time and their application increases in many segments of aircrafts.

Key words: composite materials, aircraft, helicopter, production, fiber, characteristics of composite materials.

Uvod

Vazduhoplovnu tehniku karakteriše visoka tehnologija pa primena materijala koji će izdržati zahtevane uslove – povećanu temperaturu i pritiske, velike brzine, eroziju, koroziju, zamor – ima odlučujuć uticaj na pouzdanost letelica, iskorišćenje maksimalnih mogućnosti i produženje radnog veka. Poznate svetske kompanije za proizvodnju letelica (Boeing, McDonnell Douglas, Tupoljev, Iljušin, Airbus) prate, analiziraju i primenjuju savremene materijale, kao što su kompozitni materijali, prvenstveno radi smanjenja

mase letelica, ostvarenja ušteda u skupim i deficitarnim metalnim materijalima i zadovoljenja postavljenih zahteva konstrukcione čvrstoće i pouzdanosti.

Vrste i svojstva kompozitnih materijala

Kompozitni materijal (KM) ili kompozit jeste sistem materijala koji se sastoji od smeše ili kombinacije dva ili više mikro ili makrokonstituenata različitih po obliku i hemijskom sastavu i koji su, u suštini, nerastvorljivi jedan u drugom.

Inženjerski značaj kompozitnog materijala je u tome što se dva ili više posebnih materijala međusobno kombinuju radi obrazovanja kompozitnog materijala sa svojstvima koja su bolja od svojstava pojedinačnih komponenata. Materijali na atomskom nivou, kao što je to većina metalnih legura i polimernih materijala, mogli bi se nazvati kompozitnim pošto se sastoje od različitih i posebnih atomskih grupa. Metalna legura na mikroskopskom nivou (kao što je, na primer, ugljenični čelik koji sadrži ferit i perlit) mogla bi se nazvati kompozitnim materijalom, pošto su ferit i perlit vidljivi konstituenti koji se uočavaju pomoću optičkog mikroskopa. Na makroskopskom nivou plastika ojačana staklenim vlaknima, u kojoj se staklena vlakna mogu jasno raspoznati golim okom, mogla bi se, takođe, smatrati kompozitnim materijalom.

Većina kompozitnih materijala sastoji se od izabranog punioca ili ojačavajućeg materijala i pogodnog vezivnog sredstva za dobijanje posebnih karakteristika i zahtevanih svojstava. Obično komponente nisu rastvorljive jedna u drugoj, i mogu se fizički ustanoviti na osnovu međupovršina između njih. Kompoziti mogu biti raznovrsni. Neki su vlaknasti (sastavljeni od vlakana u osnovi), a neki disperzni (sastavljeni od čestica u osnovi). Dve „osnovne“ vrste kompozitnih materijala, koji se koriste za inženjerske primene, jesu materijali ojačani staklenim vlaknima sa poliestarskom ili epoksidnom osnovom i ugljenična vlakna u epoksidnoj osnovi. Pored njih primenjuju se i aramidna vlakna (aromatično poliamidno polimerno vlakno sa vrlo krutom molekulskom strukturom).

Staklena vlakna upotrebljavaju se za ojačavanje osnova od plastike radi dobi-

janja konstrukcionih kompozita. Ovakvi materijali imaju sledeće karakteristike: visok odnos čvrstoće i mase, dobru dimenzionalnu stabilnost i dobru otpornost prema zagrevanju, hlađenju, vlazi i koroziji, lako se izrađuju i imaju relativno nisku cenu.

Kompozitni materijali koji se izrađuju upotrebom ugljeničnih vlakana za ojačavanje plastičnih osnova, kao što je epoksidna smola, karakterišu se malom masom, veoma visokom čvrstoćom i visokom krutošću (modulom elastičnosti). Ova svojstva čine upotrebu plastičnih kompozitnih materijala sa ugljeničnim vlaknima posebno interesantnim za primenu u vazduhoplovstvu i kosmičkoj tehnici. Nažalost, relativno visoka cena ugljeničnih vlakana ograničava njihovu upotrebu u mnogim drugim oblastima, kao što je, na primer, automobilska industrija.

Vlaknasti polimerni KM dobili su široku primenu u vazduhoplovnoj industriji zahvaljujući izuzetnim kombinacijama konstrukcionih i posebnih svojstava. U poređenju sa tradicionalnim materijalima oni imaju znatno veću specifičnu čvrstoću i tvrdoću. Međutim, upoređenje anizotropnih materijala, koji imaju transverzalno izotropnu strukturu armiranja, sa izotropnim metalnim legurama nije korektno. U tabeli 1 navedena su konstrukciona svojstva tipičnih predstavnika KM sa pseudoizotropnom strukturom armiranja i tradicionalnih metalnih materijala. Prema osnovnim pokazateljima, kao što su gustina, modul elastičnosti, čvrstoća na istezanje, puzanje, otpornost na zamor, sposobnost prigušenja i koroziona postojanost, polimerni KM, u dijapazonu temperatura od -60°C do 200°C , prevazilaze legure aluminijuma, a u nekim slučajevima i legure titana i čelika.

Konstrukciona svojstva tipičnih KM i tradicionalnih metalnih materijala

Materijal	Gustina (kg/m ³)	Modul elastičnosti E 10 ⁻³	Čvrstoća na zamor na bazi 10 ⁷ ciklusa	Logaritamski dekrement slabljenja (%)	Čvrstoća na vibracije	Frekventni parametar (E/d) ^{0,5}	Specifična čvrstoća, uslovna jedinica
		MPa					
KM na bazi ugljeničnih vlakana	1500	88	25	3,2	0,80	79	36
KM na bazi staklenih vlakana	2000	32	14	4,6	0,65	40	30
Legure aluminijuma	2700	72	13	0,65	0,09	51	14
Legure titana	4500	120	50	0,03	0,015	52	27

Po žilavosti, čvrstoći i tvrdoći, i posebno po otpornosti na sabijanje, KM su slabiji u odnosu na metale. Međutim, stvaranjem heterovlaknastih sistema navedene karakteristike materijala u konstrukcijama mogu se znatno poboljšati. Primena polimernih KM sa ugljeničnim vlaknima jedno je od efikasnijih sredstava za smanjenje mase konstrukcije, a uslovljena je, u poređenju sa tradicionalnim konstrukcionim materijalima, nizom prednosti, kao što su:

- vrlo visoka specifična čvrstoća i tvrdoća (nekoliko puta prevazilaze metale);
- izuzetna otpornost na zamor i postojanost na vibraciona i akustička opterećenja;
- sprečavanje razvoja prskotina;
- upravljanje anozotropijom svojstava u širokom dijapazonu;
- povećanje eksploatacione pouzdanosti i korozione postojanosti delova;
- tehnološki aspekti mogućnosti dobijanja monolitnih konstrukcija velikih gabarita, složenih aerodinamičkih oblika, itd.

U konstrukciji putničkog aviona, kao što je npr. ruski Tu-204, obim primene

KM iznosi 3900 kg, ili 14% od mase konstrukcije (pri tome je masa aviona smanjena za 1247 kg).

Konstrukcije elemenata, komponenti i agregata od KM aviona Tu-204 (slika 1) moguće je podeliti u tri grupe: monolitni, troslojni panelnog oblika i montažni (koji se sastoje od prethodno oblikovanih elemenata). Pri projektovanju tog aviona, uporedo sa smanjenjem mase i korišćenjem drugih prednosti KM, razrešeni su i tehnološki aspekti njihove proizvodnje. U osnovi rešenja nalazi se povezivanje tehnoloških svojstava KM sa visokomehanizovanim ili automatizovanim metodama izrade elemenata konstrukcije.



Sl. 1 - Kompozitni materijali u konstrukciji aviona Tu-204

Tabela 2

Delovi aviona Tu-204 koji se izrađuju od kompozitnih materijala

Pozicija na slici 1	Naziv sklopa	Površina od KM u avionu (m ²)	Masa dela konstrukcije od KM (kg)
1	agregati mehanizma krila	40	660
2	pajlon	1,5	36
3	nosač motora	12	221
4	uvodnik vazduha	4	10
5	vrata otvora za smeštaj stajnog trapa	16	184
6	aerodinamička oplata krila	12	187
7	agregati krila: - rebro - stabilizator	55 25	232 544
8	nosna obloga	3	34
9	pomoćna vrata	4,2	26
10	saćasti paneli	10	32
11	paneli poda	113,7	746
12	monolitni delovi	-	498
	Ostalo:	-	490
	Ukupno:	296,4	3900

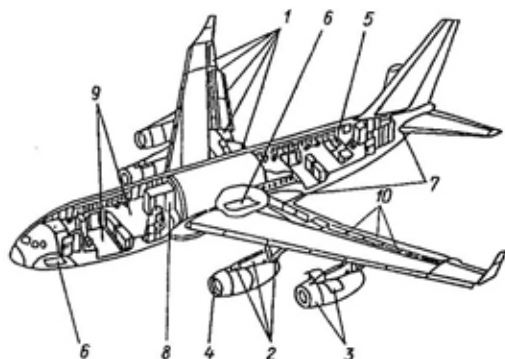
Pokušaj da se u vazduhoplovnom naučno-tehničkom kompleksu TUPO-LJEV primeni organoplastika, na avione prethodne generacije, za izradu saćastih i monolitnih panela stabilizatora sa radnom temperaturom preko 100°C, pokazao je njihovu visoku pouzdanost u eksploataciji, posebno u tehničkom održavanju (opsluživanju i servisiranju).

U elementima enterijera i aerodinamički oblikovanog radara primenjen je visokotehnološki materijal – sferotekstolit. Takođe, široko se primenjuju ugljenična i staklena vlakna, izrađena po posebnoj tehnologiji. Paneli poda aviona izrađeni su od organoplastike u spoju sa saćima na bazi polimerne hartije. Za izradu aerodinamički oblikovanog radara primenjena je stakloplastika na bazi

epoksidno-fenolnog veziva. Pri izradi agregata aviona od ugljeničnih vlakana i organoplastike koristi se epoksidno vezivo sa radnom temperaturom u intervalu od 120 do 130°C.

U konstrukciji aviona Il-96-300 u većoj količini primenjen je KM (1650 kg), što je omogućilo da mu se masa smanji za 520 kg.

Specifičnost primene KM u konstrukciji aviona Il-96-300 (slika 2) sastoji se u tome što su svi elementi konstrukcije izrađeni od hibridnih materijala. U toku tehnološkog procesa na površinu tankih oplata od impregniranih ugljeničnih traka oblikovan je sloj organske tkanine koja obezbeđuje korozionu postojanost i zaštitu krutih slojeva ugljeničnih vlakana od oštećenja u procesu eksploatacije. U konstrukcijama koje su više opterećene sloj organoplastike ravnomerno je raspoređen po debljini oplata (25% slojeva organoplastike od ukupnog broja slojeva), što obezbeđuje visoku otpornost na pojavu prskotina. Primenjeni dodatni slojevi od organske tkanine isključuju kontakt koroziono aktivne stakloplastike sa delovima od aluminijuma ili čelika. Na taj način ublažavane su i teškoće u izvršenju montažnih radova i prilagođavanju delova, jer se bušenje i rezanje izvodi po



Sl. 2 – Kompozitni materijali u konstrukciji aviona Il-96-300

Delovi aviona Il-96-300 koji se izrađuju od kompozitnih materijala

Pozicija na slici 2	Naziv sklopa	Vrsta KM	Površina od KM u avionu (m ²)	Masa dela konstrukcije od KM (kg)
1	agregati mehanizma krila (krilca, komandne površine, aerodinamička kočnica, prednji i zadnji deo zakrilaca, delovi za opstrujavanje zakrilaca)	KM na bazi ugljeničnih vlakana	100	690
2	pajlon (unutrašnji, spoljašnji, obloge)	KM na bazi ugljeničnih vlakana	48	230
3	nosač motora (prednji deo, vrata)	KM na bazi ugljeničnih vlakana	82	355
4	uvodnik vazduha	KM na bazi staklenih vlakana	28	85
5	pomoćna vrata	KM na bazi staklenih vlakana	15	3
6	vrata otvora za smeštaj stajnog trapa	KM na bazi ugljeničnih vlakana	23	120
7	aerodinamička oplata krila	KM na bazi staklenih vlakana	68	165
Svega:			364	1650
Enterijer				
8	saćasti paneli	stakloplastika, polimerni KM	450	1145
Prostor u avionu				
9	saćasti paneli	polimerni KM	260	440
Svega u salonu aviona:			710	1585
Perspektivni podsklopovi (komponente)				
10	paneli zadnjeg dela krila	KM na bazi ugljeničnih vlakana	70	150

slojevima organske tkanine. Posebna pažnja pri izradi aviona Il-96-300 poklonjena je korozionoj postojanosti KM.

Pri cikličnim opterećenjima KM poseduju veću otpornost na zamor nego tradicionalni materijali. Znatno im je manja osetljivost na koncentraciju napreznja, a mala brzina prostiranja prskotina obezbeđuje povećanu trajnost konstrukcije.

Kod elemenata od visokomodulnih polimernih KM spektar sopstvenih oscilacija mnogo je veći nego kod elemenata od metala. Ako su za legure aluminijuma, titana i čelika spektri sopstvenih frekvencija oscilovanja bliski rezonantnim, a od-

stupanje od rezonantnog režima zahteva izmenu geometrijskih veličina elemenata, tada se za visokomodulne polimerne KM to postiže promenom orijentacije vlakana u pojedinim slojevima. Primena KM, naročito ugljeničnih vlakana, karakteriše se pojavom niskotemperaturnog koeficijenta linearne dilatacije, što omogućava da se smanji toplotno opterećenje konstrukcije. Prednosti KM povezane su sa mogućnošću širokog variranja praktično svih svojstava materijala, što se postiže izborom komponenti od kojih su sastavljeni, njihovim masenim odnosima, rasporedom i orijentacijom u zapremini materijala. To omogućava da se dobiju KM

višefunkcionalnih namena, često sa suprotnim radnim svojstvima.

Kompozitni materijali ispunjeni staklenim, organskim i keramičkim vlaknima na bazi oksida metala poseduju visoka dielektrična svojstva uslovljena niskom dielektričnom konstantom i povećanom specifičnom električnom otpornošću materijala vlakana. Minimalnu veličinu dielektrične konstante i faktora gubitaka pri prolasku kroz KM i stabilnost tih karakteristika u eksploatacionim uslovima ispunjavaju polimerni KM armirani kvarcnim, staklenim i organskim vlaknima. Dielektrična konstanta i faktor gubitaka mogu se menjati vrlo široko, u zavisnosti od prirode vlakana i veziva. Pored mehaničkih i električne i termofizičke karakteristike KM veoma su anizotropne, posebno onih sa ugljeničnim i bornim vlaknima. Sposobnost kompozita da se suprotstavi dejstvu visokotemperaturnih toplotnih tokova (flukseva) zasnovana je na ablaciji. Termozaštitna svojstva materijala uslovljena su smanjenjem toplotnog fluksa usled apsorpcije energije pri složenim fizičko-hemijskim procesima (sublimacija, mehanički lom, topljenje, destrukcija, itd.), koji se dešavaju na površini materijala podvrgnutog dejstvu toplotnog fluksa. Termozaštitna svojstva KM poboljšavaju se sa povećanjem njihove gustine, orijentacijom vlakana normalno na pravac toplotnog fluksa, smanjenjem sadržaja veziva i povećanjem temperature topljenja (sublimacije) armiranih vlakana. Postojani na ablaciju su stakloplastični i KM na bazi ugljeničnih vlakana. Kompozitni materijali na bazi ugljeničnih vlakana poseduju najveću otpornost na dejstvo visokotemperaturnih toplotnih fluksa. Radi smanjenja visoke toplotne provodljivosti KM na bazi ugljeničnih vlakana, u njihov sastav

uvode se, osim ugljeničnih, i druga vlakna sa manjom toplotnom provodljivošću: cirkonijum-dioskid, silicijum-karbid i druga jedinjenja.

Mnogi polimerni KM poseduju svojstva koja obezbeđuju radnu sposobnost konstrukcija u različitim uslovima. Tako, na primer, konstrukcije od KM na bazi ugljeničnih vlakana mogu imati, uporedo sa potrebnom čvrstoćom i zahtevanim resursom eksploatacije, hemijsku postojanost, stabilnost geometrijskih veličina, postojanost prema abraziji (habanju), elektro, termo i prirodnu provodljivost (karakteristična kompleksna provodljivost).

Pri projektovanju konstrukcija od KM potrebno je pronaći kompromisna rešenja između težnji da se dobije minimalna masa konstrukcije sa graničnim mehaničkim karakteristikama i cene, kao i teškoća pri njihovoj proizvodnji. Bez obzira na prisustvo polimernih KM sa veoma visokom čvrstoćom (3500 MPa) i visokim modulom elastičnosti (300 GPa), najčešće se primenjuju oni materijali koji obezbeđuju čvrstoću u monosloju na nivou 1000 do 2000 MPa. Više od 50% konstrukcija u današnje vreme mogu se izraditi od KM na bazi ugljeničnih vlakana sa čvrstoćom monosloja do 1500 MPa, a samo za 15% konstrukcija potrebna je čvrstoća veća od 3000 MPa. Za 75% konstrukcija prihvatljivi su moduli elastičnosti u granicama 120 do 250 GPa, a samo za 20% konstrukcija potrebni su KM na bazi ugljeničnih vlakana sa nivoom radnih temperatura viših od 300°C.

Smanjenje mase i povećanje radnih karakteristika vazduhoplovne tehnike, umnogome zavisi od obima primene KM koji konstantno raste. Postoji minimalni (kritični) nivo primene KM koji određuje tehničko-ekonomsku svrsishodnost pri-

mene, uz uzimanje u obzir troškova organizacije njihove proizvodnje. Pri primeni KM na bazi ugljeničnih vlakana do 10% po masi konstrukcije, ekonomski je opravdano korišćenje materijala sa čvrstoćom monosloja 1000 MPa. U tom slučaju od KM se izrađuju manje opterećeni elementi: okviri otvora, štitnici, agregati mehanike krila i elementi konstrukcije koji nisu bitni za bezbednost vazduhoplova. Primena KM na bazi ugljeničnih vlakana sa čvrstoćom većom od 1500 MPa omogućava da se postigne nivo primene od 15 do 20% (pajloni, delovi šasije, stabilizatori, noseći elementi konstrukcije trupa), pri čemu je moguće ostvariti ne samo ekonomsku opravdanost korišćenja nego i poboljšanje letno-tehničkih karakteristika aviona: smanjenje troškova za gorivo, povećanje daljine doleta, povećanje korisnog opterećenja i dr.

Ekonomski je opravdana primena KM na bazi ugljeničnih vlakana sa čvrstoćom od 2000 do 3000 MPa, u konstrukcijama koje obezbeđuju dostizanje obima njihove primene većeg od 25% mase (krilo, veći deo trupa). U tom slučaju smanjenje mase je toliko veliko da se mogu realizovati konstrukcije delova sa principijelno drugačijim taktičko-tehničkim parametrima ili aerodinamičkim oblicima.

Karakteristika vlaknastih KM je takva da se od njih mogu napraviti delovi sa prethodno zadatim svojstvima, koji najpotpunije odgovaraju karakteru i uslovima rada elemenata i konstrukcija. Primenom različitih matrica i armiranih vlakana, njihove orijentacije u slojevima materijala, spajanjem u jednu matricu vlakana sa različitim elasto-plastičnim svojstvima, moguće je dobiti materijal sa zadatim kompleksom svojstava.

U slučaju primene polimernih KM, materijal i konstrukcija stvaraju se istovremeno, pri čemu njihova svojstva znatno zavise od geometrijskih i dimenzionih činilaca. To uslovljava bitnu korekciju tehnoloških režima, kao i primenu posebnih mera pri prelazu od laboratorijskih uzoraka na industrijsku proizvodnju delova velikih gabarita i agregata složenih prostornih konfiguracija.

Postupci proizvodnje kompozitnih materijala ojačanih vlaknima

Postoji više postupaka proizvodnje KM ojačanih vlaknima u otvorenim i zatvorenim kalupima.

Postupci proizvodnje u otvorenim kalupima su:

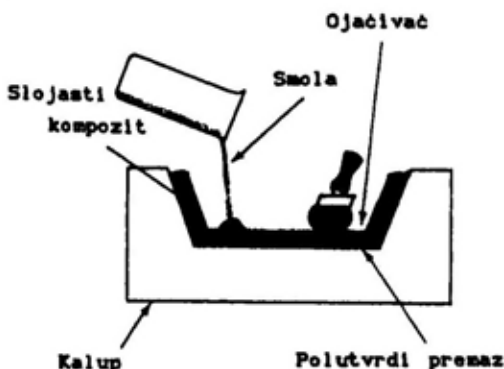
- postupak ručnog oblikovanja,
- postupak prskanja,
- postupak sa fleksibilnom vrećom za vakuumiranje i autoklavom,
- postupak namotavanja filamenata.

Postupci proizvodnje u zatvorenim kalupima su:

- obično presovanje,
- postupak oblikovanja tečenjem pločastog kampaunda,
- kontinuirani postupak izvlačenja.

Ručno oblikovanje najjednostavniji je postupak proizvodnje KM ojačanih vlaknima. Primenom staklenih vlakana i poliestara najpre se nanosi polutvrđi premaz preko otvorenog kalupa (slika 3). Ojačivač od staklenih vlakana, koji je u obliku tekstila ili prostirke, ručno se postavlja u kalup. Smola osnove, izmešana sa katalizatorima i ubrzivačima, nanese se livenjem, premazivanjem četkom ili prskanjem. Pritisni valjci se koriste za ostvarivanje potpunog potapanja ojačivača u smolu i za istiskivanje vazduha.

Radi povećanja debljine elementa koji se proizvodi, dodaju se slojevi prostirki od staklenih vlakana ili tkanine od labavo usukanih snopova (proving). Ovaj postupak primenjuje se za izradu trupova čamaca, rezervoara, kućišta i građevinskih ploča.



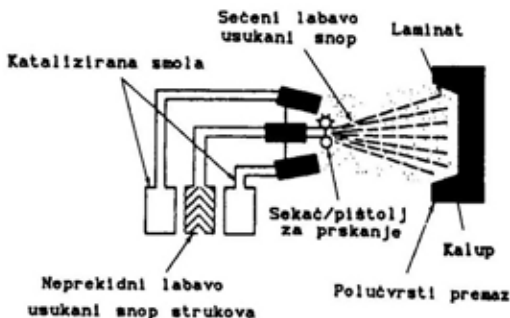
Sl. 3 – Metod ručnog oblikovanja kompozitnog materijala

Postupak prskanja za proizvodnju plastičnih ljuski ojačanih vlaknima sličan je postupku ručnog oblikovanja. Ukoliko se koriste staklena vlakna, tada se labavo usukani snop od neprekidnih strukova uvodi kroz kombinaciju sekača i pištolja za prskanje (slika 4), koji istovremeno nanosi sečeni labavo usukani snop i smolu koja je katalizirana u kalup. Nanetom laminatu zatim se povećava gustina pritiskom valjkom za uklanjanje vazduha, čime se obezbeđuje da smola izvrši impregnaciju ojačavajućih vlakana. Radi dobijanja zahtevane debljine može se dodati više slojeva. Očvršćavanje se obično obavlja na sobnoj temperaturi ili se može ubrzati primenom umerenog zagrevanja.

Postupak sa fleksibilnom vrećom za vakuumiranje i autoklavom primenjuje se za proizvodnju slojastih kompozita (laminata) visokih svojstava, obično od epoksika i ojačavajućih vlakana. Kompozitni materijali koji se proizvode ovim

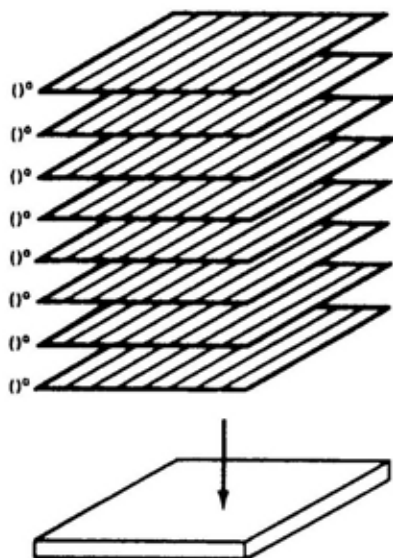
postupkom posebno su značajni za avionske i kosmičke primene. Kod ovog postupka prisutne su različite faze proizvodnje. Prvo se duga tanka ploča epoksidnog materijala sa ugljeničnim vlaknima, koja može imati širinu do 1500 mm, postavi na ravnu podlogu. Materijal poluproizvoda (prepreg) sastoji se od jednosmernih dugih ugljeničnih vlakana u delimično očvrstloj epoksidnoj osnovi. Zatim se tanka ploča poluproizvoda iseče na komade, koji se zatim postavljaju jedan preko drugog u kalup za uobličavanje slojastog kompozita. Jednosmerni slojevi (eng. plies = plajs) mogu se različito orijentisati radi dobijanja zahtevanog rasporeda svojstava čvrstoće, pošto je najveća čvrstoća svakog jednosmernog sloja u smeru koji je paralelan vlaknima (slika 5).

Nakon dobijanja slojastog kompozita obavlja se vakuumiranje u fleksibilnoj vreći, radi uklanjanja zahvaćenog vazduha iz slojastog dela, dok se atmosferski pritisak koristi za homogenizaciju materijala. Na kraju, fleksibilna vreća za vakuumiranje, koja sadrži slojasti kompozit i kalup, unosi se u autoklav (sud u kojem se hemijske reakcije izvode pod povećanim pritiskom i temperaturom) radi završnog očvršćavanja epoksidne smole. Uslovi za očvršćavanje menjaju se u zavisnosti od materijala. Kompozitni

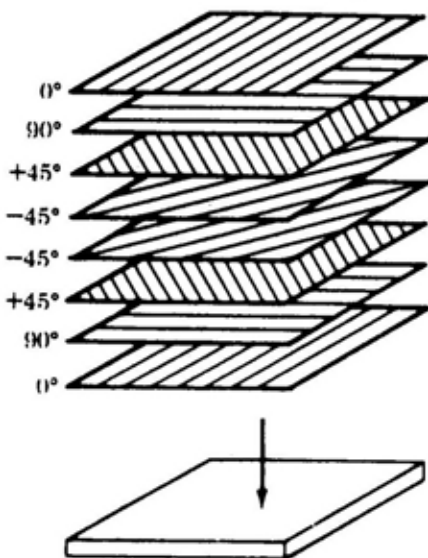


Sl. 4 – Metod prskanja u oblikovanju kompozitnih materijala

Jednosmerni



Kvazi-izotropni sa ukrštenim jednosmernim slojevima



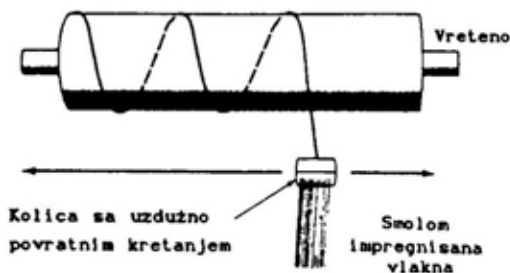
Sl. 5 – Jednosmerno i višesmerno orijentisani slojevi za slojasti kompozit

materijal sa epoksidnom smolom i ugljeničnim vlaknima obično se zagreva na oko 190°C i izlaže pritisku od oko 690 kPa. Posle vađenja iz autoklava kompozitni deo se skida sa kalupa i spreman je za završne operacije obrade.

Epoksidni KM sa ugljeničnim vlaknima koriste se u vazduhoplovnoj i kosmičkoj industriji gde se zahteva visoka čvrstoća i krutost, kao i mala masa. Na primer, ovaj materijal se koristi za krila aviona, delove za pokretne stepenice i kormila, kao i vrata za tovarni prostor. Međutim, visoka cena sprečava široku primenu ovog postupka i u drugim granama industrije.

Postupak namotavanja filamenata koristi se za proizvodnju cilindara. U njemu se vlaknasti ojačivač sprovodi kroz smolu, a zatim se namotava na pogodno

vreteno (slika 6). Kada se nanese dovoljno slojeva, namotaji na vretenu očvrstnu na sobnoj temperaturi ili na povišenoj temperaturi u peći. Oblikovani deo se zatim skida sa vretena. Ovaj postupak



Sl. 6 – Postupak namotavanja filamenata

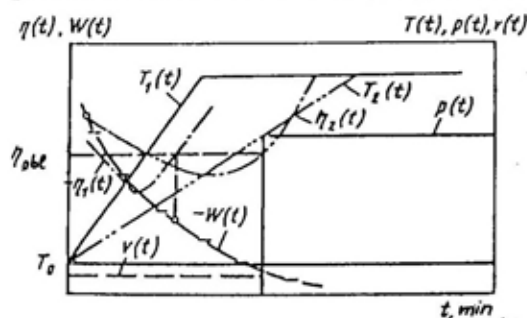
se primenjuje za izradu rezervoara za hemijske procese i goriva, posuda pod pritiskom i kućišta raketnih motora.

Izbor režima proizvodnje kompozitnih materijala

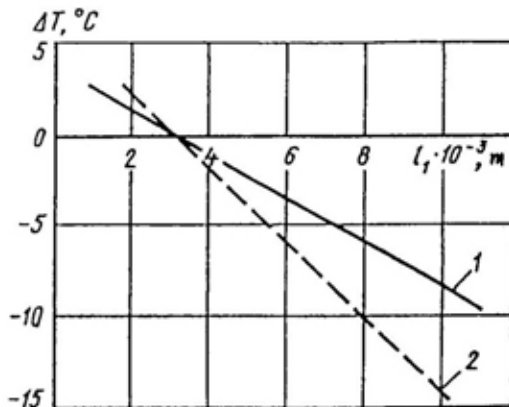
Praktični eksperimenti u izradi konstrukcija vazduhoplovne tehnike od KM i rezultati dobijeni pri modeliranju hemijskih, viskoznih, termotehničkih i mehaničkih procesa koji se dešavaju u oblikovanom materijalu, omogućili su da se razrade metode koje obezbeđuju realizaciju zadatog nivoa svojstava KM pri njihovom oblikovanju.

Jedan od najvažnijih parametara tehnologije oblikovanja KM u autoklavima jeste podudaranje trenutaka maksimalnog pritiska oblikovanja i dostizanja zadate viskoznosti veziva. Viskoznost se može ostvariti pri različitim temperaturno-vremenskim režimima, od kojih samo neki obezbeđuju dobijanje zahtevanih svojstava materijala. U trenutku maksimalnog pritiska oblikovanja neophodno je ostvariti zahtevanu viskoznost, kao i maksimalnu degazaciju (otpuštanje gasa) materijala polufabrikata.

Na slici 7 vidi se da pri temperaturnom režimu $T_1(t)$ vezivo postiže optimalnu viskoznost oblikovanja η_{obl} , kada degazacija materijala još nije završena. Zbog toga su zastoj vakuumiranja i prenos pritiska oblikovanja prevremeni. Veličina η_{obl} i potpuna degazacija mogu se postići istovremeno u slučaju primene



Sl. 7 – Izbor režima oblikovanja po temperaturno-vremenskoj zavisnosti viskoznosti veziva



Sl. 8 – Zavisnost temperature na suprotnim stranama oblikovanog priprema, pri brzinama zagrevanja $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (1) i $8^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (2)

temperaturnog režima $T_2(t)$, koji se od prvog razlikuje po manjoj brzini porasta temperature. Na taj način, izbor režima toplotnog i energetskog dejstva na oblikovani polufabrikat mora odgovarati temperaturno-vremenskoj zavisnosti viskoznosti veziva za različite režime očvršćavanja.

Toplotno dejstvo na oblikovani deo određuje se izabranim temperaturno-vremenskim režimom. Međutim pošto ne postoji direktan kontakt rashladnog medijuma i oblikovanog dela, uporedo sa poznatim činiocima (konačna toplotna provodljivost materijala priprema i toplotni efekti reakcije očvršćavanja) koji dovode do nehomogenosti temperaturno-konverzionog polja, javlja se još i tzv. „kapacitet materijala“.

Na slici 8 prikazana je zavisnost razlike temperatura na suprotnim stranama oblikovanog priprema od debljine l_1 pri konstantnoj debljini ugljeničnih vlakana. Analiza tih zavisnosti pokazuje da je pri malim veličinama l_1 razlika temperatura ΔT pozitivna. Po meri povećanja l_1 veličina ΔT se smanjuje i poprima vrednost nula pri određenoj vrednosti l_1 , koja ne zavisi od brzine zagrevanja. Pri daljem

porastu I_1 apsolutna veličina ΔT raste i poprima negativan predznak. To znači da je za smanjenje nehomogenosti temperaturno-konverzionog polja potrebno obezbediti simetričan dovod toplote na oblikovani pripremak pravilnim izborom termotehničkih karakteristika, kapaciteta materijala, itd.

U procesu snažnog dejstva pritiska pripremak mora dobiti oblik i dimenzije konačnog dela, a materijal mora imati zadatu strukturu i homogenost. Kako pokazuju proračuni, za delove složene prostorne konfiguracije, obezbeđenje zadatih dimenzija i oblika na račun ravnomerno raspoređenog pritiska po površini, kao po pravilu, ne pokazuje se mogućim. Zbog toga se javlja potreba za transformacijom površinskog opterećenja na pripremak koja bi obezbeđivala zadato pomeranje njegove konture. Međutim, u tom slučaju u oblikovanom materijalu nastaje nehomogeno stanje naprezanja i deformacije, koje dovodi do nehomogenog sastava i svojstava materijala. U vezi s tim, pri projektovanju konkretnog dela potrebno je analizirati i uticaj njegove konfiguracije na homogenost naponsko-deformacionog stanja pripremk u trenutku primene pritiska oblikovanja.

Pri razradi tehnologije i izrade delova i agregata krila ruskog orbitalnog broda višestruke namene BURAN primenjeni su sledeći principi:

- režimi toplotnog i energetskog dejstva na formirani pripremak izabrani su prema temperaturno-vremenskim zavisnostima viskoznosti veziva, za različite režime očvršćavanja;

- za smanjenje nehomogenosti temperaturno-konverzionog polja obezbeđivan je simetričan dovod toplote ka oblikovanom pripremk, izborom termotehničkih karakteristika;

- izvršena je takva transformacija pritiska rashladnog medijuma na pripremak, da obezbeđuje zadato pomeranje njegove konture;

- analiza uticaja konfiguracije dela na nehomogenost naponsko-deformacionog stanja pripremk u trenutku primene pritiska oblikovanja;

- u fazi oblaganja obezbeđivani su odnosi komponenti i gustina materijala bliski zadatim za materijal dela, što je omogućilo da se dobije koeficijent realizacije zahtevane čvrstoće izlaznih materijala ne manji od 96%, pri obezbeđivanju zadatih masenih i geometrijskih karakteristika.

Teškoće ostvarenja operacija pripreme dela za oblikovanje u autoklavima u znatnom stepenu su povezane i sa zahtevom hermetičnosti.

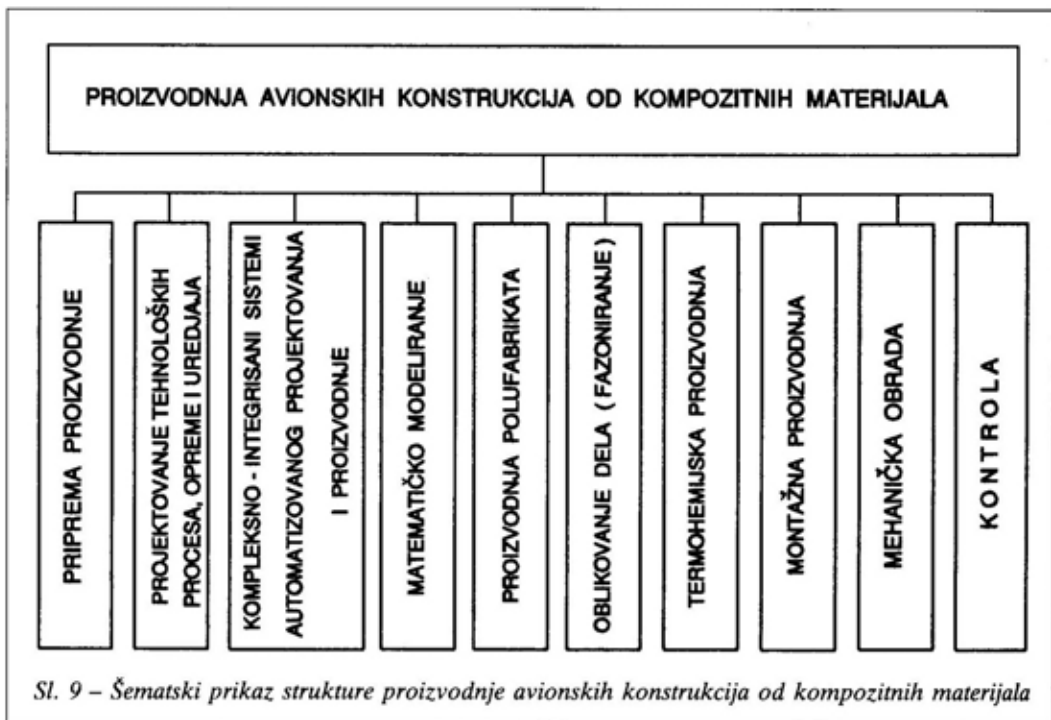
Tehnološkičnost i kvalitet kompozitnih materijala

Za obezbeđenje kvaliteta spoljašnjih ili spregnutih površina profilisanih delova ustanovljena je neophodnost ne samo efikasnog usavršavanja materijala, tehnoloških procesa i opremanja osnovne proizvodnje, nego i brzog povećanja kvaliteta tehnoloških materijala primenjenih u svim postupcima prerade, od spajanja armiranih punioca sa vezivima do završne defektoskopije finalnih delova, kao što su:

- polimerne prevlake (slojevi) korišćeni u svojstvu hermetički oblikovanih omotača koji prenose pritisak;

- antiadhezioni podmaziva i pokrivke koji sprečavaju prianjanje (adheziju) delova;

- gumene trake za obezbeđenje hermetičnosti;



Sl. 9 – Šematski prikaz strukture proizvodnje avionskih konstrukcija od kompozitnih materijala

- lepljive trake za fiksiranje priprema pri montaži;
- drenažni slojevi od staklenih i drugih vlakana koji upijaju višak ocedenih smola.

Etapna analiza procesa projektovanja KM pokazuje da se materijal i konstrukcije stvaraju istovremeno, a za efikasno projektovanje potrebna je saradnja projektanata, konstruktora, tehnologa i metalurga u svim etapama – od ideje do konačnog proizvoda – materijala ili dela.

Na slici 9 šematski je prikazana struktura proizvodnje konstrukcija aviona od KM.

Zaključak

Jedna od osnovnih prednosti KM, u odnosu na tradicionalne izotropne i homogene materijale jeste mogućnost formiranja njihove unutrašnje strukture i

zahtevane zakonitosti raspodele svojstava u konstrukciji. Materijal i konstrukcioni deo formiraju se istovremeno. Ova činjenica, kao i sastav, svojstva i uslovi prerade ulaznih materijala (vezivnih i armirajućih punilaca) određuju potrebu stvaranja posebne tehnološke opreme. Pri tome, struktura proizvodnje, tehnološki procesi i zahtevana oprema potpuno se razlikuju od onih koji se primenjuju u tradicionalnoj industriji.

Veoma aktuelna je izrada konstrukcija aviona integralnog tipa. Prednosti takvih konstrukcija su: smanjenje mase, zahvaljujući eliminaciji mehaničkih spojeva; isključenje pojedinih proizvodnih operacija i skraćenje tehnoloških ciklusa, pošto se delovi oblikuju istovremeno sa materijalom. Pri tome, koriste se sprege različitih metoda oblikovanja: oblaganje, namotavanje, delimično očvršćavanje ulaznih delova, itd.

Primena KM u konstrukcijama vazduhoplovne tehnike izraz je objektivne potrebe za obezbeđenjem visokog tehničko-tehnološkog kvaliteta putničkih, transportnih, vojnih aviona ili aviona opšte namene, kao i višenamenskih helikoptera. Konstrukcija aviona ili helikoptera, zasnovana na strogim i izrazito tehničko-tehnološkim principima, zehteva i strože uslove primene različitih materijala i iskorišćenje njihovih svojstava za specifične namene. Radi toga je izuzetno značajan i kvalitet ulaznih materijala, kako sa aspekta ispunjenja zadatah konstrukcionih uslova, tako i za ispunjenje planirane pouzdanosti i radnog veka delova. Već

duže vreme KM se koriste u vazduhoplovnoj industriji, a njihova primena je sve više stvar potrebe za konstrukcijama manje mase, veće čvrstoće i primene u uslovima eksploatacije koji su itekako specifični.

Literatura:

- [1] Bratuhin, A. G.: Tehnogičeskoe obespečenie vjisokoga kačestva, nadženosti, resursa aviacionnoi tehniki, Moskva, Mašinstroenie, T1, 1996.
- [2] Bratuhin, A. G., Bogoljubov, V. S.: Composite manufacturing technologic, Chapman Hall, London & New York, 1995.
- [3] Flinn, R. A., Trojan, P. K.: Engineering materials and their applications, Houghton-Mifflin, New York, 1981.
- [4] Schwarth, M. M.: Composite materials handbook, McGraw-Hill, New York, 1984.

Uvod

Sistem za globalno pozicioniranje (GPS – Global Positioning System) sigurno je jedan od najkompleksnijih tehničkih sistema ikada instaliranih na Zemlji, a koristi se gotovo podjednako i za civilne i za vojne potrebe. Uveden je u upotrebu 1971. godine, od kada se stalno usavršava i pojeftinjuje, što je kvalitativno uticalo na gotovo svaki oblik vojnih operacija, od orijentacije vojnika na terenu do upravljanja najsavremenijim sistemima oružja. Uz pomoć lakog i jeftinog prijemnika određuje se trenutna pozicija u tri dimenzije, brzina i vreme.

Značaj ovog sistema naročito je porastao u poslednjih nekoliko godina, kada najjače vojske sveta nastoje da njime opreme što veći broj jedinica, platformi, sistema oružja i ubojnih sredstava. Tako, na primer, RM i RV SAD planiraju da do 2006. godine opreme 7 000 platformi ovakvim visokokvalitetnim i robustnim sistemima. Kopnena vojska planira da, za isto vreme, uvede u upotrebu 30 000 GPS, dok će sva tri vida u istom periodu imati oko 500 000 različitih oružja koja će koristiti neku od varijanti vođenja i upravljanja na bazi GPS.

Funkcionisanje GPS

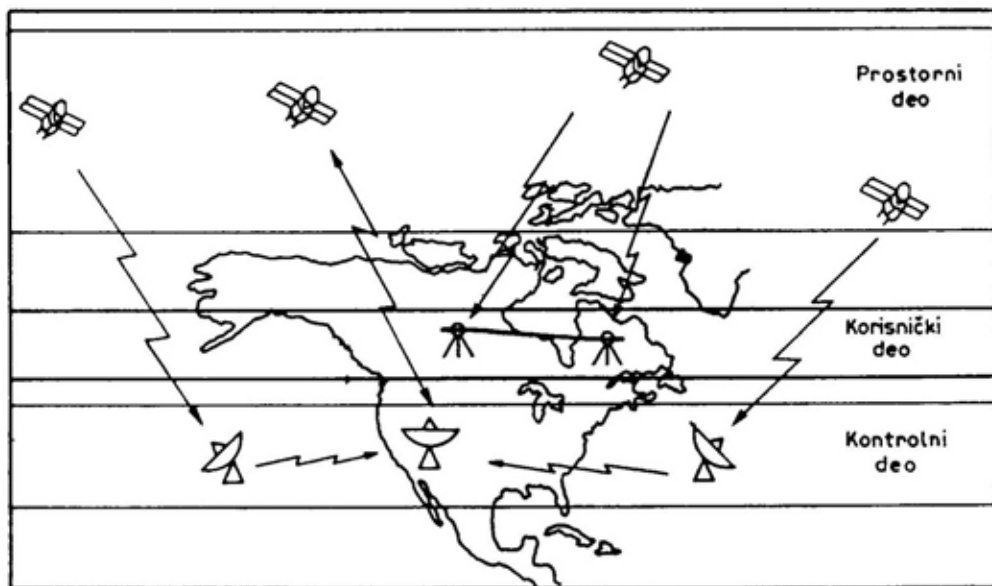
Sistem za globalno pozicioniranje čine tri segmenta:

– *prostorni*, koji se sastoji od formacije od ukupno 24 satelita (21 aktivan i 3 u stalnoj rezervi) tipa NAVSTAR, koji po geostacionarnim putanjama radijusa 26 560 km u 6 orbitalnih ravni kruže iznad Zemlje na visini od 11 000 km. Pri tome neprestano emituju podatke o svom položaju (trenutne koordinate – efemride u svetskom prostornom trodimenzionalnom koordinatnom sistemu WGS84);

– *kontrolni*, koji se sastoji od nekoliko zemaljskih kontrolnih stanica, raspoređenih, uglavnom, u ekvatorijalnom delu Zemlje, od kojih se centralna nalazi u vazduhoplovnoj bazi Falkon u Colorado Springsu, i koje imaju zadatak da stalno kontrolišu položaje satelita i obavljaju potrebne računске popravke;

– *korisnički*, koji čine najrazličitiji GPS prijemnici (nekoliko stotina vrsta i tipova), u obliku pojedinačnih uređaja, kada su namenjeni za određivanje pozicije i brzine ili su u sastavu drugih složenijih sistema za navigaciju, upravljanje letelicama, vođenje projektila, upravljanje različitim objektima i sl. [2].

Određivanje pozicije (koordinate x , y , z) u osnovi se obavlja poznatom geodetskom metodom presecanja tri dužine, koja zahteva da prijemnik na mestu na kojem se nalazi mora da ima mogućnost prijema signala sa najmanje tri satelita,



Komponente sistema za globalno pozicioniranje

tj. da izmeri svoju udaljenost od njih, kako bi mogao da odredi poziciju, ili sa četiri ako treba da odredi i svoju brzinu kojom se kreće. U zavisnosti od toga koja se tačnost merenja želi postići, za merenje udaljenosti primenjuju se različite vrste merenja: kodno, fazno (za najveće tačnosti) i merenje pomaka Doplerove frekvencije. Primena svake od navedenih vrsta merenja zahteva i posedovanje odgovarajućih elektronskih uređaja. Prenošenje koordinata iz svetskog koordinatnog sistema u lokalni predstavlja poseban problem, koji je u osnovi geodetski i matematički (matrice transformacije) [2, 4].

Lansiranje satelita i njihovo postavljanje u orbitu obavlja se pomoću raketa DELTA II. Sateliti danas rade tako što emituju signale na dve frekvencije unutar L-talasnog područja. Signal L_1 , na osnovnoj frekvenciji 1 575,42 MHz, nosi grubo akvizicioni kod (C/A – coarse/acquisition

code) i kod sa vojnom preciznošću (P-code – precision code), dok signal L_2 na osnovnoj frekvenciji 1 227,6 MHz nosi samo P-kod. Komercijalni prijemnici imaju pristup samo C/A kodu, koji se po nalogu Ministarstva odbrane SAD namerno degradira pomoću posebnog procesa za selekciju mogućnosti pristupa (SA – Selective Availability), u čijoj je osnovi degradacija tačnosti efemerida satelita i smanjenje tačnosti časovnika za merenje vremena. Ovaj proces smanjuje tačnost određivanja pozicije, koju običan korisnik može da koristi, na 100 m, dok je SAD i njegovim saveznicima dostupan signal koji obezbeđuje tačnost od oko 10 m u zavisnosti od vremena merenja.

Većina današnjih vojnih GPS prijemnika prvo prima signal sa C/A-kodom, a zatim se „prebace“ na signal sa P-kodom. Signal sa P-kodom omogućava punu tačnost, a zaštićen je šifrom uz pomoć zaštitnog algoritma (A-S – Anti-Spoofing) koji

minimalizuje mogućnost da prijemnik bude ometan nekim parazitnim signalom. Kada se dešifruje P-kod je poznat pod imenom Y-kod.

Potpun ekvivalent ovom američkom sistemu, koji koriste i njihovi saveznici, predstavlja ruski sistem GLONASS.

Primena GPS i problemi koji je prate

Osnovna namena GPS je brzo i vrlo tačno određivanje pozicije na bilo kojoj tački Zemljine kugle. Tačno određivanje pozicije od izuzetne je važnosti, kako u orijentaciji vojnika na terenu, tako i u određivanju tačne pozicije vozila, oruđa, plovila, letelice, potencijalnog cilja ili trenutnog položaja projektila ili rakete koji lete prema cilju.

Poslednjih desetak godina GPS se primenjuje u vojne svrhe. Ovi sistemi dobili su poseban značaj u upravljanju letelicama, plovnim objektima, upravljanju vatrom, navođenju različitih raketa velikog dometa, kao što su: krstareće rakete „TOMAHAWK IV“, intervidovske rakete za udare sa distance (TSSAM – Tri-Service Standoff Attack Missile), avio-bombe sa GPS za navođenje za uništavanje duboko ukopanih objekata GAM-113 (GAM – GPS Aided Munition) i slične, kod kojih su prethodno korišćeni isključivo inercijalni sistemi vođenja. Za svaki od ovih zadataka razvijaju se i odgovarajući uređaji sa specifičnim karakteristikama.

Međutim, u svakoj od navedenih primena do punog izražaja dolazi tačnost GPS i njegova podložnost ometanju koja nije tako mala ako se zna da su frekvencije na kojima se signali emituju, kao i metode primenjene za modulaciju signala

svima poznate, a odnos signal/šum vrlo mali. U takvoj situaciji ometači mogu biti vrlo jednostavni, jeftini i svima dostupni. Tako ometač veličine kutije šibica sa napajanjem iz jedne baterije i cenom od oko 500 USD, može da emituje signal snage 1W i na taj način bude efikasan na daljini od oko 70 km. Ovakvi ometači mogu biti manuelno postavljeni na zemljištu ili da lebde u vazдушnom prostoru uz pomoć malih balona. Tako, na primer, ruska firma „Aviakonverzia“ nudi ometače snage 4W mase 8 do 10 kg, a ometači koji su efikasni na daljinama 150 do 200 km koštaju manje od 2 000 USD.

Pored toga, postoje mnogi potencijalni uzroci pojave interferencije različitih signala koji mogu da degradiraju kvalitet signala, naročito u situacijama kada je elektromagnetni spektar prenatrpan signalima najrazličitijeg porekla, kao što su: viši harmonici signala televizijskih predajnika, signali iz mreže mobilnih telefona, sekvence signala koje nastaju kao posledica pokušaja da potencijalni protivnik ostvari pristup GPS-u ili signali nastali interferencijom elektromagnetnih signala ostalih elektronskih uređaja.

Ometanje ili različite forme interferencije signala mogu u uređajima GPS-a izazvati različite unutrašnje efekte. Na primer, prijemnik može odgovoriti aktiviranjem moda za približno određivanje pozicije, a da korisnik nema saznanje o tome da mu je uvid u situaciju degradirao, što ga može dovesti u zabludu pri odlučivanju. Pored toga, činjenica je da vojne operacije postaju sve više „digitalizovane“, a operativni i obaveštajni štabovi sve više se doslovno vezuju za ikone koje se na njihovim ekranima nalaze na određenim mestima. Ako dođe do poremećaja ili ako izgube poverenje u takav način praćenja situacije, neminovno dolazi do

vraćanja na stare – ručne metode. Gubitak uvida u situaciju, posledično, znatno povećava nivo klasičnog radio-saobraćaja glasom, što ima za posledicu još veće zakrčenje raspoloživih komunikacijskih kanala.

Problemu zaštite od ometanja, kao i pouzdanosti i robustnosti GPS-a pridaje se poseban značaj. Mnoge organizacione celine Ministarstva odbrane SAD rade na smanjenju uticaja pojava, bile one namerne ili ne, koje mogu da degradiraju raspoloživost i tačnost informacija izvedenih iz GPS-a. Tako će, na primer, samo u 1999. godini „Centar za svemirske i raketne sisteme“ RV SAD na demonstraciju usavršenog tehnološkog koncepta (ACTD – Advanced Concept Technology Demonstration) u domenu navigacionih borbenih uređaja (NAVWAR – Navigation Warfare) utrošiti 55 miliona USD. Težište aktivnosti ovog centra jeste validacija tehnologija i koncepta operacija, neophodnih da bi se smanjile mogućnosti da protivničke snage upotrebe satelitsku navigaciju (prevencija), i istovremeno obezbede da SAD i njegovi saveznici nesmetano upotrebe GPS (protekcija – zaštita).

Na istom fonu nalaze se i planovi Atlantske komande SAD da u 1999. godini izvede vežbe u kojima će koristiti modifikovane verzije postojeće opreme, kao što su: minijaturni borbeni GPS prijemnik, ugrađeni GPS inercijalni komplet i ručni laki precizni GPS prijemnik. Svi ovi uređaji imaju ugrađen najnoviji hardver, softver, kao i metode i tehnike od kojih se puno očekuje. Ova demonstracija predstavlja samo početnu fazu znatno većeg, dugoročnog razvojnog programa novih navigacionih borbenih uređaja, koji će istraživati primenu drugih tehnologija za prevenciju i protekciju. Prema planu

„Biroa za zajedničke Navstar GPS programe“ (Navstar GPS Joint Program Office), poboljšanje performansi navedenih uređaja, bilo pojedinačno ili zajednički, biće sprovedeno u oko 30 tehnoloških oblasti. Većina je vezana za povećanje sigurnosti sistema, uključujući i nulovanje antena.

Dinamika ovog plana može se vremenski razgraničiti u tri celine:

- *kratkoročni program*, u naredne dve godine, koji obuhvata zemaljsko ispitivanje „pseudolita“, tj. pseudosatelita koji prenose signale koji imitiraju signale sa NAVSTAR satelita, ispitivanje kontraometačkih filtera i direktne akvizicije dešifrovanog Y-koda;

- *srednjoročni program*, (2 do 5 godina) koji uključuje nove precizne izvore vremena, kao što su atomski satovi male snage, usavršene kontraometačke tehnike i antene za formiranje snopa;

- *dugoročni program*, (5 do 10 godina), koji obuhvata rad na povećanju snage signala, novi L_m -kod sa promenjenom strukturom, pseudolite na letelicama, naprednije kontraometačke implementacije i antene sa digitalnim upravljanjem snopa.

Jedan od puteva za poboljšanje zaštite GPS-a predstavlja i predlog koji se odskoro razmatra. Predlog se odnosi na zamenu sadašnjih signala L_1 i L_2 novim signalom L_c koji bi nosio samo C/A kod sa standardnim navigacionim porukama za civilne korisnike, kao i za vojne korisnike u miru i koji bi zauzimao pojas širine 8 MHz u sredini frekventnog spektra između sadašnjih signala L_1 i L_2 . Specijalni autorizovani korisnici imali bi pristup signalu L_m koji bi zauzimao gornji i donji frekventni odsečak pojasa predviđenog za signal L_c . Signal L_m nosio bi novi vojni kod sa usavršenim navigacio-

nim porukama. Ovakvo odvajanje civilnih i vojnih signala omogućilo bi Ministarstvu odbrane SAD da koncentriše svoje mere za kontraometanje na L_m signal, kao i da poveća napore za poboljšanje ostalih performansi bez uticaja na civilne aktivnosti i potrebe.

Paralelno sa merama u organizaciji korišćenja elektromagnetnog spektra preduzimaju se mere i na području hardvera, prvenstveno u poboljšanju arhitekture prijemnika. To se, pre svega, odnosi na uvođenje modularnog GPS prijemnika (GRAM – GPS Receiver Application Module) i anti-spoofing modula sa selektivnim pristupom (SAASM – Selectively Available Anti-Spoofing Module) koji se često zajedno označavaju kao GRAASM. GRAM koristi otvorenu arhitekturu koja omogućava da različite komponente, uključujući i SAASM, budu dodate, zamenjene ili isključene bez potrebe redizajniranja celog sistema. SAASM predstavlja sledeću generaciju prethodnog modula, poznatog pod imenom servis za precizno pozicioniranje (PPS – Precise Positioning Service). Sastoji se od jednog modula sa više čipova, otpornog na temperaturne promene, koji objedinjuje sve SA, A-S i funkcije sa elektronskim ključevima za PPS opremu domaćina (host). SAASM će štititi sve GPS algoritme, podatke i pomoćni tajming koji se koristi za izračunavanje pozicije, brzine i vremena.

Uvođenje modula GRAM planira se u četiri faze:

– *GRAM-1*, koji omogućava direktnu akviziciju Y-koda, primenu „all-in-view“ operacija, što podrazumeva uzimanje i procesiranje signala sa svih raspoloživih satelita NAVSTAR, obezbeđenje PPS i nadgledanje autonomnog integriteta prijemnika (RAIM – Receiver Auto-

nomous Integrity Monitoring). U ovoj fazi već je uveden modul GRAM koji omogućava direktnu akviziciju Y-koda u vremenu manjem od 6 s sa motorolinim čipom „Sharpshooter“ u kojem su implementirane sve SA/A-S funkcije;

– *GRAM-2*, koji će dodati modul SAASM i operacije sa sistemom za uvećavanje velikih površina (WAAS – Wide Area Augmentation System);

– *GRAM-3*, koji će uvesti modul SAASM za L_m signal;

– *GRAM-4*, koji se predviđa da obezbedi potpunu digitalizaciju primene čitavog sistema.

Bez obzira na aspekt posmatranja (podela elektromagnetnog spektra, softver, hardver, fizička zaštita i sl.) svi naponi mogu se svesti na zadatak osiguranja što višeg nivoa bezbednosti sistema, koji će već sutra biti utkan u sve pore civilnih i vojnih aktivnosti i čija će bezbednost biti od vitalnog značaja za zemlje zapadne alijanse.

Na tom zadatku slične studije sproveli su najprestižniji američki timovi: firme „RAND Corporation“, tim „Air Force Scientific Advisory Board“ i tim časopisa „GPS Modernization Independent Review“, i svi su došli do sličnih zaključaka, a to su:

– glavna upravljačka stanica GPS u Vazduhoplovnoj bazi u mestu Schriever (bivši Falcon) u Koloradu dobro je zaštićena, a velika visina na kojoj kruže sateliti NAVSTAR pruža im dobru zaštitu od napada protivnika antisatelitskim oružjima;

– u proteklom vremenu glavnu pretnju predstavljalo je nepostojanje, tj. prekidi signala, bili oni namerni ili nenaamerni;

– u kopnenim operacijama ometanje je najčešće lokalnog karaktera;

– sama konfiguracija terena i objekti na njemu mogu da blokiraju ometački signal, pa čak i telo operatora GPS-a koje se nađe između ometača i ručnog prijemnika može da bude dovoljna mera kojom se eliminiše ometački signal, a u nedostatku drugih sredstava vojnik može da iskopa rupu u koju će da smesti prijemnik i dobije dobar signal sa satelita;

– ometači koji se nalaze na letelicama mogu da pokriju veliku površinu i njihov signal do prijemnika dolazi približno iz istog smera odakle i korisni GPS signal sa satelita. Međutim, zadržavanje takve letelice na dobrom mestu i dovoljno dugo čini je vrlo ranjivom na dejstvo različitih PA oružja.

Na planu ostvarivanja potrebne sigurnosti GPS-a u strukturu signala ugrađena je određena otpornost na ometanje, ali ona nije dovoljna da zaštiti prijemnik od planiranih mera ometanja. Tehnikama kao što su upravljanje snopa i adaptivno nulovanje, navedeni problemi mogu da se prevaziđu, ali su one vrlo teške za implementaciju i mogu da budu neprihvatljivo skupe. Ipak, neke firme, kao što je npr. mala američka kompanija „Electro-Radiation Inc.“ razvila je uređaj za suzbijanje interferencije koji koristi adaptivnu tehnologiju poništavanja (adaptive cancellation technology) koja obezbeđuje potiskivanje (slabljenje) od najmanje 35 dB kontinualnog signala u odnosu na tonski signal P(Y)-koda ili 25 dB u odnosu na širokopojasni šum. Cena ovog uređaja u serijskoj proizvodnji biće manja od 2 000 USD.

Od svih borbenih sistema oružja vazduh-zemlja spadaju u grupu koja je izuzetno osetljiva na ometanje, naročito u situaciji kada napadaju na objekte od velikog značaja koji su dobro čuvani, kao što su komandna mesta i centri veze.

Protivnik zna da su takva mesta i njihove instalacije vrlo ranjivi, pa u njihovoj blizini raspoređuje različite ometače. Da bi se doskočilo ovim ometačkim merama vršena je serija istraživanja u okviru razvojnih programa za poboljšanje kontraometačkih performansi oružja koja sadrže GPS prijemnike.

U okviru programa za razvoj kontraometačkih tehnologija za taktičke GPS (TGAT – Tactical GPS Anti-jam Technology), koji je završen 1992. godine, razvijen je adaptivni GPS filter i antena koji simultano vrše razdvajanje ometača u vremenu i prostoru. Primenom faziranja i otežavanja signala razvijena oprema omogućava specijalno razdvajanje korisnog signala od energije ometača primljene sa nekoliko pomoćnih antenskih elemenata, pomoću kojih se izvodi i korektno nulovanje. Kratkotrajno razdvajanje faziranjem i otežavanjem (pojačavanjem) segmenata kompozitnog GPS signala primljenog preko antene, vrši se propuštanjem kroz liniju za kašnjenje, čime se ostvaruje njihovo kašnjenje.

U okviru narednog programa taktičkih GPS sistema vođenja, sa visokim kontraometačkim performansama (THAGG – Tactical High Anti-jam GPS Guidance), kontraometačke tehnike su integrisane u GPS prijemnicima čvrsto spregnutim sa inercionim sistemima koji na taj način čine jedinstven sistem vođenja. Ovaj program završen je u junu 1995. godine isporukom dva sistema za vođenje oružja (WGS – Weapon Guidance System). WGS se sastoji od rešetkaste antene sastavljene od četiri sinhronizovana elementa podržana sa kontraometačkom elektronikom i robustnim GPS prijemnikom čvrsto spregnutim preko Kalmanovog filtera sa inercijalnim sistemom sa driftom, brzine od samo 1 °/h.

Prototip ovog sistema zauzima zapreminu od 3,7 litara, ima masu 6 kg i cenu od 29 000 USD. Ispitivanja su pokazala da su prototipi sposobni da obavljaju brzu direktnu akviziciju P(Y)-koda u okruženju sa jakim ometanjem, pa čak i sa satelita izloženih ometanju kada je odnos ometačkog i korisnog signala nivoa 80 dB. THAGG sistemi su projektovani da rade pri brzinama rotacije do 1 000 %/s, dok se nulovanje antena obavlja u vremenu od nekoliko desetina mikrosekundi.

Iskustva stečena u ovim programima koriste se i u programu kontraometakih GPS tehnologija za testiranje leta (AGTFT – Antijam GPS Technology Flight Test) koji traga za jeftinijim rešenjem za ranjivost taktičkih oružja sa inercijalnim vođenjem uz pomoć GPS sistema. Na ovom programu radi firma Phantom Works iz sastava Boeinga. Takvo oružje je upravo Boingova zajednička municija za direktne udare (JDAM – Joint Direct Attack Munition). Tehnologija AGTFT kombinuje sledeće podsisteme: Harrisov kontraometakih elektronski modul, blok za vođenje koji je razvio Boeing, ugrađeni Collinsonov GPS prijemnik koji je čvrsto spregnut sa Honeywellovim inercijalnim navigacionim sistemom i kontraometakih GPS antenu sastavljenu od četiri elementa. Municija JDAM koja nosi ovako modifikovanu opremu umesto standardne koja se sastojala od antene sastavljene od samo jednog elementa, potpuno je otporna na ometanje, što su potvrdila dva uzastopna testa izvedena na poligonu u Novom Meksiku.

Prvi test se sastojao od ispuštanja bombe sa visine od 13 500 m, uz ometanje signalom male snage, pri čemu je GPS prijemnik bombe direktno primio vojni GPS kod u vremenu od 12 s. Bomba se

zatim spuštala kroz ometanu sredinu, uz vetar brzine 170 km/h, kontinuirano pratila GPS satelite i pala na površinu udaljenu 3 m od cilja.

Drugi test se sastojao od ispuštanja bombe sa iste visine u sredinu ometanu signalom velike snage, uz vetar brzine 175 km/h. Akvizicija GPS signala ostvarena je u vremenu od 8 s, a bomba je pala na površinu udaljenu 6 m od cilja.

Cena kompleta AGTFT u serijskoj proizvodnji trebalo bi da bude manja od 3 000 USD.

Na razvoju što robustnijih uređaja neprekidno rade različite firme. Tako je 1996. godine firma Hughes Aircraft, koja je sada ušla u sastav Raytheon, započela rad koji je trajao 51 mesec, na programu tehnologije usavršene GPS inercijalne navigacije (AGINT – Advanced GPS Inertial Navigation Technology) i programu navigacije sa integrisanim GPS vođenjem (IGGN – Integrated GPS Guidance Navigation). Ovaj poslednji program karakterističan je po tome što treba da iskoristi efekat senke koju stvara telo projektila, kako bi se zaštitio GPS sistem od ometača lociranih na zemlji. Problem zahteva potpuno poznavanje kompleksne interakcije između oblika tela projektila, korišćenog materijala i antene sa upravljivim prijemom uzoraka (CRPA – controlled-reception-pattern antenna). Ova dva programa, zajedno sa programom usavršenih taktičkih inercijalnih jedinica (ATIMU – Advanced Tactical IMU), predstavljaju osnovu za razvoj novih minijaturnih i jeftinih usavršenih taktičkih oružnih sistema za vođenje (ATWGS – Advanced Tactical Weapon Guidance System), koji obezbeđuju visoku pouzdanost i tačnost. Suština ovih sistema je u brzom prvom zahvatu GPS signala, akviziciji osnovnih podataka u što kraćem vremenu i moguć-

nosti da se odupru ometačkim signalima nivoa 120 dB koji dolaze iz više izvora različitog tipa. Realizacija ovakvog sistema sastojala bi se od minijaturnih antenskih rešetki i elektronike za inteligentno formiranje snopa i nulovanje antene, integrisane sa „all-in-view“ GPS prijemnikom koji je, preko Kalmanovog filtera, čvrsto spregnut sa inercijalnom jedinicom taktičkog nivoa.

Primer realizacije kontraometačkog prijemnika je Collinsonov uređaj GAJE (GPS Anti-Jam Electronics), koji kombinuje savremeni dizajn antene sa inercijalnim uređajem, što mu obezbeđuje da zadrži punu navigacionu tačnost na udaljenosti od 3 km od ometača snage 100 W. Uređaj GAJE automatski izvodi nulovanje antene u pravcu ometača. Kada radi protiv jednog ometača sa kontinualnim talasom može da generiše nulu sa signalom nivoa većeg od 40 dB za manje od 20 ms.

Prirodni izvori smetnji GPS-a

Pored različitih izvora smetnji GPS-a koji se aktiviraju nenamerno ili namerno, na njegov rad mogu, u velikoj meri, da utiču i promene u jonosferi. Za praćenje i prognoziranje promena u jonosferi, koje utiču na kvalitet komunikacija, u Americi je zadužena Direkcija za operativno testiranje i ocenjivanje (DOTE – Director of Operational Test & Evaluation). Na osnovu višegodišnjeg iskustva njihov zaključak je da se merenja i prognoza ponašanja jonosfere poklapaju u samo 50% slučajeva, i da ne ispunjavaju očekivanja zbog kojih se i rade. Naravno, pojava diskontinuiteta u jonosferi može prouzrokovati brzu fluktuaciju (scintilaciju – treperenje) satelitskih signala u blizini po-

vršine Zemlje. Ovaj fenomen je najintenzivniji noću, unutar pojasa širine 40° oko magnetnog ekvatora. Međutim, ovaj pojas zahvata površinu veću od jedne trećine ukupne površine Zemljine kugle. Scintilacija može ponekad da prouzrokuje pojavu fedinga (iščezavanja signala) ili da rezultira pojavom brzih promena faze koje prevazilaze mogućnosti prijemnika da zadrže zahvat satelitskog signala. U tom slučaju, kod statičkih GPS, ovaj problem postaje više pitanje raspoloživosti nego tačnosti. Međutim, kod diferencijalnih GPS, ovaj problem se mora analizirati u sferi tačnosti, jer ona može biti narušena zbog različitih mernih rezultata referente stanice i navigacionog prijemnika koji snimaju različite greške u jonosferi.

Najnoviji naponi, usmereni na poboljšanje performansi GPS, uključuju upotrebu senzora koji se nalaze na zemlji, kao i korišćenje posebne mreže za pomoć pri odlučivanju u uslovima scintilacije (SCINDA – Scintillation Network Decision Aid) koja je razvijena za Svemirsku komandu američkog RV. SCINDA je kompjuterski program koji obaveštava korisnike u realnom vremenu o tome kada, gde i s kojom verovatnoćom će doći do pojave scintilacije. Za sada su u operativnoj upotrebi stanice u Južnoj Americi i jugoistočnoj Aziji, a stanica na Srednjem istoku biće stavljena u funkciju u prvoj polovini 1999. godine. Stanice rade tako što merna oprema na isturenim mestima meri i sprema podatke o scintilaciji i brzini klizanja (drifta) jonosfere. Glavna komanda preuzima te podatke svakih 15 minuta i kompajlira ih, tako da dobija jednostavne trobojne mape smetnji koje se prostiru preko ekvatora zajedno sa odgovarajućim površinama verovatnih komunikacijskih prekida. Ove

mape pomažu naučnicima da shvate kako se razvijaju scintilacijske strukture, a operatorima omogućavaju da odrede praktične strategije za održavanje pouzdanih komunikacija. Takođe, SCINDA omogućava da operator pronađe željeni komunikacijski link koji sadrži koordinate zemaljske stanice, sopstvenu radio-frekvenciju i sažete datoteke satelita koje se dnevno ažuriraju. Nakon toga, kompjuterski model SCINDA u boji prikazuje komunikacijske trase između zemaljskih stanica i satelita. Zelene obojene trase su prohodne, a crvene su blokirane.

Scintilacija nije u potpunosti razjašnjena pojava. U praksi, vojni korisnici GPS-a imaju tendenciju da scintilaciju razmatraju kao interferenciju ili ometanje. Oni veruju da ako je neki prijemnik u stanju da se odupre određenom nivou ometanja, tada je dovoljno robustan da se uspešno suprotstavi istom stepenu fedinga. Takav rezon je varljiv zbog toga što ometač dodaje šum na signal, dok scintilacija smanjuje snagu signala. Istraživanja pokazuju da dalje detaljno rešavanje problema scintilacije zahteva izradu modela efekata scintilacije na čitav skup satelita vidljivih sa jednog određenog prijemnika. Međutim, scintilacija retko pokriva čitavo nebo, tako da gubitak prijema sa jednog satelita, kao posledica dubokog fedinga, ne znači gubitak prijema i sa ostalih satelita, što omogućava da se prijem signala uvek ostvari sa dovoljnog broja satelita.

Na stanje u jonosferi u velikoj meri utiče i solarna aktivnost. Snažne erupcije na Suncu dovode do pojave geomagnetnih oluja. U vreme ili blizu maksimuma solarne aktivnosti, do koje dolazi približno svakih 11 godina, jonosfera dobija oblik površine sa brojnim naborima koja na prostiranje signala može da utiče na nepredvidiv način. To posebno može da bude fatalno za signale nekih određenih frekvencija. U toku je razvoj sistema za vizuelno predstavljanje sunčane aktivno-

sti (SMEI – solar mass ejection imager) koji bi trebalo da bude instaliran na satelitu čije se postavljanje u orbitu planira pre sledećeg solarnog maksimuma predviđenog za 2001. godinu. Planirano je da sistem ima mogućnost da jedan do tri dana ranije upozori na predstojeću geomagnetnu oluju. Pored toga, radi se i na razvoju alternativnog metoda za predviđanje solarnog maksimuma koji se zasniva na merenju emisije jona gvožđa Fe XIV u sunčevom prstenu. Obavljena merenja ove vrste pokazuju da bi se maksimum sunčeve aktivnosti mogao dogoditi već u periodu januar-novembar 1999. godine, dakle znatno ranije nego što se očekuje na osnovu rezultata drugih metoda.

Razvoj i uvođenje novih uređaja na bazi GPS-a

Imajući u vidu sve rezultate istraživanja na planu suzbijanja prirodnih uzroka slabijeg prijema signala sa GPS satelita, kao i borbe protiv organizovanih mera ometanja, iz dana u dan se razvijaju i uvode nova rešenja koja omogućavaju proizvodnju sve pouzdanijih i tačnijih GPS koji se koriste u orijentaciji, navigaciji, vođenju, itd.

Na pomolu su nove generacije GPS prijemnika različitih proizvođača, koje će imati implementirane različite kontraometne tehnike i tehnologije. Na tom polju posebno se ističu firme „Litton Guidance & Control Systems“ i „Raytheon“.

Jedan od najobimnijih poslova razvoja bloka za GPS vođenje (GGP – GPS Guidance Package) dobila je upravo firma „Litton Guidance & Control Systems“. Po ugovoru sa „Avijacijskom i raketnom komandom američke Kopnene vojske“ (US Army's Aviation and Missile Command), ona ima obavezu da sredinom 1999. godine isporuči 8 proizvodnih jedinica za opitovanje (testiranje i ocenji-

vanje) ovih blokova. Kopnena vojska SAD utvrdila je svoje potrebe za GPS na nivou od 100 000 jedinica za ugradnju u rakete i 6 000 jedinica za ugradnju na različita vozila. Očekuje se da će i ostali vidovi vojske usvojiti iste blokove.

Konstrukciju GGP karakterišu tri čvrsto spregnute jedinice. To su: 10-kanalni GPS prijemnik, inercijalna merna jedinica (IMU – inertial measurement unit) i navigacijski kompjuter sa tačnošću od 0,8 nm/h. Čitav uređaj konstrukciono je smešten u jedan blok mase 3,2 kg, koja zauzima zapreminu oko 1,65 litara. Prethodna faza ovog programa rađena je pod pokroviteljstvom „Agencije za napredne istraživačke projekte u oblasti odbrane“ (DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency) i „Komande za sisteme mornaričke avijacije“ (NAVAIR – Naval Air Systems Command). Njome su bila obuhvaćena i ispitivanja ovog bloka montiranog na lovac F/A-18. Ispitivanja su obavljena krajem 1996. godine u uslovima manevra sa preopterećenjem od 7,5 g i uz prisustvo ometačkog signala.

Firma „Raytheon“ stekla je visok ugled na ovom polju razvojem i proizvodnjom kontraometačkog GPS prijemnika (AGR – Anti-jam GPS Receiver), koji je deo programa Block IV a ugrađen je na krstareće rakete „TOMAHAWK“. Ovaj prijemnik ispitan je u više od 1 000 probnih letova, i dodatnih 20 letova sa visokom dinamikom na raketama TSSAM. Prijemnik funkcioniše sa antenom tipa CRPA, koja se sastoji od 5 elemenata, od kojih nisu odvojene upravljačke jedinice i elektronika antene. Prijemnik koristi postkorelacione tehnike nulovanja sa istovremenim upravljanjem snopa.

Pored opremanja sa GGP, u skoroj budućnosti američka vojska planira i druge nabavke koje obuhvataju:

– prijemnik MAGR 2000 (raniji naziv MAGR-FO) koji će u potpunosti zadržati raniji oblik, opremu i interfejs sa

nosećom platformom, ali će imati nove karakteristike kao GRAM;

– GPS VME karticu prijemnika, koja će zameniti prijemnik Receiver 3S kao deo mornaričkog interfejsa za sistem navigacijskih senzora (NAVSSI – USN's Navigation Sensor System Interface) za ugradnju na brodove i podmornice;

– usavršeni vojni GPS prijemnik (DAGR – Defense Advanced GPS Receiver), koji treba da zameni precizni laki GPS prijemnik firme „Collins“ (PLGR – Precize Lightweight GPS Receiver). Ministarstvo odbrane SAD planira da tokom 7 godina kupi oko 190 000 ovakvih GPS prijemnika čija isporuka treba da započne u novembru 2000. godine. PLGR je isporučivan i u varijanti koja se montirala u vozila. Ovaj GPS prijemnik bio je izuzetno jeftin, obezbeđivao je podatak o azimutu sa tačnošću od 3 mrad za 5 minuta od postavljanja. Zbog ovakvih karakteristika u velikom broju je izvožen i u druge države.

Najnoviji rezultati istraživanja, koja je obavila firma „American Nucleonics Corp“, rezultirali su proizvodnjom minijaturnog GPS sistema za ugradnju u vodene projekte povećanog dometa EX-171 (ERGM – Extended Range Guided Munition) koji za RM SAD proizvodi firma „Raytheon“. Ovaj minijaturni GPS sistem ima ugrađene karakteristike koje mu omogućavaju suzbijanje smetnji zbog pojava interferencije. Oblikom je podešen za ugradnju u vrh projektila. Masa mu je samo 31 g, a konstruisan je da izdrži preopterećenja zbog ubrzanja od 13 500 g pri ispaljenju projektila iz artiljerijske cevi. Tipično vreme odgovora mu je samo 100 μ s, a obezbeđuje i potiskivanje širokopojsnog šuma od 30 dB i kontinualnog signala od 52 dB. Čitav GPS smešten je na štampanoj pločici debljine 7 mm, ima potrošnju energije od 4,3 W, a može da funkcioniše na visinama do 31 000 m.

Iako je dominacija američkih firmi na području GPS-a očigledna, u poslednje vreme se pojavljuju i manje ruske firme koje na principu licence nude hardverska i softverska rešenja za GPS prijemnike koji su kompatibilni sa američkim GPS i ruskim sistemom GLONASS. Jedna od takvih firmi je „Spirit Corp“ iz Moskve koja je svoj softver već isporučivala firmama kao što su: Furuno, NEC, Nortel, Samsung, Sony, Toshiba i sl. Ova firma nudi kompaktan, jeftin, „all-in-view“ GPS prijemnik sa 24 kanala (12 za GPS i 12 za GLONASS), koji obezbeđuje tačnost određivanja pozicije od 15 do 20 m i brzine od 0,02 m/s, uz korišćenje samo signala L_1 . Prijemnik može da očita poziciju za 40 s nakon uključjenja, ili za 30 s ako je ranije uključen. Sadrži RAIM performanse.

Drugi model je 16-kanalni prijemnik GPS/GLONASS, uz korišćenje oba signala L_1 i L_2 . Svih 16 koreliranih kanala smešteni su u jednočipni digitalni signal-procesor TMS320C62001 firme Texas Instruments.

Zaključak

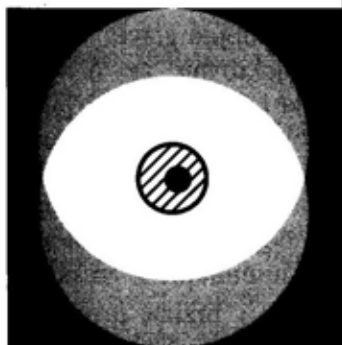
Od 1971. godine sistem za globalno pozicioniranje, postao je nezaobilazno sredstvo u domenu pozicioniranja i navigacije. Međutim, malo ko je očekivao da će tako brzo, za manje od 10 godina, pretrpeti toliku minijaturizaciju, usavršavanje i kombinovanje sa drugim sistemima, i u tolikoj meri proširiti svoje područje primene da se danas iole složeniji tehnički vojni sistem teško može zamisliti bez nekog od oblika ovog sistema. Go-

tovo sva precizna oružja većeg dometa imaju ga u svom sastavu ili će ga ubrzo dobiti. Sistemi za vođenje i upravljanje raketa i artiljerijskih projektila visoke preciznosti i velikog dometa i sistemi za upravljanje vatrom postali su oblasti u kojima se GPS potpuno odomaćio, naročito u kombinaciji sa inercijalnim sistemima koji su do skoro bili nezamenjivi. Značajno mesto u skoroj budućnosti GPS će dobiti i u oblasti softvera za upravljanje borbenim operacijama različitih nivoa (od nivoa čete do nivoa brigade), koji će biti instalirani na robustnim prenosnim kompjuterima na čijem razvoju zapadne zemlje intenzivno rade.

Planirane promene frekvencije signala nosilaca, radi striktnog odvajanja vojne komponente od civilne i promene u strukturi koda, koje će omogućiti prenos većeg broja informacija, još više će proširiti primenu i ubrzati razvoj obe komponente. U razvoj softvera, prijemnika i komponenata sistema vođenja već su uključene i manje firme, što će razvoju različitih sistema na osnovu GPS dati još veći zamah. U toj oblasti nije nebitno ostvariti tehnološki priključak, što kod nas do sada nije učinjeno iz više razloga. Nabavkom određenog broja GPS prijemnika i angažovanjem UA Sektora KoV i VGI načinjeni su prvi koraci.

Literatura:

- [1] Jane's International Defense Review, 09/1998., 12/1998., 02/1999.
- [2] Božić, B.: Neki problemi u primeni GPS u našim uslovima, VTG br. 3, 1997.
- [3] Leick, A.: GPS Satellite Surveying, John Wiley & Sons Inc. New York, 1990.
- [4] Vojnotehnički glasnik br. 6, 1991.



prikazi iz inostranih časopisa

RAKETE SISTEMA PVO: RUSKE S-300V I AMERIČKE PATRIOT*

U savremenim ratovima računa se na široku upotrebu taktičkih i balističkih raketa za uništenje ključnih objekata protivničkih kopnenih snaga. Kako su balističke rakete predviđene za velike brzine, male su radarske vidljivosti i osetljivosti, problem njihovog uništenja veoma je kompleksan i teško rešiv. Svi razvijeni raketni sistemi PVO, uključujući i američke PATRIOT, prvenstveno su zamišljeni kao protivavionski raketni sistemi, i nemaju realne sposobnosti za suprotstavljanje taktičkim i balističkim raketama.

Do kraja sedamdesetih godina članice NATO nisu posvećivale naročitu pažnju zaštiti svojih teritorija i instalacija od mogućih udara taktičkih i balističkih raketa. Taj problem postao je aktuelan sredinom osamdesetih godina, kada su se raketni sistemi pojavili i u zemljama trećeg sveta.

S obzirom na to da razvoj sistema PVO, sposobnih da izvršavaju taktičke protivraketne zadatke, zahteva znatna ulaganja i mnogo vremena za kompletno rešenje, SAD je odlučio da usavršava svoje sisteme PVO PATRIOT, kako bi

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, novembar-decembar 1998.

ih osposobio za protivraketna dejstva, a paralelno su počeli razvoj i projektovanje sistema za rešenje u celini.

Poboljšana verzija raketnog sistema PATRIOT, označena kao RAS-2, primenjena je za vreme rata u Persijskom zalivu. Analize su pokazale da su njegove protivraketne mogućnosti vrlo ograničene i da ne može efikasno obezbediti protivraketnu odbranu prostora. U mnogim slučajevima pogađano je ciljano telo rakete, ali nisu bile uništene ni njihove bojne glave. Nedostaci raketa PATRIOT ne mogu se otkloniti parcijalnim poboljšanjima pojedinih elemenata sistema. Danas se samo ruski protivraketni sistemi S-300V mogu efikasno suprotstavljati taktičkim i balističkim raketama. Za razliku od protivraketnih sistema koji se nalaze u naoružanju zapadnih zemalja, sistem S-300V je prvenstveno namenjen za borbu protiv taktičkih i balističkih raketa, kao i drugih ciljeva velike brzine, male vidljivosti, male osetljivosti i velike sposobnosti manevra. Pojedine sposobnosti raketnog sistema S-300V su respektabilne, specijalno razvijene za ovaj sistem i za sada nedostižne u raketnoj proizvodnji u svetu.

Protivraketni sistem S-300V ima dva tipa raketa: raketu 9M83 (NATO oznaka GLADIATOR) i 9M82 (GIANT). Obe rakete i njihovi lanseri izrađeni su u

Projektnom birou Novator u Jekaterinburgu, koji se razvojem raketnih sistema bavi preko 40 godina. Ovaj biro je razvio poznate rakete kao što su 3M8 za raketni sistem PVO KRUG i 9M38 za sistem BUK. Osim u razvoju sistema PVO, biro učestvuje i u razvoju raketnih sistema drugih klasa za potrebe mornarice i vazduhoplovstva. Specijalizacija u razvoju različitih klasa raketnih sistema omogućila je da se u nove modele uvek ugrađuju najbolja tehnička rešenja.

Raketa 9M83 projektovana je da se suprotstavi oružjima namenjenim da izvede napade velike gustine. Posebno je efikasna protiv aviona na rastojanjima preko 75 km, protiv aerobalističkih raketa SRAM, taktičkih balističkih raketa tipa LANCE, dometa preko 40 km, i protiv krstarećih raketa. Ni izbegavajući manevar cilja, ni protivelektronska dejstva ne mogu sprečiti raketu 9M83 da izvrši preuzeti zadatak.

Raketa 9M82 najsnažnije je oružje koje poseduje mnogo veće brzinske karakteristike i sposobnosti za uništenje navedenih ciljeva. Projektovana je prvenstveno za uništavanje raketa na rastojanju 35 do 40 km, koje lete brzinom preko 3000 m/s, kao i drugih ciljeva velike brzine, visine leta preko 30 km, ometača, i aviona tipa AVACS i HAWKEYE na rastojanjima preko 100 km. Visoke operativne mogućnosti ovih raketa rezultat su široke primene dostignuća u oblasti razvoja municije i visoke tehnologije.

Dvostepena konfiguracija raketa omogućava im prednosti u pogonu i postizanje visokih performansi leta.

Što se tiče rešenja koja obezbeđuju visoku efikasnost, posebno su značajna sredstva koja se lako prilagođavaju tipu ugrožavajućih sredstava i uslovima borbenih dejstava. U ta sredstva spadaju:

- neizotropske bojne glave;
- sistem projektovan za merenje vektora promašaja i direktne slike pogodaka parčadi bojne glave maksimalno usmerenih ka cilju;
- dvokanalni višefunkcionalni upaljač koji aktivira bojnu glavu u optimalnom vremenu i s minimalnom greškom.

Visoka tačnost i brzina proračuna eksplozije bojne glave postiže se uz pomoć velikog broja podataka o tački sudara sa ciljem, uključujući brzine cilja i rakete, relativnu orijentaciju njihovih osa, vektora podbačaja, visinu tačke susreta i vrstu cilja.

U zavisnosti od izvršavanog zadatka i uslova ometanja, upaljač bira operativni način, optimalan za konkretnu situaciju, radi obezbeđenja maksimalne efikasnosti.

Rakete su vrlo jednostavne konstrukcije i pogodne za upotrebu. Ne zahtevaju nikakvo održavanje za ceo životni ciklus. Visoke karakteristike odnose se i na njihove lansere. Ugradnja na gusenično vozilo omogućava visoku prohodnost i kretanje u okviru borbenih formacija.

Lanser se može razviti i biti operativan za samo pet minuta po pristizanju na položaj za lansiranje, a može se zaustaviti na bilo kojem mestu i lansirati raketu sa nepripremljenih položaja. Sve operacije za pripremu lansiranja raketa, kao i samo lansiranje, automatizovane su i ne zahtevaju visoko obučeni kadar. Provera raketa za dejstvo i korektno funkcionisanje, pomoću ugrađene opreme, obavlja se samo za 15 sekundi.

Da bi se sprečilo da protivnik otkrije položaj od vitalnog je interesa sposobnost da se brzo menjaju položaji. Kako ovi lanseri to mogu činiti veoma brzo, njihova borbena izdržljivost je vrlo velika.

Može se zaključiti da po protivraketnim mogućnostima na bojištu ili na nivou ratišta ruske rakete S-300V nemaju premoć. U surovim uslovima tržišta naoružanja tradicionalnom rivalu SAD teško je da prihvati ovu činjenicu. Ipak, mnogi stručnjaci na Zapadu smatraju da karakteristike sistema S-300V do kraja ove dekade neće dostići ni jedan sistem na Zapadu. SAD čini velike napore za razvoj verzije RAS-3 sistema PATRIOT i sistema THAAD, kako bi se nadoknadili nedostaci u razvoju taktičkih protivraketnih sistema. Pri tome će morati savladati probleme koje su ruski stručnjaci odavno savladali.

M. Krbavac



SISTEMI UPRAVLJANJA ZA POVEĆANJE EFIKASNOSTI RAKETNOG KOMPLEKSA*

Aktuelne tendencije u smanjenju nuklearnih i konvencionalnih snaga i oružja zahtevaju korenite promene u vatrenim zadacima savremenih raketnih sistema. Istovremeno, zahteva se i veći obim izvršavanja zadataka.

Efikasno uništenje elementarnih ciljeva u protivničkom prostoru praktično je nedostižno zbog prevelikog utroška raketa. Ostvarenje tog cilja zahteva da se u sistem za upravljanje raketnim kompleksom ugrade nove tehnologije određivanja ciljeva. One su zasnovane na informacijama dobijenim sa terena i izviđačkih sredstava lociranih u vazдушnom prostoru ili na nekim drugim nosačima, i obrađenih u informacijskoj procesnoj stanici. Spajanje zahteva za tačnost raketa, upo-

ređivanje terena i sistema vođenih po karti, kao i referentne pripreme stanica u potpunosti se utemeljuju.

Povećan obim vatrenih zadataka, koje izvršavaju precizno vođene rakete, menja i pristup borbenom planiranju. Radi postizanja visoke efikasnosti razvijeni su višenamenski lanseri i transporter-punjači, a radikalno se promenila priroda i obim zadataka sistema za upravljanje u toku planiranja borbenih dejstava.

Planiranje borbene upotrebe precizno vođenih raketnih kompleksa mora da obuhvati procenu minimalno potrebne žive sile i opreme, ideju napada i sredstava potrebnih za njegovu realizaciju, procenu gubitaka sredstava zbog dejstva protivnika i procenu rezervi za kompenzaciju tih sredstava. Treba, takođe, dati predloge za ešeloniranje i kontrolu, kao i varijante razmeštaja vatrenih elemenata i organizaciju zone za lansiranje, radi ostvarenja minimalnog vremena potrebnog za raketni napad, kao i minimalnih gubitaka nastalih zbog protivničkih dejstava.

Visok stepen promena rasporeda i stanja vatrenih elemenata za vreme raketnog napada zahteva obradu velikog broja podataka potrebnih za upravljanje jedinicama i nižim sastavima. To je iziskivalo izradu opreme za automatsko upravljanje koja je ugrađena u komandnoštabna vozila. Informacije se obrađuju i dostavljaju nadležnim organima u formi pogodnoj za donošenje odluke, imajući u vidu sve faktore koji utiču na realnu borbenu situaciju.

Najvažniji faktor „selekcije udara“ za preciznovodeno oružje, protiv vitalnih elemenata koji određuju vatrenu efikasnost u celini, jeste provera efekata raketnog udara koja, po principu povratne

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart-april, 1999.



Funkcionalni dijagram sistema za upravljanje raketnim kompleksom: SOP – stanica za obradu podataka, RPS – referentna pripremna stanica, KŠV – komandno-štabno vozilo, ZSU – zemaljski sistem upravljanja, USU – ugrađeni sistem upravljanja (na sredstvu), UTKSU – uporedni sistem upravljanja teren-karta, OKKS – operativno-kontrolni i komunikacijski sistem

veze, pomaže neposrednom upravljanju raketama. Smatra se da se taj problem može rešiti ugradnjom dodatnih tehničkih uređaja za izviđanje i praćenje na raketni kompleks. Time bi se značajno povećali i efekti napada.

Glavne funkcije sistema za upravljanje precizno vođenim raketnim kompleksom na nivou ratišta, prikazane su funkcionalnim dijagramom. Takav pristup značajan je kako za izradu savremenih i modernizaciju postojećih raketnih kompleksa, tako i za jedinice i sisteme za upravljanje oružjima na operativnom i taktičkom nivou.

Centralni istraživački institut za automatiku i hidrauliku Rusije razvio je neophodna sredstva kao i komandno-štabna vozila, stanicu za obradu podataka, referentno-pripremnu stanicu, zemaljski sistem za upravljanje, sistem za upravljanje na raketi, sistem za upoređivanje teren-karta i operativnokontrolni i

komunikacijski sistem. Ta sredstva se preporučuju i kao osnova budućih sistema za upravljanje.

M. Krbavac



RUSKE „PUSTINJSKE LISICE“*

Tipično obeležje vojnih dejstava, koja su izvođena u poslednjoj vremenskoj dekadi, bile su vazdušne operacije, koordinirane u prostoru i vremenu, uz masovnu upotrebu precizno vođene municije. Međutim, treba naglasiti da takve operacije mogu biti uspešne samo ako protivnik (branilac) nema adekvatna sredstva PVO. Pustošenja prouzrokovana takvim napadima mogu se uporediti sa nuklearnim posledicama i štetama koje od njih nastaju u prirodi i ekonomskoj infrastrukturi.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart-april, 1999.

U takvoj situaciji razvoj raketnih sistema PVO postao je prioritetan u poslednjih nekoliko godina. Zemlje i regioni, kao npr. Libija, Balkan, Sudan, Avganistan ili Irak, na kojima su testirana najnovija tehnološka dostignuća u domenu napada iz vazdušnog prostora, najbolje potvrđuju navedene stavove. Potvrdilo se da efikasna zaštita i PVO mora stalno da bude od vitalnog značaja za sve zemlje.

Strategijska i taktička avijacija, kao i avioni i helikopteri mornarice, naoružani različitim precizno vođenim raketama i bombama, kao i raketama za lansiranje sa brodova osnovna su sredstva za napad iz vazdušnog prostora. Danas svaki program razvoja i modernizacije podrazumeva i upotrebu „stelt“ tehnologije, kojom se avioni čine nevidljivim za radare, kao i povećanje stepena izdržljivosti (oklopna zaštita kabine pilota, zaštita rezervoara za gorivo, autopiloti, sistemi za zaštitu od parčadi bojnih glava, itd.) vazduhoplova.

Efikasnost sistema PVO mnogo zavisi od njihove sposobnosti da se suprotstave taktičkim balističkim raketama, koje se trenutno nalaze u naoružanju više od 12 zemalja. Suštinske razlike između aviona i raketa, u njihovim performansnim karakteristikama i načinima borbene upotrebe, zahtevaju rešenje specifičnih i često kontradiktornih problema. Balističke rakete su karakteristične po svojoj velikoj brzini i kratkom vremenu dolaska u zonu PVO, kao i nepredvidivosti upotrebe zbog teškoća otkrivanja pokretnih raketnih lansera ili raketnih položaja. Mala osetljivost balističkih raketa postignuta je specifičnom konstrukcijom i malim dimenzijama glavnih komponenta, što je svakako važan faktor. Krsta-reće i druge precizno vođene rakete nešto

su drugačije od balističkih raketa. One lete na ekstremno malim visinama (uključujući i praćenje konfiguracije terena), a široki radijus dejstva i visoka preciznost predstavljaju težak problem za branioc. Najnovija dostignuća u elektronici omogućila su projektantima konstruisanje oružja velike tačnosti, sa lansirnim domtom većim od mnogih savremenih sistema PVO. Modernizacija i razvojni programi takvog oružja zahtevaju primenu „stelt“ tehnologije, smanjenje mase ugrađene opreme, upotrebu niskoosetljivih eksplozivnih smeša radi povećanja izdržljivosti i, konsekvntno, povećanje mase bojnih glava i daljina leta. Danas je niz protivbrodskih i niskoletućih supersoničnih raketa, sposobnih da izvode intenzivne prilazne manevre, u fazi projektovanja ili letnih ispitivanja.

Projektanti raketnih sistema PVO pokušavaju da reše probleme vezane za uništavanje ciljeva raznih klasa, upotrebom višenamenskih sistema PVO, koji bi bili sposobni da uništavaju balističke i aerodinamičke ciljeve. Razvoj sistema oružja u skladu sa tom ulogom bio bi opravdan sa tehničkog, taktičkog i ekonomskog stanovišta. Sistemi koji se u potpunosti uklapaju u ovaj trend su ruski S-300, američki PATRIOT (verzija RAS-2 i RAS-3), kao i francusko-italijanski SAMP/T sa raketama ASTER-15 i ASTER-30.

U Rusiji se već godinama razvijaju višenamenski sistemi PVO. Nedavno je operacionalizovan sistem PVO S-300 PMU-1 i 2, i njihove brodske verzije RIF i RIF-M. Ti sistemi u najvećem stepenu integrišu mogućnosti efikasne borbe protiv balističkih i aerodinamičkih ciljeva. U skoroj budućnosti najnovije verzije raketnih sistema PVO, zemaljskih ili brodskih, dobiće nove rakete 9M96E i 9M96E2.

Dok su osnovne komponente raketnog sistema PVO, kao što su radari, sistemi komunikacija i komandna mesta, usavršavane postepeno, rakete zemlja-va-zduh su u svom razvoju učinile dramati-



Sl. 1 – Raketa 9M96E

čan skok napred. To se prvenstveno pripisuje revolucionarnom napretku u metodama upravljanja letom raketa i njihovoj opremi. Nove generacije raketnih sistema srednjeg dometa predstavljaju kombinaciju aktivno navođenih glava i delova kojima se obezbeđuje njihova velika brzina. Ta inovacija doprinela je velikom povećanju tačnosti pogađanja i efikasnosti rakete. U osnovi, one su postale kinetičko oružje, tj. oružje koje uništava cilj direktnim pogotkom. Drugu specifičnost novih raketa predstavlja znatno smanjenje njihove lansirne mase: od 1–1,8 t (PATRIOT RAS-1 i RAS-2 i ruske S-300PMU) do 300–500 kg (PATRIOT RAS-3, frac.-ital. ASTER-15 i ASTER-30, kao i ruske 9M96E i 9M96E2).



Sl. 2 – Kontejneri za rakete 9M96E i 9M96E2

Oktobra 1998. godine ruske rakete su po prvi put prikazane na vojnoj izložbi u Atini. Rakete 9M96E i 9M96E2 nose sličnu opremu, punjenje i identične su konstrukcije. Razlika među njima je što model 9M96E2 poseduje snažniji pogon i ima veći odnos snaga – masa. Sa malom razlikom u razmerama i masi, rakete 9M96E i 9M96E2 mogu uništavati ciljeve na udaljenostima od 1 do 40 km (9M96E) i 120 km (9M96E2) i na visini od 5 do 20 km (9M96E) i do 30 km (9M96E2), čime nadmašuju svoje konkurente.

Probna ispitivanja novih raketa izvršena su kasnih osamdesetih godina. Posle uspešnog završetka raketa 9M96E i 9M96E2, svi naponi su usmereni na izradu visokoeffikasnih raketnih sistema, sposobnih da unište sve današnje operativne i buduće rakete i avione.

Prvenstveni cilj rakete PVO je uništavanje dolazećih raketa u fazi presretanja, kako ne bi pale u zonu odbrane (posebno blizu važnih objekata). Napadajući raketni korisni teret može biti uništen direktnim pogotkom ili od parčadi bojne glave.

Rakete 9M96E i 9M96E2 koriste tzv. „hladni“ vertikalni uzlet. Pre startovanja nosećeg pogonskog motora raketa se izbacuje iz svog kontejnera na visinu preko 30 metara. Dok se raketa penje, njen gasno-dinamički sistem naginje raketu prema cilju. Čim noseći motor startuje raketa preuzima inercijalno upravljanje putem radio-veze u početnoj i srednjoj etapi kursa putanje (radi osiguranja maksimalne zaštite od smetnji). U fazi presretanja cilja raketa se prebacuje na režim radarskog samonavođenja. Kada je raketa zauzela manevar za spoj sa ciljem može se aktivirati i režim „superbrzina“, za šta je osposobljen gasno-dinamički sistem za upravljanje.

	9M96E	9M96E2
Daljina gađanja (km):		
- minimalna	1	1
- maksimalna	40	120
Visina cilja (km):		
- minimalna	0,005	0,005
- maksimalna	20	30
Masa (kg):		
- rakete	333	420
- bojne glave	24	24
- kontejnera sa 4 rakete	2300	2700
Srednja brzina (m/s)	750	1000
Verovatnoća pogađanja prvim hicem:		
- pilotirani cilj	0,9	0,9
- nepilotirani cilj	0,8	0,8
- korisni teret cilja	0,7	0,7

Sistem povećava kapacitet aerodinamičkog preopterećenja rakete za oko 20 jedinica za 0,025 sekundi. Treba istaći da režim „superbrzina“, uz povećanu tačnost navođenja, obezbeđuje najpogodniju putanju navođenja na cilj.

Izvršeno je mnogo završnih testova (paljba, otpornost na toplotu, okolina, vremenski uslovi, specijalna elektronika, i dr.). Rezultati su pokazali sposobnost novih raketa da unište korisni teret balističkih raketa (ili njihovih današnjih verzija) s verovatnoćom od 70%. Rakete 9M96E i 9M96E2 nose bojne glave mase 24 kg koje stvaraju kontrolisane ubojne zone. Upotreba takvih bojnih glava obezbeđuje raketama visoku efikasnost protiv aviona svih tipova.

Informaciono obezbeđenje raketa 9M96E i 9M96E2 sa kontrolisanim korisnim teretom predstavlja drugi put u povećanju efikasnosti. Ta vrsta korisnog tereta projektovana je da zaustavi pilotirani cilj, tj. prouzrokuje strukturnu dezintegraciju pri presretanju, i konačno uništava korisne terete na udaljenim pilotiranim ciljevima.

Korisni teret se aktivira radio-upaljačem koji koristi podatke sa rakete, radi prilagođavanja uslovima susreta rakete i

cilja. Radio-upaljač određuje vreme kada korisni teret treba da eksplodira. Za uništenje osetljivih delova cilja, mora se uskladiti brzina parčadi i njihovo usmereno raspršivanje, koje se ostvaruje pomoću kontrolisanih parčadnih bojnih glava, koje koriste višetačkasti sistem za iniciranje. Čim radio-upaljač generiše komandu za iniciranje bojne glave u kontrolisani režim, sistem aktivira iniciranje eksplozivnog punjenja u perifernim tačkama, zauzimajući zahtevani smer prema cilju. Kao rezultat, energija eksplozije koncentrisana je u tom pravcu i veći deo parčadi je usmeren ka cilju sa povećanom brzinom. Ako nema odgovarajuće informacije u sistemu, eksplozivno punjenje bojne glave se inicira u centar, a parčad leti simetrično na sve strane.

Rakete 9M96E i 9M96E2 potpuno su prilagođene za upotrebu u sistemima PVO vazduhoplovstva i mornarice. Značajno smanjenje njihove veličine i mase omogućilo je smeštaj četiri rakete u jedan kontejner koji ima iste dimenzije, kao i kontejner korišćen za sistem S-300PMU. Veći broj raspoloživih raketa čini sistem fleksibilnijim, i omogućava mu da bude operativan u dužem periodu. Može se zaključiti da nove rakete spremno dočekuju 21. vek.

M. Krbavac

<<<<◇>>>>

NOVE AMERIČKE RAKETE*

Proizvodnja rakete BLOK 2 (Block 2), koja predstavlja verziju američke rakete MGM-140 ATACMS (Army TACTical Missile System), otpočela je početkom 1999. godine a očekuje se da će biti uvedena u upotrebu tokom 2001. godine. BLOK 2 predstavlja jednu od četiri verzije raketa TACMS.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, januar, 1999.

Prema raspoloživim podacima raketa BLOK 2 (TACMS-BAT), nosiće 13 BAT kasetnih projektila, prvobitno razvijenih za već poznate rakete AGM/MGM-137, sa maksimalnim dometom od 140 km. Raketa BLOK 2A nosiće šest poboljšanih BAT kasetnih projektila, dometa do 300 km. Verzija BLOK 2A verovatno neće biti razvijena do 2000. godine. Predložena varijanta rakete BLOK 3 nosiće bojnu glavu za probijanje čvrstih i utvrđenih objekata (ciljeva) na daljinama do 300 km. Konačna verzija, predstavljena kao BLOK 3B, treba da poveća domet rakete do 500 km. Za sada nema formalnih zahteva za rakete BLOK 3 i 3B, i ne veruje se da će njihov razvoj početi pre 2001. godine.

BAT kasetna municija, koju nosi raketa BLOK 2, projektovana je, razvijena i proizvedena u kompaniji Northrop Grumman u Kaliforniji. Sadašnja verzija ove rakete nema motor. Njena dužina je 0,9 m, masa 20 kg, raspon krila 0,91 m. Ima ugrađena četiri akustička senzora na vrhovima krila i IC tragač smešten u nosu rakete. BAT kasetna municija može da locira, identifikuje i napada odabrana oklopna vozila u pokretu.

Raketa BLOK 2 može da se lansira iz modifikovanog višecernog raketnog lansera M270A1 MLRS (Multiple Launch Rocket System), koji nosi dve rakete, ili sa lakog visokopokretljivog artiljerijskog točkaškog sistema mase 5000 kg HIMARS (Highly Mobile Artillery Systems) koji nosi jednu raketu.

Do sada su izvršena četiri gađanja raketom BLOK 2. U prvom gađanju, u oktobru 1997. godine, raketa je nosila 13 inertnih BAT kasetnih projektila, za verifikaciju konačnih manevara rakete, i sigurno odvajanje 13 kasetnih projektila. U drugom gađanju, novembra 1997. godi-

ne, nosila je 12 inertnih BAT kasetnih projektila i jedan taktički BAT kasetni projektil, koji su napadali na devet pokretnih oklopnih vozila, dejstvujući na njihova osetljiva mesta. Inertna kasetna municija se, raspoloživim podacima, uspešno raspršila u testovima gađanja iz MLRS, a sva taktička BAT kasetna municija, lansirana iz rakete BLOK 2 imala je 100% uspešnost. Testovi letenja pokazali su da BAT kasetna municija može da se rasprši sa zahtevanom tačnošću na maksimalnom dometu od 140 km i minimalnom od 25 km.

Kopnena vojska SAD će naručiti 300 raketa BLOK 2. Razvoj i priprema proizvodnje BAT kasetne municije okončani su 1997. godine, a juna 1998. godine sklopljen je ugovor za proizvodnju 89 raketa (što je ekvivalentno broju od 1157 kasetnih projektila) za potrebe operativnih testova.

Programom P3I BAT kasetne municije planiran je i odobren razvoj dvostrukog moda aktivnog radara u milimetarskom talasnom opsegu i IC tragača, zajedno sa akustičkim sensorima. To će omogućiti kasetnoj municiji da pogađa stacionarna i pokretna oklopna vozila. Kasetna municija BAT ima razvijen dvostruki mod za bojnu glavu, što omogućava pogađanje oklopnih i „mekših“ (soft) ciljeva.

Poboljšanu kasetnu municiju mogu nositi rakete BLOK 2 i 2A, a očekuje se da će šest poboljšanih BAT kasetnih projektila biti ugrađeno u ove rakete sa maksimalnim dometom do 300 km. Očekuje se da će kopnena vojska SAD naručiti 900 raketa BLOK 2, čija proizvodnja treba da počne 2000. godine.

Moguće je da će u budućnosti rakete BLOK 2 i 2A biti opremljene drugim vrstama „tereta“. U izveštaju iz 1997.

godine navedeno je da BAT kasetna municija može da se opremi i GPS navigacionim sistemom, TV kamerom i linkom za digitalne podatke, kako bi se omogućilo izveštavanje u realnom vremenu o ostvarenim efektima. Isto tako, moguće je da se izvrši adaptacija bojne glave kako bi se omogućilo probijanje čvrstih (otpornih) ciljeva. Inače, program razvoja rakete ove tehnologije započeo je još 1978. godine, a 1985. godine prihvatilo ga je američko ratno vazduhoplovstvo. Razvoj i izrada raketa povereni su kompaniji „Lockhead Martin Vought Systems“. Rakete su projektovane tako da mogu da se lansiraju sa standardnih MLRS lansirnih vozila. Nakon 25 testova gađanja rakete su uvedene u upotrebu 1991. godine. U operaciji „Pustinjska oluja“ ispaljeno je 32 rakete.

V. Radić

<<<◇>>>

PROBLEMI MODERNIZACIJE TENKOVA*

Problem modernizacije tenkova danas je predmet stalnog interesovanja. Postoji više projekata koji razmatraju poboljšanje karakteristika hodnog dela i naoružanja za koje se smatra da je najdinamičnija komponenta za obezbeđenje najvećeg porasta efikasnosti. Po pravilu, najveći broj projekata u toj oblasti predviđa modernizaciju sistema za upravljanje vatrom (SUV) radi povećanja tačnosti gađanja nevođenim sredstvima, širenje uslova primene (u prvom redu gađanje noću) i suštinsko povećanje funkcionalnih mogućnosti komandira. Tim putem idu, praktično, svi poznati sistemi moderniza-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, novembar-decembar, 1998.

cije na Zapadu. Ipak, ni u jednom poznatom sistemu nije realizovana mogućnost primene upravljanog oružja, mada su danas sasvim očigledne njegove prednosti, kao što su:

- mogućnost da se predupredi protivnik u susretnom boju i obezbedi njegovo uništenje do ulaska u zonu efikasne vatre iz tenkovskih topova;

- uništavanje različitih ciljeva (tenkova, BVP, OT, helikoptera, vatrenih položaja), što suštinski povećava mogućnosti tenka kao univerzalnog borbenog sredstva;

- nisu neophodna oruđa visokih balističkih karakteristika za obezbeđenje efikasne daljine gađanja, što daje nove mogućnosti povećanja takvih karakteristika, kao što su zaštita i manevar;

- kvalitetno povećanje efikasnosti po naoružanju zastarelih tenkova, što omogućava produžavanje njihovog životnog ciklusa i daje značajne finansijske uštede.

Danas postoji veliki broj tenkova koji imaju značajne resurse hodnog dela, sa zastarelim naoružanjem i sistemom za upravljanje vatrom. Tu spadaju ruski T-55, T-62, T-72M, američki M60A1, nemački LEOPARD-1 i dr. Uz svu očiglednost ovog pitanja interesantna je adekvatnost teoretskih razmatranja i praktičnih rezultata. Karakterističan je primer dorade i ispitivanja ruskog tenka T-62, koja su sprovedena u jednoj od zemalja sa žarko-pustinjskom klimom. Modernizacija tenka je obuhvatala ugradnju sistema za upravljanje vatrom, razrađenom za BMP-3, uz istovremenu doradu energitike za stabilizaciju kupole radi povećanja tačnosti. U sastav SUV uključeni su: nišanski uređaj nišandžije sa stabilizacijom linije viziranja u dve ravni i informaciono-vizirnim kanalom, laserski daljino-

mer, balistički računar sa sistemom davanja, blokom za napajanje doradenim sa elektronikom za upravljanje energetskim stabilizatorom. Takav sistem je omogućio suštinsko povećanje tačnosti neupravljanog naoružanja i obezbeđenje gađanja iz mesta i pokreta upravljanim naoružanjem. Objekat modernizacije bio je tenk T-62 proizveden 1965. godine.

Sprovedene dorade omogućile su da se otklone osnovne neispravnosti i ugradi automatizovani sistem za upravljanje vatrom. Ispitivanja su vršena u dve etape: stacionarnoj i vatrenoj.

Pri stacionarnom ispitivanju obavljane su provere:

- podešenosti nišana i daljinomera sa topom;
- tačnosti stabilizacije oružja;
- rešenja balističkog računara;
- sinhronizacije.

Navedene provere rađene su pre ispitivanja i nakon ispitivanja, pre i posle marša (6 do 7 km) sa uključenim sistemom za upravljanje vatrom, pri brzini kretanja od 25 do 30 km/h, i posle gađanja iz mesta i pokreta različitim vrstama municije (pancirno-potkalibarna, trenutno-fugasna, vođena). Kako posle kretanja, tako i posle gađanja, podešenost je ostala nepromenjena. To govori o „čvrstoći“ sistema i maloj osetljivosti na uticaj spoljnjih faktora.

Vatrena ispitivanja sastojala su se od:

- provere bezbednosti i stabilnosti parametara sistema pri gađanju temperiranim projektilima;
- određivanja srednje tačke pogađanja trenutno-fugasnih i pancirno-potkalibarnih zrna, pri gađanju na udaljenosti 1000 m, uz određivanje početne brzine i tehničkog rasturanja;
- određivanja rasturanja trenutno-fugasnih i pancirno-potkalibarnih zrna;

- određivanja tačnosti pogađanja pri izvršavanju različitih zadataka na nagibu i u pokretu (frontalnom i bočnom);
- gađanja sa vođenim projektilima.

Rezultati gađanja

1. Pri gađanju sa temperiranim (+50°C) pancirno-potkalibarnim projektilima, pri nagibu tenka oko 10° i smeru kupole bočno za 90° suprotno nagibu, pri maksimalnoj elevaciji cevi topa, dužina trzanja bila je 400 do 405 mm pri dozvoljenoj veličini od 430 mm. Posle dejstva maksimalnog udarnog impulsa radna sposobnost SUV ugrađenog u tenk ostaje nenarušena. Promene podešenosti bile su manje od 0,4 mrad (dozvoljeno 0,6 mrad). Potvrđena je i bezbednost rada posade.

2. Gađanje je potvrdilo male vrednosti odstupanja početne brzine i dobre karakteristike tehničkog rasturanja sistema. $E_t = 0,09-0,15$ t.d. za pancirno-potkalibarna zrna i $0,11-0,19$ za trenutno-fugasna zrna.

3. Gađanje iz mesta po nepokretnom cilju izvodilo se na različitim rastojanjima, sa nepripremljenih položaja, u metu dimenzija 6×6 m. Pri gađanju tenk je imao nagib do 6°. Odstupanja su bila:

- pri gađanju pancirno-potkalibarnim zrnom na rastojanju od 1600 do 2000 m ukupna greška bila je 0,09 do 0,25 t.d.;
 - pri gađanju trenutno-fugasnim zrnom na rastojanjima od 1500 do 1800 m, ukupna greška bila je 0,13-0,27 t.d.;
4. Gađanje iz pokreta nepokretnog cilja dimenzija 6×6 m, pri frontalnom i bočnom kretanju brzinom 15 do 20 km/h, imalo je sledeće pokazatelje:
- pri gađanju pancirno-potkalibarnim zrnom i frontalnom kretanju ka cilju

(Dsr = 1300 m) ukupna greška bila je 0,1–0,22 mrad;

– pri gađanju trenutno-fugasnim zrnom i frontalnom kretanju ka cilju (Dsr = 1300 m) ukupna greška iznosila je 0,21–0,51 t.d.;

– pri gađanju pancirno-potkalibarnim zrnom i bočnom kretanju ka cilju (Dsr = 1300 m) ukupna greška bila je 0,35–0,6 t.d.;

– pri gađanju trenutno-fugasnim zrnom i bočnom kretanju ka cilju (Dsr = 1300 m) ukupna greška iznosila je 0,43–0,48 t.d. Rezultati ispitivanja pokazuju da razmeštaj automatizovanog sistema za upravljanje vatrom na tenku T-62 suštinski povećava tačnost pogađanja i tako daje tenku veće borbene mogućnosti.

5. Gađanje vodenim raketama sprovodilo se iz mesta i pokreta, pri brzini kretanja oko 15 km/h, pri frontalnom i bočnom kretanju ka cilju i na različitim rastojanjima.

Rezultati su prikazani u tabeli.

Red. br.	Uslovi gađanja	Rastojanje (m)	Rezultat
1.	iz mesta	3965	Pogodak
2.	iz mesta, elevacija	3965	"
3.	iz pokreta, u pravcu cilja	3500	"
4.	iz mesta, direktno svetlo	3965	"
5.	iz mesta, elevacija	3965	"
6.	iz pokreta, u pravcu cilja	3200–3500	"
7.	iz pokreta, u pravcu cilja	"	"
8.	iz pokreta, za 90° okrenut	3000	"
9.	iz pokreta, za 90° okrenut	"	"
10.	iz mesta	150	"

Na taj način vođeno oružje je potvrdilo visoku pouzdanost i tačnost na svim rastojanjima, iz mesta i pokreta, i pri naizmeničnom gađanju vodenim i nevođenim sredstvima.

Može se zaključiti da pri modernizaciji tenkova najbolji efekt daje usavršavanje SUV i opremanje vodenim oružjem. Pri izboru varijante modernizacije važna

je potvrda teoretskih postavki praktičnim gađanjima. Ispitivanja tenka T-62, modernizovanog sistemom za upravljanje vatrom sa BMP-3, pokazala su visoku stabilnost parametara SUV i visoku tačnost pri gađanju, kako sa vođenim, tako i sa nevođenim sredstvima. Predloženi SUV i vođeno oružje mogu se koristiti na raznim ruskim i drugim tenkovima koji imaju topove kalibra 100 do 120 mm.

M. Krbavac



TEŠKI MEHANIZOVANI MOST TMM-6*

Savremena borbena dejstva karakterišu se velikom dinamikom i složenošću putnih uslova, zbog postojanja mnoštva prirodnih i veštačkih prepreka. Njihovo savlađivanje zahteva izgradnju ili polaganje mostova i skela za prelaz teških borbenih vozila. Kako izgradnja mostova zahteva dosta vremena i materijala, ona je često neprihvatljiva za brzopromenljive situacije. Problem se rešava upotrebom mehanizovanih mostova.

Teški mehanizovani most TMM-6 namenjen je za premošćavanje vodenih prepreka ili suvih udolina, širine do 100 metara i dubine do 5 metara, čime se omogućava prelaz vozila mase do 60 tona. Mehanizovani mostovi se koriste za vreme borbenih dejstava, evakuacionih aktivnosti i saniranja posledica udesa i prirodnih katastrofa.

Teški mehanizovani most TMM-6 sastoji se od polagača mosta i njegovih članaka. Polagač mosta je visokoprodni kamion, konfiguracije 8 × 8, koji ima opremu i mehanizme za transport i

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart-april, 1999.

polaganje članaka mosta. Mehanizmi za polaganje mosta opremljeni su hidrauličnim pogonom i prenosnikom obrtnog momenta od motora vozila. Polagač mosta opremljen je sistemom za zaštitu posade od prašine prilikom prelaska preko kontaminiranog zemljišta, sredstvima veze i uređajem za međusobni razgovor.

Članci mosta sastoje se od dva duplo-preklopljena kraka. Dužina jednog kraka je 17 metara, a visina podupirača može se regulisati od 2 do 5 metara. Sklapanje – rasklapanje mosta ostvaruje se hidrauličnim pogonom, i potpuno je automatizovano. Postoje specijalni mehanizmi koji omogućavaju posadi da reguliše širinu članaka mosta za potrebe transporta. Postavljanje mosta kontroliše se sa komandne table, koja se nalazi na zadnjem delu polagača, ili daljinskim upravljačem uz pomoć kabla čija je dužina 30 metara.

Osnovne karakteristike

Broj članova posade	2
Dužina mosta (m)	17 do 102
Nosivost mosta (t)	60
Dubina savladivane prepreke (m)	do 5
Vreme postavljanja mosta dužine 102 m (min)	50
Brzina kretanja vozila po mostu (km/h)	20 do 30
Brzina kretanja polagača mosta (km/h):	
- srednja	35 do 40
- maksimalna	70
Autonomija kretanja (km)	1100

Vreme polaganja jednog članka mosta iznosi 5 minuta. Most se može skupljati sa oba kraja.

Teški mehanizovani most TMM-6 može se isporučiti i bez hidrauličnog pogona članaka mosta, što pojeftinjuje, ali i otežava njegovo polaganje. Polaganje je moguće i na neuređenim mestima prelaza.

M. Krbavac



NOVI HELIKOPTER Ka-60*

Helikopter Ka-60 može prevoziti streljačko odeljenje sa punom ratnom opremom, u kabini čija je zapremina 9,8 m³. Dvoja pomična vrata, po jedna sa svake strane kabine, dimenzija 1250 × 1300 mm, omogućavaju ukrcavanje – iskrcavanje vojnika za 5 do 6 sekundi.

U ambulatnoj verziji helikopter Ka-60 može prevoziti šest nosila sa ranjenicima i tri medicinska pratioca, ili ukupno 14 pacijenata.

Maksimalna unutrašnja nosivost helikoptera je 2000 kg, a ukupna nosivost je 6500 kg.

U pretraživačko-spasilačkoj verziji helikopter je opremljen reflektorom i dizalicom LPG-300, nosivosti 300 kg, koja može da podiže dva lica ili odgovarajući teret. Za aktivnosti na vodi helikopter je opremljen naduvavajućim balonima.

Helikopter Ka-60 može se koristiti i u drugim slučajevima kada je obezbeđena specijalna oprema i naoružanje. Na osnovu ovog helikoptera razvijena je i civilna varijanta koja nosi oznaku Ka-62.

Performanse helikoptera, pouzdanost i pokazatelji odnosa snaga/masa znatno su poboljšani zbog najsavremenije primenjene aerodinamičke konfiguracije. Helikopter ima opremu za prizemljenje koja se može uvlačiti, a pogone ga dva motora RD-600. Može se koristiti u širokom atmosferskom temperaturnom intervalu, na visinama do 6000 m, i akcionim radijusom do 600 km pri visokim krstarećim brzinama.

Motori, specijalno konstruisani za Ka-60, razvijaju snagu od 956 kW (1300

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart-april, 1999. g.

KS) i spadaju u najsavremenije ruske motore. Modularna konstrukcija i savremena tehnološko-tehnička rešenja obezbeđuju visoku ekonomičnost i pogodnost održavanja. Digitalni dvokanalni automatski sistem za upravljanje, zajedno sa hidromehaničkim prenosom, razvijenim monitoringom i sistemom dijagnostike, povećavaju operativnu pouzdanost celokupnog energetskog sistema. Ukoliko se jedan motor zaustavi prilikom podizanja ili u toku leta, automatski se pojačava izlazni obrtni moment drugom motoru (bez intervencije pilota), čime se omogućava nastavak leta.

Helikopter nije osetljiv na ledene i prašnjave uslove. Krilca glavnog rotora opremljena su električnim sistemom protiv zaleđivanja, a delovi motora toplotno-vazдушnim sistemom i uređajima za zaštitu od prašine. Vodeće ivice krila glavnog rotora zaštićene su antierozivnim premazom.

Po potrebi, motor i prenosnik glavnog rotora mogu da rade na kritičnom režimu, povećavajući ukupnu snagu za 20 do 25%. Sklopovi za prenos obrtnog momenta mogu određeno vreme raditi i bez ulja.

Komande i delovi sistema za upravljanje osigurani su tako da funkcionišu i u slučaju pogotka mecima 7,62 i 12,7 mm. Krila glavnog rotora izrađena su od kompozitnih materijala i ostaju u funkciji i pri pogocima projektila kalibra 23 mm. Glavni sistemi i sklopovi helikoptera su duplirani. Takođe, glavni i pomoćni sistemi ugrađeni su sa različitih strana, radi sprečavanja oštećenja jednim projektilom. Rezervoari za gorivo obezbeđeni su sistemom za zaštitu od eksplozije.

Pilotska kabina ima dva sedišta sa kojih se može upravljati helikopterom, što je idealno za početnu obuku pilota, kao i usavršavanje tehnike leta.

U slučaju opasnosti u toku leta na malim visinama, posadi i putnicima na raspolaganju je dodatna oprema za prizemljenje. Snažna konstrukcija i dobro osigurani uređaji isključuju eventualne povrede posade i putnika do kojih može doći usled naglog udara.

Standardna oprema helikoptera sastoji se od navigacionih uređaja, opreme za upravljanje letom, sistema informacija i odgovarajućih displeja. Zalihe su smeštene u prednjem odeljku trupa. Pogodnost remonta, najsavremenije dijagnostičke metode i lako servisiranje omogućavaju održavanje zahtevanog nivoa borbene gotovosti.

Visoke operativne karakteristike ostvarene su i upotrebom kompozitnih materijala, primenom ležajeva koji ne zahtevaju održavanje, systemske opreme u zonama održavanja i dr. Ugrađeni automatizovani sistem monitoringa omogućava da se brzo uoči problem i dobije potrebna informacija putem displeja na helikopteru ili na zemlji.

M. Krbavac



NOVE MOGUĆNOSTI USAVRŠENOG RADARA P-18*

Iako proizveden sedamdesetih godina, radar P-18 jedan je od osnovnih osmatračkih i nišanskih radara koji se koristi za potrebe PVO Rusije i u sistemima vazdušnog saobraćaja. Takvu reputaciju radar je stekao zbog svojih tehničkih karakteristika, pouzdanosti i jednostavnosti u rukovanju.

Međutim, pojava novih opasnosti iz vazdušnog prostora i savremenih sistema

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart-april, 1999.

Karakteristike	Osnovna verzija	Usavršena verzija
Otpornost na aktivno ometanje: daljina otkrivanja cilja u uslovima PED protivnika sa ukupnom spektralnom osetljivošću od 200 W/MHz i nominalnim dometom od 200 km i visinom cilja na:		
- 3000 m	nema efekta	84 km
- 10000 m	"	150 km
- 20000 m	"	162 km
Broj neutralisanih ometačkih vektora	nema	4
Odnos neutralisanja (odnos signal/šum od 25-40 dB)	0	23-33
Otpornost na pasivni šum:		
- operativni domet (km)	0-150	0-350
- koeficijent gušenja šuma (dB)	20	30
- strukturni elementi	el. cevi	mikroelektronika
Automatizacija očitavanja podataka:		
- automatska primarna i sekundarna obrada signala (i MTI mod)	nema	ima
- automatsko otkrivanje i snimanje ometača	nema	ima
- automatsko merenje i zapisivanje visine cilja	nema	ima
Greške određivanja položaja cilja:		
- horizontalne koordinate	najmanje 3000 m	400 m
- visina	najmanje 2000 m	800 m
- brzinske komponente	nema	20 m/s
Automatsko prikupljanje i obrada podataka:		
- panel za grafičko prikazivanje situacije	da	ne
- obrada podataka (posle otkrivanja cilja)	5-8 min ili više	20-30 s
- procena valjanosti podataka	2-4 min	10 s
- istovremenost praćenja ciljeva	10-15	120
- greške merenja koordinata (km)	6-12	0,8
- izmena podataka između nekoliko sistema	nema	ima
- snimanje podataka	nema	ima
IFF sistem:		
- međunarodni sistem	nema	ima
- simulaciona otpornost	nema	ima
- tačnost identifikacije	do 0,9	min. 0,97

za protivelektronska dejstva nalagala je razvoj zemaljskih radara većih mogućnosti. Radi povećanja mogućnosti radara P-18 do nivoa postojećih i budućih zahteva, i produženja njihovog veka, firme NITEL iz Nižnjeg Novgoroda i Radio i elektronskog kompleksa iz Moskve, izvele su sledeća poboljšanja:

- povećana je otpornost na ometanje radara za faktor veći od 100;

- analogna oprema zamenjena digitalnom, čime je povećana efikasnost i stabilnost sistema za otklanjanje smetnji;

- automatizovano je očitavanje radarskih podataka i generisanje pretraživanja ciljeva u vazдушnom prostoru;

- radar je snabdeven kolekcijom podataka, kao i procesnim i displej-uređajima;

- zemaljski identifikacioni radar ima nove elektronske komponente i može se uključiti u međunarodni identifikacioni sistem;

- pojedini sklopovi zasnivaju se na sasvim novim komponentama koje obebeđuju i nove karakteristike.

Usavršavanje radara P-18 i njegovih modifikacija može se obavljati postupno. Predložena modernizacija znatno povećava mogućnosti radara u otkrivanju ciljeva u vazдушnom prostoru u surovim uslovima protivelektronske borbe, uklju-

čujući i „stealth“ avione. Ona ih čini kompetentnim za vojne potrebe do 2010. godine i povećava njihov životni ciklus za 15 do 20 godina, što je posebno značajno u uslovima ograničenih finansijskih resursa.

M. Krbavac

<<<◇>>>

KOMBINOVANA PROTIVELEKTRONSKA DEJSTVA*

Nedavni lokalni ratovi i vojni sukobi, koji su vođeni savremenim naoružanjem, pokazuju da je glavni udar protiv protivničkih snaga bio ostvaren pomoću precizno vođenih sistema oružja lansiranih iz vazdušnog prostora. U stanju pripreme i upotrebe ovi sistemi oružja su podržavani raznim elektronskim sistemima namenjenim da obezbede informacije, potvrde dobijene podatke, uspostave komunikacije između jedinica i navode oružja u pravcu njihovih ciljeva.

Međutim, uprkos njihovih širokih mogućnosti, elektronski sistemi imaju jedan ozbiljan nedostatak, a to je da su podložni nepovoljnim uticajima prirodnih i veštačkih ometanja. Radio-elektronski sistemi za prikupljanje informacija osetljivi su na specifičan tip ometačkih signala koji mogu sprečiti upotrebu oružja ili ih učiniti kompletno neupotrebljivim.

Sistemi za elektronska protivdejstva imaju sve veću primenu u svim vodećim armijama sveta. Zajednička upotreba borbenih sistema i sistema za protivelektronska dejstva znatno povećavaju ukupne borbene mogućnosti. U principu, elementi za protivelektronska dejstva (PED) i jedinice podeljene su na dve

nezavisne grupe, koje imaju posebne zadatke: jedna grupa sprečava radio-veze protivnika, a druga grupa je odgovorna za njegova radarska i elektronska sredstva.

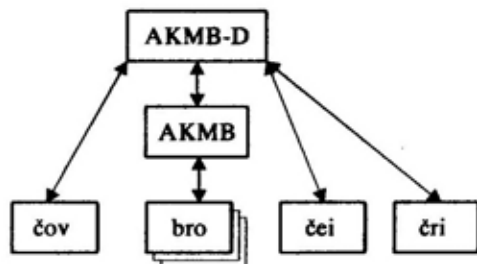
Iako namenska uloga pojedinih sredstava ponekad izgleda vrlo atraktivno, najpoželjnija je kombinovana upotreba jedinica (ili elemenata) za PED, jer se time obezbeđuje visoka automatizacija upravljanja u zajedničkim dejstvima.

Istraživački institut iz Rostova i Kvantna proizvodna asocijacija iz Velikog Novgoroda sa kooperantima razvili su opremu jedinice za kombinovani PED. Moguća varijanta ojačanog (kombinovanog) bataljona za PED predstavljena je blok-dijagramom.

Bataljon sadrži:

- modifikovano automatizovano komandno mesto bataljona (AKMB-D);
- četvu za ometanje sredstava veze (čov);
- avioprevozni bataljon za radarsko ometanje (bro);
- četvu za elektronsko izviđanje (čei);
- četvu za radarsko izviđanje (čri).

Komandno mesto ojačanog bataljona zastupljeno je automatizovanim komandnim mestom bataljona (AKMB) koje organski pripada bataljonu za radarsko ometanje. Komandno mesto je prilagođeno za komandovanje ojačanim četama različite namene.



Varijanta ojačanog bataljona za PED

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart-april, 1999.

Četa za ometanje veze opremljena je ometačkim stanicama R-330K (T), R-325U, R-378A i R-934U.

Četa za elektronsko izviđanje ima pokretnu automatsku stanicu RTR-85V6 i izviđačku stanicu.

Četa za radarsko izviđanje može se opremiti savremenim radarima nebo-SV, kao što su OBZOR i KUPOL 3D, koji šalju podatke o vazdušnoj situaciji do komandnog mesta (AKMB-D). Taj sistem može da uključuje i radare koji već postoje u određenim armijskim strukturama.

Jezgro ojačanog bataljona čini avio-prenosni bataljon za radarsko ometanje čiji je zadatak da sprečava avioosmatranje, navigaciju, vatru sa malih visina, kao i funkcionisanje radara na sistemima oružja. Bataljon čine tri čete opremljene ometačima velike snage, SPN-2 i SPN-4, koji se mogu aktivirati preko konzole za

upravljanje ili sa komandnog mesta na nivou čete.

Bataljon za ometanje sposoban je da spreči funkcionisanje do 50 avioradara pojedinačno, na visinama od 30 m do 30 km.

Razmena informacija između elemenata bataljona ostvaruje se telekodiranim i radio-telefonskim vezama.

Predložena struktura ojačanog (kombinovanog) bataljona za PED obezbeđuje automatizovano izvršenje zadatka putem elektronskog i radarskog izviđanja vazdušnog prostora i optimalne distribucije cilja u okviru organski pripadajućih ometačkih sredstava. Kombinovani pristup jedinicama za PED pomaže komandantu jedinice da menja strukturu jedinica za PED, kako bi mogle da adekvatno odgovore na specifičnosti taktičke situacije i, na osnovu toga, zahteva i asortiman opreme koja je potrebna.

M. Krbavac





tehničke novosti i zanimljivosti

PRVE PROBE RUSKIH SISTEMA PVO S-400*

Novi ruski raketni sistemi PVO S-400 isprobani su 12. februara ove godine u Kapustin Jaru. Sistem S-400 je „četiri plus“ generacija sistema naoružanja, a projektovao ga je Almaški centralni projektni biro, koji je razvijao i sisteme S-300PMU (SA-10).

Novi sistem je namenjen za otkrivanje i uništavanje ciljeva na rastojanjima do 400 km, što je dva puta više od sistema prethodnih generacija. Obavljeno je prvo od tri lansiranja koja će se izvršiti radi testiranja sistema za otkrivanje, vođenje i upravljanje. Rakete sistema S-400 još su u fazi razvoja u Projektnom birou Fakel, a postojeće rakete 48N6E lansirane su radi sistemskog testa sa S-300PMU-1.

Rezultati testa nagovestili su potpun uspeh. Nagovešteno je da se dalja ispitivanja mogu očekivati krajem godine, ukoliko bude obezbeđena adekvatna finansijska podrška.

Radarska oprema sistema S-400 omogućava otkrivanje i uništavanje „stealth“ ciljeva, dok su protivraketne mogućnosti povećane do ograničenja definisanih rusko-američkim dogovorom iz 1972. godine o protivbalističkim raketama. Sistem obezbeđuje presretanje boj-

nih glava koje lete brzinom od 4,8 km/s. Za sistem S-400 razvijaju se dve rakete. Jedna bi trebalo da ima doomet do 400 km i koristila bi se protiv aviona za rano obaveštavanje, upravljačkih i aviona za ometanje, a druga – 9M96, koristiće se za uništavanje aviona i raketa na kraćim rastojanjima.

M. K.



PRIPREMA PROIZVODNJE NOVIH RAKETA U KINI*

Modernizacija kineskih strategijskih raketnih snaga doživela je novu prekretnicu razvojem savremenih, dalekometnih verzija raketa DF-21 (NATO oznaka CSS-5), čiji je privremeni naziv DF-21X.

Dvostepena raketa DF-21X jedan je od četiri raketna programa koji su rezultat zahteva kineske armije za poboljšanje mogućnosti sistema, posebno lansiranja iz pokreta, a koji su zacrtani do 2000. godine. Prema raspoloživim podacima raketa postiže veću tačnost putem globalnog pozicionog sistema (GPS) i može se opremiti „radio-frekventnom eksplozivnom bojnom glavom“.

Najveći deo rakete identičan je raketi DF-21, koja je u upotrebi već 10

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, februar, 1999.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, februar, 1999.

godina, ali ona ima više goriva, zbog čega joj je povećan domet sa 1200 na 3000 km.

Raketni sistem DF-15 (CSS-4/M-9) ima domet do 600 km i bojnu glavu od 500 kg. U upotrebi je od 1991. godine i ostaje u proizvodnji sa mogućim obimom od 650 komada. Sistem DF-15, kao i DF-21X, može nositi nuklearnu bojnu glavu snage 90 kt, ali se danas više oprema klasičnim bojnim glavama. Raketni sistem DF-15 davno je bio aktuelan zbog tenzija između Kine i Tajvana, kada je ugrađeno više od 200 ovih balističkih raketa na kineskoj obali.

Kina je, prema nekim izveštajima, formirala 6 artiljerijskih brigada sa najmanje 100 raketa DF-15 za poslednjih 5 do 10 godina. Poslednja raketa iz kineskog programa modernizacije je DF-31 – interkontinentalna, mobilna, trostepena raketa na čvrsto gorivo, sa nuklearnom bojnom glavom, dometa do 8000 km. Ona predstavlja osnovu i podmorničke balističke rakete JL-2, koja ima korisno punjenje 700 kg i nuklearnu bojnu glavu snage 200 kt. Poznato je, takođe, da je DF-31 u proizvodnji i da je znatno veća od DF-21. U razvoju je raketa iz iste organizacije DF-41. Mada je planirano da se raketa DF-31 uvede u upotrebu još 1996. godine, to je učinjeno sa zakašnjenjem od 24 meseca. Rakete DF-41 naći će se u naoružanju 2001. ili 2002. godine.

Postoji i raketni program DF-25 koji koristi prva dva stepena rakete DF-31, što joj omogućava domet od 1700 km. Po nekim stručnjacima to je osnova i iranske rakete SHAHAB-3 i pakistanske GHAURI, ali prema mišljenju američkog Nacionalnog obaveštajnog biroa raketa DF-25 je još u fazi razvoja i nije u vezi sa tim programima.

M. K.

<<<◇>>>

NAJNOVIJE ŠVAJCARSKE MINOBACAČKE KASETNE BOMBE*

Izlazeći u susret zahtevima švajcarske armije firma za proizvodnju minobacača razvila je novu minobacačku kasetnu bombu 120 mm, koja se koristi iz vučnih ili samohodnih minobacača. Redovna proizvodnja očekuje se sledeće godine.

Minobacačka kasetna bomba 120 mm nosi 32 granate dvostruke namene (protiv žive sile – protiv oklopa), koje su vrlo efikasne protiv različitih ciljeva, uključujući lakooklopljena vozila i tenkove. Ove granate razvila je izraelska vojna industrija, ali sada imaju novi dizajn i kompaktnije su od ranijih.

Domet bombi zavisi od vrste minobacača koji se koristi i obično iznosi 6000 do 7200 metara. Bomba se ispaljuje kao i klasična minobacačka granata. Na dostignutoj visini izbacivanja upaljač bombe aktivira eksplozivno punjenje koje potiskuje prednji deo zrna, izbacuje korisni teret i inicira gasni generator. Sadržaj od 32 granate tada se disperguje na radijusu od 100 m, sa slikom rasturanja oblika X radi maksimalnog efekta na cilju. Smrtonosnost rasturanja ne zavisi od dometa i punjenja već je obezbeđeno novim sistemom disperzije. Svaka granata opremljena je udarnim upaljačem i sa dva mehanizma za osiguranje. Protivoklopne granate eksplodiraju čim pogode cilj, aktiviranjem ugrađenog samorazarajućeg mehanizma, a ostale se same neutrališu.

Smatra se da protivtenkovske parčadnofugasne bojne glave mogu probiti homogeni čelični oklop debljine do 70 mm, sigurno uništiti laka oklopljena vozila, kao i delove većine borbenih tenkova.

Granate eksplodiraju u više od 900 smrtonosnih parčadi koja mogu da unište

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, februar, 1999.

meke ciljeve. Srednja efikasnost svakog parčeta je 80 J na rastojanju 5 m od tačke eksplozije.

Masa minobacačke bombe je 14,8 kg, dužina bez upaljača 763 mm, a sa upaljačem DM93 827 mm. Svaka od 32 granate ima prečnik 42 mm i sadrži 32 g eksploziva RDX. Može se opremiti električnim ili mehaničkim upaljačem. Odvojeno dodatno punjenje između krilaca stabilizatora omogućava lako kretanje do željenog dometa. Bomba ima 6 krilaca stabilizatora koji se otvaraju pri letu.

M. K.

<<<◇>>>

MUNICIJA 30 MM AHEAD*

Švajcarska kompanija Oerlikon-Contraves smatra da je program modernizacije sistema PVO Grčke polazna osnova za razvoj municije kalibra 30 mm, nastale modifikacijom municije modela 35 mm AHEAD. Takođe, smatra se da postoji značajno potencijalno tržište za municiju 30 mm AHEAD, prvenstveno u opremanju topova 30 mm na oklopnim borbenim vozilima.

Postojeći sistem VELOS u Grčkoj PVO, koji ima 20 baterija za odbranu 6 osnovnih operativnih baza, uključuje radarski sistem SKYGUARD za upravljanje vatrom, dva vučna PA topa 35 mm GDF i 2 lansera za rakete AIM-7M SPARROW sa poluaktivnim radarskim vođenjem. Grčka se za sistem VELOS odlučila još 1983. godine.

U partnerstvu sa grčkom vojnom industrijom EBO (Hellenic Army Industry), švajcarska kompanija je predložila konfiguraciju VELOS 30 za moderniza-

ciju postojećih baterija. Sistem VELOS 30 bi imao poslednju konfiguraciju sistema SKYGUARD, integrisanu novu elektroniku na lanserima raketa SPARROW, a postojeća kupola sa topom 35 mm zameniće se kupolom ARAMIS opremljenom topovima 30 mm i adekvatnom municijom tipa AHEAD.

Integracija topa ARAMIS sa radarskim sistemom SKYGUARD je demonstrirana na Kritu 1996. godine. Municija 30 mm AHEAD znatno je povećala mogućnosti uništenja ciljeva u vazдушnom prostoru.

Kako su pokazala poslednja ispitivanja, postojeća municija 35 mm AHEAD (koja izbacuje 152 subprojektila za udar po ciljevima u vazдушnom prostoru može imati razorni efekat i po ciljevima na zemlji, posebno na ljudstvo i slabije zaštićena vozila, kao i na neka oklopna borbeno vozila i tenkove. Pošto se pri gađanju tenkova destruktivni efekat iskazao na sensorima i komunikacionoj opremi, u švajcarskoj kompaniji se očekuje da će se ubuduće sve više tražiti topovi kalibra 30 mm sa municijom AHEAD za opremanje borbenih vozila.

Osim toga, kompanija Oerlikon – Contraves je zajedno sa kompanijom Mauser radila na američkom programu poboljšanog amfibijskog ofanzivnog vozila PM AAV (Program Manager Advanced Amphibious Assault Vehicle), radi isporuke 880 metaka 30 mm APFSDS-T. Metak 30 × 173 mm će koristiti „full-spin“ tehnologiju koja se pokazala efikasnom kod municije 25 × 137 mm, a koja je prodana Kanadi i Singapuru. Ova municija je jeftinija za proizvodnju od konvencionalne. Metak 35 × 170 mm biće ponuđen armiji Velike Britanije radi zamene pancirne municije povećanih performansi APEP (Armour Piercing

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 12/98.

Enhanced Performance) za njihov top 30 mm RARDEN.

V. R.



MODERNIZACIJA PA TOPOVA U ARMJI EGIPTA*

Armija Egipta razmotrila je predlog Ukrajine koji se odnosio na modernizaciju 117 sovjetskih samohodnih PA topova ZSU-23-4 SPAAG (Self-Propelled Anti-aircraft Guns), kako bi im produžili operativni vek upotrebe.

Modernizaciju bi trebalo da izvrši poznata ukrajinska organizacija Ukrspetsexports uz pomoć i saradnju fabrike „Mališev“ i državnog naučnog i tehničkog centra za artiljerijsko i streljačko naoružanje, koji je i projektovao rešenja za modernizaciju ovog poznatog sistema.

U SSSR-u je izrađeno između 6000 i 7000 sistema ZSU-23-4, naoružanih sa četiri radarski kontrolisana topa kalibra 23 mm, koji su izrađeni u periodu od 1965. do 1983. godine.

Modernizacija je opsežna i zahteva da se stari radar zameni novim, ispod kojeg se smešta senzorski sistem. On uključuje dnevnu i noćnu kameru i laserski daljinomer koji doprema informacije u računar sistema za upravljanje vatrom, a on upravlja četiri topa na cilj.

Kako bi se povećala ubojitost sistema, iznad senzorskog sklopa ugrađuje se nosač za šest raketa zemlja-vazduh tipa „ispali i zaboravi“ (fire-and-forget). Smatra se da su to ruske rakete IGLA (SA-18). Međutim, u armiji Egipta one će se zameniti domaćim raketama zemlja-vazduh SAKR EYE, koje su, u stvari, poboljšana varijanta ruskih raketa zemlja-vazduh STRELA 2 (SA-7).

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, februar, 1999.

Rakete zemlja-vazduh mogu se koristiti za ciljeve na većim daljinama, dok se topovi 23 mm koriste za bliže ciljeve. Topovi imaju brzinu gađanja (kadencu) od 800 do 1000 metaka u minuti po svakoj cevi, a efikasni su na daljinama do 2300 m.

Topovi kalibra 23 mm koriste istu municiju kao i dvocevni vučni PA topovi ZSU-23-2, koji se u velikom broju nalaze u armiji Egipta. Ovo oružje se već nekoliko godina, zajedno sa municijom, izrađuje u Egiptu.

Prema dostupnim informacijama, Egiptu su predložene dve verzije modernizacije sistema ZSU-23-4, a ostala poboljšanja uključuju ugradnju kupole na vozilima točkašima radi povećanja stratejske pokretljivosti.

V. R.



PROTIVTENKOVSKI RAKETNI SISTEM HOT/ATM*

Konzorcijum „Euromissile“ očekuje da izvrši ispitivanja protivtenkovskog raketnog sistema HOT/ATM, čiji razvoj je početkom ove godine završila britanska firma THOMSON CSF Optronique.

Za potrebe ispitivanja sistem će se ugraditi na austrijski oklopni transporter PANDUR 6 × 6 firme „Steyr – Daimler Puch“. Oznaka HOT govori o tome da se radi o protivtenkovskoj vođenoj raketi HOT dometa 4000 m.

Sistem HOT/ATM razvijen je kako bi se zadovoljili zahtevi evropskih armija za kompaktni modularni sistem koji se može ugraditi na manja gusenična ili točkaška oklopna vozila, i mogu imati izviđačku i protivtenkovsku namenu.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, februar, 1999.

Senzorski sistem uključuje dnevnu TV kameru, IC kameru, elektro-optički blok i laserski daljinomer.

Vatrena sposobnost sistema zavisi od odabrane kombinacije koju mogu sačinjavati dve rakete HOT sa svake strane kupole ili po dve rakete HOT sa jedne strane i mitraljez 12,7 mm, top 20 mm ili 30 mm, itd. Već je ispitan top 20 mm francuske firme „Giat Industries“ i novi nemački malotrzajući top 30 mm RMK 30 MAUSER, koji je razvijen za nemačku verziju ofanzivnog helikoptera TIGAR.



Borbena vozila PANDUR 6 × 6 APC naoružan sistemom HOT/ATM

Na kupolu sistema HOT/ATM mogu se ugraditi i druge protivtenkovske vođene rakete, kao što su TRIGAT-MR, HELLFIRE, TOW ili KORNET. Radi demonstracije mogućnosti, kupola HOT/ATM ugrađena je na šasiji vozila MaK Wiesel, sa koje je lansirano četiri rakete HOT na ciljeve na daljinama od 3600 do 4000 m. Takođe, kupola može da se instalira i na francusko izviđačko vozilo PANHARD VBL 4 × 4, koje se u velikom broju koristi u francuskoj armiji. Brojne su i druge šasije na koje se može ugraditi: oklopni transporter VAB 4×4 i 6×6 firme „Giat Industries“, ruska bor-

vena vozila pešadije BMP-1/BMP-2, oklopni transporter Patria Vehiclex XA-185, serije 6 × 6, izviđačko vozilo EAGLE 4 × 4 švajcarske firme MOWAG i američko višenamensko vozilo velike pokretljivosti HMMWV 4 × 4.

V. R.

<<<◇>>>

VIŠENAMENSKO STAND-OFF ORUŽJE*

Višenamensko stand-off oružje MUPSOW (Multi-Purpose Stand-Off Weapon), koje je razvila firma KENTRON uz finansiranje vlade Južne Afrike, sada se nalazi u fazi ispitivanja vođenja.

Prva verzija ovog oružja pokretana pomoću gasne turbine Microturbo, imala je bojnu glavu koju su projektovali stručnjaci kompanije SOMCHEM i Kentron IC tragač. Raketa ima masu 1200 kg, dužinu 4,92 m, raspon krila 1,9 m i poprečni presek trupa 480 × 641 mm.

IC tragač zasniva se na Kentron IC kameri visoke rezolucije, poznatoj pod imenom KENIS, čije su dimenzije 135 × 260 × 150 mm, i ima masu od 3,5 kg. Opisan je kao treća generacija ovih uređaja, jer sadrži detektor koji funkcioniše u frekventnom dijapazonu 3 do 5 μm. Tragač koristi princip mikroskeniranja, kako bi dobio četverostruko povećanje rezolucije, a softverski je kontrolisan. Kamera KENIS uključuje i integralni hladnjak Stirling a njeno uže polje osmatranja je 2,5° × 3°, dok je šire polje osmatranja 13° × 18°.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 2, 1999.

<<<◇>>>

INTELIGENTNI UPALJAČI ZA RUŠENJE BUNKERA*

Englesko-francuski vojni stručnjaci i firma TME (Thomson-Thorn Missile Electronics) razvijaju tehnologiju koja će omogućiti budućim generacijama municije za rušenje bunkera izvođenje sopstvene procene o šteti koju je nanela bomba pri eksploziji unutar čvrstih i duboko ukopanih ciljeva.

Za sada je gotovo nemoguće izviđanjem, nakon udara, putem satelita ili aviona utvrditi da li je krstareća raketa ili bomba uspešno uništila podzemni objekat, kada se samo njegov mali deo vidi iznad zemlje. S druge strane, procenjivanje štete koju obavlja niskoleteci (taktički) izviđački avion, izlaže posadu aviona velikoj opasnosti.

Razvojni program koji vodi firma TME za francusko, englesko i američko inteligentno naoružanje, potpomaže i kompanija za razvoj BDI tehnologije (Bomb damage intelligence). Ti programi obuhvataju upaljače MAFIS za engleske bombe BROACH, bojne glave krstarećih raketa engleskih i francuskih vazduhoplovnih snaga i američke upaljače HTSF (Hard Target Smart Fuze).

Oba upaljača trenutno su u fazi razvoja. Sistem za bojne glave BROACH nedavno je testiran i u SAD radi moguće upotrebe pri lansiranju iz vazdušnog prostora krstarećih konvencionalnih raketa sa velikih rastojanja. Upaljač HTSF, koji je startovao ranih devedesetih godina u programu Motorole, biće u primeni odmah po završetku ovog veka u naoružanju SAD za rušenje bunkera, kao što su GBU-28 i JSOW (Joint Stand-Off Weapon).

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, mart, 1999.

Slično kao MAFIS i upaljač HTSF ima mogućnosti da izračuna šupljine – broj probijenih slojeva, nakon probijanja višeslojne ojačane betonske ploče bunkera. Čim se probije određena dubina, ili određeni nivo sloja ispod zemlje, upaljač HTSF aktivira bojnu glavu. Prošle godine firma TME i Alliant Tech-Systems zaključili su ugovor sa vazduhoplovnim snagama SAD o razvoju tehnologije za izradu višenamenskog upaljača za čvrste ciljeve (MEHTF) za novu generaciju „minijaturne“ municije za lansiranje iz vazdušnog prostora mase 250 lb, umesto današnjih bombi od 500, 1000 i 2000 lb, projektovanih za bacanje sa velikih visina, i kao oružje sa malom kolateralnom štetom. Sa mogućnostima da odoli udarima od 100 000 g elektronika poslednje generacije firme TME uskoro će omogućiti prenos stvarne dubine ili nivoa sloja u momentu udara. Taj podatak omogućava proračun o tome da li je bomba uništila centar gađanog bunkera u momentu eksplozije.

M. K.

<<<◇>>>

RUSKI AVION MFI*

Kako su izjavili zvaničnici ANPK (Avijaciono-Naučno-Promišljeni Kompleks), ruski višenamenski taktički avion pete generacije MFI obaviće svoj prvi let polovinom 1999. godine.

Sa cenom od 70 miliona dolara MFI je opisan kao „leteća laboratorija“ i ne predstavlja deo komercijalnog programa, već osnovu za nove lovce koji će biti znatno jeftiniji, ali ne i lošiji od MFI. Još 1986. godine ovaj avion je predstavljen kao pandan američkom programu lovca

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, januar, 1999.

F-22, a bio je poznat kao projekat 1.42. Avion MFI ima veću brzinu od F-22 i bolje aerodinamičke karakteristike. Pokreću ga dva turbomlazna motora Saturn/Liulka AL-41F sa upravljivim vektorom potiska, što mu omogućava maksimalnu brzinu od 2,6 Maha (u odnosu na F-22 čija je optimalna brzina 1,7 Maha). Takođe, sposoban je da izvodi supersonične letove na velikim daljinama, pri brzinama 1,6 do 1,8 Maha.

Sa dvostrukom delta konfiguracijom, koju karakteriše 16 upravljivih površina, avion je konstruisan uglavnom od kompozitnih materijala i prekriven slojem boje koja apsorbuje radarsko zračenje.

Jedan od dva prototipa otkazao je 1994. godine, neposredno pre integracije projektantskog biroa Mikojan sa proizvodnom firmom MAPO u maju 1995. godine. Finansiranje programa je presušilo i avion je bio smešten u hangaru sve do 1998. godine, kada su izvršeni testovi letenja.

Kompleks ANPK MiG spreman je za kooperaciju sa kompanijama zainteresovanim za razvoj različitih varijanti aviona MFI. To može da se realizuje kroz proizvodnju aviona, na primer, LFS (laki taktički avion) ili lakog lovca I-2000, koji je dostojan takmac američkom lovcu F-22.

V. R.



POVEĆANA UGROŽENOST HELIKOPTERA*

Vojni helikopteri su, prema zapadnim analitičarima, sve ugroženiji zbog sve savršenije raketne tehnologije i sistema za upravljanje vatrom. Tome je

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, februar, 1999.

doprinela i sve veća proliferacija radarske tehnologije milimetarskog talasnog opsega i sistema za vođenje.

Opasnost od radara u milimetarskom talasnom opsegu je realna. Dosadašnji prijemnici, koji upozoravaju na opasnost, ne mogu detektovati signale radara u milimetarskom talasnom opsegu, a prva indikacija pilotu helikoptera da ga detektuje radarski upravljivo oružje dolazi kasno – kada je već pogoden PA artiljerijom ili raketom. Osim toga, radari u milimetarskom talasnom opsegu mogu detektovati potencijalne niskeletoće vazduhoplove. Opasnost od detekcije ovim radarima jedna je od mnoštva opasnosti koje danas postoje kao što su: prenosni PVO sistemi MANPADS (manportable airdefence systems), hibridni sistemi, sistemi vazduh-vazduh, nekonvencionalna oružja, kao što su mine, laseri i oružja direktne energije.

Prema američkim zvaničnicima, sistemi MANPADS nalaze se u naoružanju 115 armija sveta, kao i u rukama terorista i narko-dilera, a cena je vrlo pristupačna na međunarodnom tržištu naoružanja i vojne opreme. Sistemi MANPADS, kao što su ruska IGLA (SA-18) ili francuski MISTRAL, imaju povećani domet i usavršene sposobnosti dejstva noću.

Hibridni sistemi, poput kombinacije topova i raketnih sistema, postaju sve jednostavniji i ubojitiji. Najpoznatiji i najubojitiji primeri su ruski PVO sistem TUNGUSKA-M (SA-19) i samohodni PVO sistem PANZIR-S1.

Opasnosti od naoružanja tipa vazduh-vazduh takođe se povećavaju. Mnoge zemlje ugradile su sisteme MANPADS kao što su IGLA, MISTRAL ili STINGER rakete, na svoje helikopterske platforme. Evidentna je i adaptacija raketa vazduh-vazduh velikog dometa, kao

što su ruska R-73 (AA-11, ARCHER) ili kineska TY90.

Međutim, opasnosti od sistema velikog dometa razmatraju se i sa aspekta manje konvencionalnih oružja, kao što su pasivna i aktivna laserska sredstva i oružja direktne energije.

V. R.



RADARSKI SISTEM HARD*

Švedska kompanija „Ericsson Microwave Systems“ sklopila je ugovor vredan više miliona dolara za proizvodnju 10 poboljšanih radara za detekciju helikoptera i aviona HARD (Helicopter and Aircraft Radar Detection), koji su deo zahteva armije Nemačke za modernizaciju.

Predviđa se ugradnja radara na gusenično oklopno izviđačko vozilo Mak Wiesel-2, uz isporuku radara 3D za akviziciju koje će nemačka firma „STN ATLAS Elektronik“ ugrađivati u periodu između 2000. i 2003. godine.

Prodaja, sa ugovorenom cenom od 30,6 miliona dolara, predstavlja prvi veliki izvozni uspeh za kompaniju „Ericsson“, čije su osnovne verzije radara već inkorporirane u raketnim baterijama zemlja-vazduh RBS 90 švedske armije.

U poboljšanoj konfiguraciji radarski sistem HARD može detektovati avione na daljinama do 20 km, a helikoptere na 12 km. Sistem može simultano da prati više od 20 ciljeva. Takođe, kompanija je, u kooperaciji razvijala protivvazdušni sistem kratkog dometa ATLAS, zasnovan na raketama RBS 70 – ASRAD-R (ATLAS Short-Range Air Defence Sy-

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, januar, 1999.

stem), koji uključuje i poboljšane sisteme HARD.

Prototip ASRAD-R je za potrebe ispitivanja ugrađen na oklopni transporter M113, mada može da se ugradi i na vrlo širok dijapazon ostalih šasija – guseničnih ili točkaških.

V. R.



MODERNIZACIJA TENKOVA I BORBENIH VOZILA PEŠADIJE*

U sklopu ukupne modernizacije sredstava naoružanja sprovodi se i modernizacija oklopnih sredstava na osnovu zahteva za povećanje nivoa automatizacije u radnim i borbenim procesima. To se postiže porastom broja i kvaliteta sistema automatike i elektronike.

Usavršavanje sistema naoružanja i vojne opreme, povećanje njihovih taktičkih mogućnosti, tehnički parametri i operativne performanse (specifični i težinsko-zapreminski pokazatelji, efektivnost i pouzdanost, pokretljivost, izdržljivost i ekonomičnost) direktno zavise od razvoja novih generacija sistema pogona i njegovih komponentata. Danas se na elektroenergetske i pogonske sisteme naoružanja i vojne opreme odnosi preko 40% ukupne mase, preko 90% elektro-gubitaka i preko 50% svih smetnji i neispravnosti. To ukazuje na značaj elektroopreme i pokazuje da je njeno usavršavanje korektan put u ukupnoj modernizaciji oklopnih sredstava.

Ogroman broj zastarelih borbenih tenkova (T-54, T-55, T-62, T-72 i dr.) još uvek je u upotrebi u mnogim armijama.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart-april 1999.

Modernizacija tih sredstava, putem ugradnje usavršene elektroopreme, stvara viši borbeni kvalitet. Na primer, zamenom zastarele protivpožarne opreme novim uređajem ZET-13 postiže se efikasnije gašenje i sprečava pojava detonacije, jer je za više od 10 puta smanjeno vreme potrebno za otkrivanje i gašenje požara.

U modernizaciji tenkova moguće je njihovo opremanje sledećim dodatnim sistemima:

- sistemom za stvaranje dimne zavese, radi suprotstavljanja laserski vođenom oružju;
- sistemom za stabilizaciju i upravljanje PA mitraljezom;
- sistemom za upravljanje automatskim punjačem municije;
- drugim sistemima i komponentama elektroopreme.

Borbena vozila pešadije BMP-1 i BMP-2 takođe mogu da se modernizuju, radi dostizanja višeg kvaliteta, na sličan način, ugradnjom:

- protivpožarne opreme tipa ZET-15, koja obezbeđuje gašenje požara i sprečava moguće detonacije u motornom i borbenom prostoru;
- sistema za automatsko punjenje municije;
- sistema za automatsko stvaranje dimne zavese i dr.

M. K.

<<<◇>>>

MODERNIZACIJA TENKOVA T-72*

Ukrajina je u poziciji da ponudi paket za modernizaciju ruskih tenkova T-72 i poveća im vek upotrebe u sledećem veku.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, januar, 1999.

Da bi modernizovala tenk T-72 koji je prvobitno projektovan u Rusiji, Ukrajina je primenila iskustva iz razvoja i proizvodnje tenka T-80UD (320 primeraka isporučeno je Pakistanu), kao i tenka T-84. U ponudi su tri nivoa modernizacije tenka T-72, zavisno od operativnih zahteva korisnika i mogućnosti finansiranja. Detalji dve poslednje modernizacije realizovani su u projektima T-72 AG i T-72 MP.

Osnovna poboljšanja odnose se na tri ključne oblasti konstrukcije tenka: oklopnu zaštitu, pokretljivost i vatrenu moć. To se odnosi na top 125 mm sa glatkom cevi, kao i na top kalibra 120 mm, koji je prema balističkim karakteristikama identičan njegovim zapadnim kopijama.

Tenk T-72 AG projektovan je u projektantskom birou Morozov iz Harkova, a realizovan u poznatoj fabrici Mališev. Tenk T-72 MP je zajednički posao biroa Morozov i fabrike Mališev sa češkom firmom PSP koja je prvi ugovarač. Francuske kompanije SAGEM i SFIM su snabdevači nišanskih sprava i sistema za upravljanje vatrom za T-72 AG.

U planovima modernizacije posebno su bili interesantni Češka Republika, Mađarska i Poljska. Te zemlje, posebno Češka i Poljska, već su planirale da modernizuju svoje tenkove T-72. Češka kompanija VOP.025 modernizovala je dva primerka tenka T-72 M1 u verziji T-72 CZ M3 i T-72 CZ M4, ali su se u toku njihove modernizacije pojavili problemi sa sistemom za upravljanje vatrom. Mada češko Ministarstvo za odbranu finansira ustanovu VOP.025, kako bi izvršila modernizaciju prototipova, mnogi češki i strani podgovarači obezbedili su znatna sredstva za finansiranje. Na primer, kompletan pogonski agregat biće

razvijen i firmi NIMDA iz Izraela uz pomoć kompanija Allison Transmission (SAD) i Perkins Engine (Velika Britanija).

V. R.



PROTIVMINSKA ZAŠTITA GUSENIČNIH VOZILA*

Nemačka kompanija IBD Deisenroth nudi razvoj efikasnih sredstava za zaštitu guseničnih borbenih vozila pešadije, tenkova i drugih oklopnih vozila sa niskim klirensom, od efekata kinetičke energije i kumulativnog dejstva pri eksploziji mina.

Firma Deisenroth je predstavila svoj pristup u projektu „upravljanje energijom“ („energy management“) koji objedinjuje celokupnu protivminsku zaštitu, nasuprot shvatanju koje su do tada prihvatili gotovo svi stručnjaci za razvoj tenkova. Naime, dugo se smatralo da samo masivne čelične ploče, kojima se ojačava dno tenka, čuvaju od udarnog dejstva pri eksploziji mine ispod vozila. Posade često prežive, ali su posledice teške traume od udarnog efekta ili lomovi nogu. Koristeći projekat „upravljanje energijom“ moguće je desetostruko smanjenje udarnog dejstva unutar vozila.

Zaštita poda sadrži apsorpcionu ploču (materijal IBD 1010) i spoljašnju oklopnu čeličnu ploču, postojeće torzione pregrade, ojačane plastične obloge, što u odeljku za ljudstvo daje ukupnu debljinu oko 70 mm. Ovakva zaštita podne ploče povećava ukupnu masu vozila za 1 t, dok bi masa čeličnog oklopa, koji obezbeđuje istu zaštitu, iznosila dvaput više. Rezul-

tati ispitivanja još se analiziraju i trebalo bi da budu poznati uskoro. Pored tri vozila opremljena ovom zaštitom, testovi su izvođeni i sa alternativnom čeličnom zaštitom koju isporučuje firma IABG.

Potpuna modifikacija sadrži ojačanje gornje ploče, ploče sa strane, obruba, tunela torzionih pregrada, uklanjanje svih otvora na podnim pločama, pokrivanje podne ploče elementima zaštite, stvaranje zaštite od sekundarnih fragmenata, kao i razne modifikacije na vozilu, uključujući sistem kočenja, menjač brzina, sistem za hlađenje, izmeštanje prstena turbine, izradu guseničnih članaka od homogenih čelika.

Takođe razvijena je ekvivalentna zaštita za oklopna vozila točkaše. Ispitivanja su već sprovedena na englesko-nemačkom oklopnom vozilu MRAV/GTK 8 × 8. Sledeće vozilo na kojem se ugrađuje IBD protivminska zaštita je TEXTRON ASV150, oklopno vozilo za policijske potrebe, mase 12,5 t, 4 × 4, armije SAD.

M. K.



MODERNIZACIJA OKLOPNIH SREDSTAVA BRITANSKE ARMIJE*

Modernizovani tenkovi ČELIN-DŽER 2 Britanske armije, koji su prezentovani juna meseca 1999. biće spremni za operativnu upotrebu u oktobru.

Očekuju se poboljšanja kao što su:

- digitizacija i novo mesto komandira;
- mogućnost borbene identifikacije;

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 4/1999.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 4/1999.

– poboljšanje sistema za upravljanje vatrom (uključujući drugu generaciju termovizijskih uređaja i mogućnosti otkrivanja, kao i široke zone osmatranja);

– novi računar za upravljanje vatrom i autotragač;

– poboljšano naoružanje topa 120 mm (novo pancirno zrno, vođeni projektil lansiran iz topa i pomoćna municija);

– povećan odnos snaga/masa;

– veća izdržljivost (jači oklop, pra-teća odbrambena sredstva, zaštita u napadu).

Pojedini tehnološki programi uvodili bi se do 2001. godine, a kompletna poboljšanja do 2003. godine. Od ostalih programa modernizacije oklopnih sredstava smatra se da potencijal borbenog vozila pešadije WARRIOR treba ograničeno da raste, što se posebno odnosi na kupolu. Ova vozila trebalo bi da se postepeno zamenjuju novim budućim borbenim vozilima pešadije FIFV (Future Infantry Fighting Vehicle), koja bi se uvela u upotrebu 2012. god.

Borbena vozila pešadije WARRIOR takode će imati seriju internih poboljšanja. Predviđa se ugradnja digitalne elektronike, kao i termovizijske opreme i novog kompleta za oklopnu zaštitu. Očekuje se da vozila FIFV imaju automatske sisteme, kao i projektovana borbeno oklopna vozila. Obe grupe imale bi BVP slične gusenične pogone, ali konačna odluka će se doneti posle višestrukih terenskih ispitivanja, uključujući teške zemljišne uslove, prolaze kroz minska polja i dr.

U fazi ispitivanja su i vozila točkaši za potrebe oklopnih jedinica. Deimler-Krajslerov teški kamion 8 × 8 EXF, sa oko 30 t bruto mase, nije mogao efikasno da prati tenkove ČELINDŽER i transporter WARRIOR. Radi toga razmatra se upotreba američke verzije referen-

tnog modela NATO za pokretljivost, koji je promovisan kao novi standard za vozila točkaše i pokretljivost na mekom zemljištu.

Englesko-nemački oklopni transporter GJK/MRAV, 8 × 8, od 32 t predviđen je za popunjavanje mehanizovanih bataljona. Oko 48% ovih vozila treba da budu komandna i vozila za vezu.

Naredni novi program za oklopna vozila britanske armije je buduće komandno vozilo i vozilo za vezu FCLV (Future Command and Liaison Vehicle). U razmatranju su vozila ALVIS SCARAB, MOWAG EAGLE, AM GENERAL M1114HMMWV i PANHARD VBL.

Po ustaljenom načinu nabavke vozila FCLV se ne bi mogla uvesti u upotrebu pre 2010. godine, ali pod povoljnim uslovima finansiranja moglo bi se očekivati uvođenje i do 2004. godine.

M. K.

<<<◇>>>

ISPITIVANJA NEMAČKOG BORBENOG OKLOPNOG VOZILA*

U Nemačkoj su počela ispitivanja prototipa borbenog oklopnog vozila 6 × 6, koji su razvile kompanije Krauss-Maffei Wegmann i Rheinmetall/MaK. Kompanije su odlučile da razviju ovo vozilo pre selekcije francusko-nemačko-engleskog konzorcijuma za program razvoja borbenog oklopnog vozila točkaša.

Projekat uvažava postavljene zahteve ove tri države za razvoj oklopnih transportnih i višenamenskih vozila. Ovom projektu bi se mogla pridružiti i Holandija.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, februar, 1999.

Smatra se da vozilo predstavlja izbalansirani koncept oblikovane modularne konstrukcije, koji svojim mogućnostima i ekonomičnošću spada u familiju budućih varijanti nacionalnih vozila. Kao i planirana vozila 8×8 i 6×6 , i ovaj prototip se sastoji od voznog modula izrađenog u Nemačkoj i namenskog modula proizvedenog u Engleskoj, a doradenog u Nemačkoj.



Borbena oklopno vozilo 6×6 kompanije Krauss-Maffei Wegmann i Rheinmetall/MAK

Vozni modul objedinjava sve ostale komponente, uključujući: pogonski sklop (dizel motor i automatsku transmisiju), mesto vozača, ključne sisteme kao što su NHBO zaštita i sistem za kondicioniranje vazduha, i sve potrebne spojeve sa namenskim modulom.

Namenski moduli, u raznim konstrukcijama i karakteristikama, mogu se kombinovati sa standardnim voznim modulima vozila 8×8 i 6×6 , a sadrže komplet namenske opreme vozila, uključujući i naoružanje, a svaki ima sopstvenu specifičnu strukturu. Očekuje se da će proizvodna verzija varijante 6×6 imati maksimalnu borbenu masu 26,5 t, računajući i korisni teret od 4,5 t. Pokretao bi ga dizel motor snage 400 kW, a maksimalna brzina bi trebalo da bude 104 km/h.

Model 8×8 bi trebalo da ima maksimalnu borbenu masu 33 t sa 8 t korisnog

tereta. Pogonio bi ga dizel motor snage 530 kW, a maksimalna brzina bi iznosila 103 km/h. Obe verzije imaće akcioni radijus 1100 km.

M. K.



ZAVRŠNA ISPITIVANJA RUMUNSKO-TURSKOG OKLOPNOG TRANSPORTERA*

Oklopni transporter RN-94, 6×6 , koji je razvijen prema zahtevima turskih kopnenih snaga, kompletirao je svoja probna ispitivanja. U razvoju transportera učestvovala su kompanija Nural Machinery and Industry iz Ankare i Filijala Romarm SC Moreni iz Bukurešta. Turske kopnene snage nabavile su 5 oklopnih transportera RN-94, 6×6 , koji su kompletirani u Turskoj. Vozila su prošla široku seriju ispitivanja prošle godine, pri čemu je svako prešlo prosečno oko 18 000 km po putevima i ispresecanom zemljištu.

Na transportere su ugrađeni različiti sistemi naoružanja. Jedan je naoružan američkim lakim protivoklopnim sistemom s bacačem granata 40 mm Mk19. Dva su kompletirana domaćom kupolom



Oklopni transporter RN-94

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, mart, 1999.

i teškim mitraljezom 12,7 mm M2, a preostala dva opremljena su kupolom General Dynamics Dragon sa, takođe, mitraljezom 12,7 mm M2.

Za potrebe ispitivanja vozila RN-94 bila su opremljena i kupolom za top 25 mm M811 i spregnuti mitraljez 7,62 mm. Kupola se izrađuje po licenci turske firme Nural, a namenjena je za ugradnju u jedno od domaćih oklopnih vozila pešadije. Top M811 proizvodi se u Turskoj po licenci MKEK.

Borbena masa oklopnog transportera RN-94 iznosi 13 t, a može da prevozi 11 vojnika, vozača i nišandžiju. Pokreće ga dizel motor od 240 ili 260 KS i automatska transmisija Allison. Vareni čelični oklopi obezbeđuju zaštitu od pancirne municije 7,62 mm.

Standardna oprema predviđa olakšano upravljanje, sistem za centralnu regulaciju pritiska u pneumaticima i dve mlaznice koje omogućavaju kretanje na vodi brzinom od 8 km/h. Optimalna oprema za RN-94 predviđa i sisteme za protivnuklearnu, hemijsku i biološku zaštitu i sistem za kondicioniranje vazduha.

M. K.



NISKOPROFILNA KUPOLA 105 mm*

Prvi testovi gađanja sa niskoprofilnom kupolom 105 mm, instaliranom na šasiji borbenog vozila pešadije ASCOD, izvršeni su krajem 1998. godine u vazduhoplovnoj bazi Eglin na Floridi.

Očekivalo se da će završetak razvoja nove kupole biti u sklopu sa kanadskim vozilom LAV. Međutim, to u nekim segmentima nije zadovoljilo proizvođača kupolnog sistema, firmu „General Dyna-

mics Land Systems“, pa je odlučeno da se kupola ugradi na vozilo ASCOD, koje u kooperaciji proizvode austrijska firma Steyr-Daimler Puch i španska firma SBB Blindados SA.

Trebalo je da testovi potvrde poboljšanja koja su učinjena u poslednjoj generaciji niskoprofilnih kupolnih sistema. Tom prilikom ispaljeno je više od 70 projektila, a gađani su pokretni ciljevi, iz mesta ili pokreta. Očekuje se da će testovi sa novom kupolom ugrađenom na III generaciju vozila LAV biti izvedeni 2000. godine.

Niskoprofilne kupole počele su da se razvijaju početkom osamdesetih godina, a najnovije niskoprofilne kupole imaju brojna značajna poboljšanja i karakterišu se manjom masom i povećanom čvrstoćom strukture.

Spoljašnja ugradnja topa ne dovodi samo do smanjenja mase kupole u odnosu na konvencionalne, nego i do mogućnosti da se ona ugradi na lakša oklopna vozila točkaša ili guseničare. Top kalibra 105 mm M68A1 ima ožlebljenu cev, a opremljen je automatskim punjačem municije ugrađenim ispod prstena kupole između nišandžije i komandira. Relativno malo trzanje ostvareno je ugradnjom četiri protivtrzajuća cilindra.

Komandir i nišandžija imaju periskope za osmatranje. Kao osnovni nišan nišandžija ima dvoosno stabilisano ogleдалo, dok komandir ima panoramski nišan. Takođe ugrađena je i druga generacija FLIR uređaja i laserski daljinomer. Kontrola kretanja traverze kupole i oruđa, stabilizacija oruđa, kao i nišanje i gađanje, koje mogu da izvode nišandžija i komandir, ostvaruju se električnim putem.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, januar, 1999.



LAKO OKLOPNO VOZILO ASLAV*

Ministarstvo odbrane Novog Zelanda potvrdilo je da je njihova armija veoma zainteresovana za australijsko lako oklopno vozilo ASLAV (Australian Light Armoured Vehicle), koje bi ispunilo zahteve koji su postavljeni pri planiranju zamene oklopnih transportera M113 A1 kojima trenutno raspolažu.

Verovatno je da će vozilo-točkaš biti pogodnije za upotrebu u odnosu na gusenično. To se reflektuje na odluku o lakom, mobilnijem i bržem razvijanju kopnenih snaga.

Sa povlačenjem iz upotrebe vozila Alvis SCORPION naoružanog topom 76 mm, armija Novog Zelanda, takođe, ima potrebu za vozilom za vatrenu podršku, kao komplementa novoj „floti“ oklopnih transportera. Vozilo ASLAV-25 bi trebalo da bude opremljeno dvočlanom kupolom DELCO sa automatskim topom kalibra 25 mm M242 Bushmaster. Verzija vozila ASLAV-PC biće ponudena radi ispunjenja zahteva armije Novog Zelanda za vozilima za podršku i oklopnim transporterima.



Lako oklopno vozilo ASLAV-25

Lako oklopno vozilo ASLAV predstavlja modifikaciju poznatog vozila LAV (Light Armoured Vehicle) 8 × 8 firme Diesel Division General Motors iz Kanade, a modifikaciju je izvršila firma Tenix Defence Systems.

V. R.

<<<◇>>>

ŠVEDSKI PLANOVI ZA NOVA OKLOPNA VOZILA*

Švedska uprava za materijalno obezbeđenje odbrane (FMV) revidirala je svoje planove za novu generaciju oklopnih transportera, koji su prethodno bili ustanovljeni kao projekat ALCES (Adaptable Light Chassis for Eurolling System).

Poput ranijeg koncepta, koji su predlagali Hägglund i Volvo, danas je tendencija u razvoju osnovnog modula koji bi bio prilagođen za nadgradnju više od 25 vrsta borbenih vozila ili vozila za podršku. Predviđa se da u konačnoj verziji to mogu da budu vozila guseničari, kao i točkaši.

Glavni izvođač treba da bude firma Hägglund u kooperaciji sa finskom firmom Patria. Švedska armija je već ispostavila svoje zahteve do 2010. godine. Razvojna faza planira se između 2003. i 2008. godine. Osnovni moduli trebalo bi da imaju ukupnu masu oko 15 t sa 6 do 8 t korisnog kapaciteta, i unutrašnju zapreminu 10 do 13 m³. Naoružanje bi trebalo da bude daljinski upravljivo, stabilizovano, „stealth“ tehnologije, uključujući i mitraljez 12,7 mm i bacač granata 40 mm.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, januar, 1999.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 4/1999.

M2QCB na obrtnom postolju. Na bočnim stranama postolja mitraljeza smešteno je 400 metaka 12,7 mm spremnih za upotrebu. Ostale modifikacije uključuju rekonstrukciju prvobitnog cargo-prostora, novo zadnje sedišta koje se lako prilagođava u spremnik municije, dva kanistera za gorivo smeštena ispod vozačevog mesta i prednjih sedišta.

Armija Novog Zelanda pokazala je interesovanje za nabavku postolja mitraljeza 12,7 mm za svoja brojna patrolna vozila LAND ROVER 4 x 4, oznake 110, za koja se pretpostavlja da bi se mogla koristiti u specijalnim vazduhoplovnim službama.

V. R.



BOJNE GLAVE PROTIV HEMIJSKOG I BIOLOŠKOG ORUŽJA*

Laboratorije za municiju vazduhoplovnih snaga SAD planiraju razvoj i demonstraciju bojnih glava koje bi se koristile protiv hemijskog i biološkog oružja. Prva faza projekta (razvojni koncept i procena), koja će trajati 18 meseci, nastavlja se drugom fazom u trajanju od dve godine, a obuhvatiće izradu bojne glave i testiranje.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENCE REVIEW, 4/1999.

Cilj programa je demonstracija bojnih glava koje bi bile efikasne protiv hemijskih i bioloških ciljeva, razmeštenih u lakim objektima nad zemljom i utvrđenim objektima pod zemljom.

Pri demonstraciji koristiće se bojne glave koje imaju isti spoljašnji oblik i masu kao bojne glave BLU-109 od 900 kg. To će omogućiti da postojeće naoružanje, kao što su laserski vođene bombe GBU-24 i GBU-27, rakete vazduh-zemlja AGM-130 i municija za direktni napad budu punjeni novim punjenjem (korisnim teretom).

Bojna glava mora da bude sposobna da razbije funkcionisanje fiksnih zemaljskih ciljeva koji su povezani sa razvojem, proizvodnjom i skladištenjem hemijskih i (ili) bioloških oružja; neutralisanje maksimalno mogućih količina hemijskih i bioloških agensa na cilju; i ograniči nivo kolateralnih šteta minimiziranjem količine agensa koji nehotice budu izbačeni iz cilja.

Mehanizme za uništenje treba da čine toplotni efekti stvoreni od visokih temperatura zapaljivih materija, niskoudarnim rasprskavajućim bojnim glavama ili njihovim delovima, neutrališućim hemikalijama, i drugim mehanizmima koji će da se identifikuju u toku realizacije programa. Moguća su i hibridna punjenja koja bi koristila kombinaciju uništavajućih mehanizama.

M. K.



Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne radove i stručne radove.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem integralnog tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, tehnologiju, proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, kao i teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozi originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), i ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu mernih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Ne treba ih lepiti, već samo naznačiti njihovo mesto u tekstu. Crteže treba raditi tušem na paus-papiru, ili 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, Birčaninova 5, VE-1.

REDAKCIJA

