

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Direktor

Pukovnik
SLAVKO BRSTINA

UREĐIVAČKI ODBOR

General-major
dr JUGOSLAV KODŽOPELJIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)General-major
dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika)General-major
dr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.General-major
MILOSAV BRKIĆ, dipl. inž.General-major
dr SLOBODAN BURSAC, dipl. inž.General-major
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.General-major
MILAN UZELAC, dipl. inž.Profesor
dr JOVAN 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 Jošićević, 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.
Pretpлата: 645-020 i 23-124, žiro-račun: 40818-
637-9-6319 za VIZ/VTG, poziv na broj 963/054.
Godišnja pretpлата 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

2

GODINA XLVII • MART-APRIL 1999.

S A D R Ź A J

Dr Svetomir Minić, pukovnik, dipl. inž.	MATEMATIČKI PRILAZ UPRAVLJANJU ODRŽAVANJEM TEHNIČKIH SISTEMA	7
Mr Dušan Korolija, potpukovnik, dipl. inž.	ODREĐIVANJE OPTIMALNE POUZDANOSTI ELEKTRONSKOG UREĐAJA SA STANOVIŠTA KOREKTIVNOG ODRŽAVANJA	18
Dr Rade Stanković, potpukovnik, dipl. inž.	STANDARDI KVALITETA I ODRŽAVANJE MOTORNIH VOZILA U PROCESU EKSPLOATACIJE	32
Mr Milan Radulović, potpukovnik, dipl. inž.	RHB ZAŠTITA REMONTOVANIH BORBENIH I NEBORBENIH VOZILA	40
Ljubiša Brkić, potpukovnik, dipl. inž. Docent dr Božidar V. Krstić, dipl. inž.	PARAMETRI POUZDANOSTI PUMPE VISOKOG PRITISKA VOZILA SPECIJALNE NAMENE KAO OSNOVA PRI PLANIRANJU ODRŽAVANJA	45
Mr Nenad Dodić, dipl. inž.	SAVREMENI PRISTUP RAČUNARSKI PODRŽANOJ SIMULACIJI SERVOSISTEMA	52
Mr Zdravko Radišić, potpukovnik, dipl. inž. Mr Gordana Radivojević, dipl. inž.	PROJEKTOVANJE RUTA VOZILA ZA REALIZACIJU SLUŽBENIH PREVOŽENJA („Dial-a-Ride System“) ...	61
Dr Branislav Perme, pukovnik, dipl. inž.	DINAMIČKA ANALIZA RADA REGULATORA BUASSA-SARDA	69
Zoran Hrnjez, major, dipl. inž.	SAVREMENI PROTIVMINSKI BRODOVI	77

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

Perspektive razvoja raketa vazduh-vazduh – S.P.	88
Protivraketni sistem THAAD – S.P.	92
Koncepcija treće generacije protivtenkovskih vođenih raketnih sistema – M.K.	96
SABRA – modul za nadogradnju tenka M60 – V.R.	101
U novi vek sa novim tenkom – M.K.	103
MiG-21 sa novim radarom – S.P.	106
Ruski borbeni helikopteri za 21. vek – M.K.	109
Savremena inicijalna sredstva – M.K.	111

TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

Perspektive raketnog sistema PVO BUK-M1-2 – M.K. . . .	114
Nove rakete za sistem PVO S-300 – V.R.	115
Nove rakete za sistem PVO SOSNA – V.R.	116
Kineski raketni sistem zemlja-vazduh – V.R.	117
Samohodno protivtenkovsko oruđe 2S25 – M.K.	117
Oružje CTA 40 mm – V.R. .	118
Ruske rakete vazduh-vazduh na inostranim lovcima – M.K. . .	119
Borbeno vozilo pešadije BWP 2000 – V.R.	120
Savremeni ukrajinski tenkovski dizel motori – M.K.	122
Švedski radar ŽIRAFA – V.R.	123
Hibridno višenamensko vozilo – V.R.	124

Sednica Uređivačkog odbora

Sednica Uređivačkog odbora časopisa VOJNOTEHNIČKI GLASNIK održana je 11. februara 1999. godine sa sledećim dnevnim redom:

- 1. Analiza rada Redakcije i Uređivačkog odbora u 1998. godini i zadaci u narednom periodu.*
- 2. Proglašenje najuspešnijeg autora časopisa u 1998. godini.*
- 3. Razno.*

Radom sednice rukovodio je predsednik Uređivačkog odbora general-major prof. dr Jugoslav Kodžopeljić, a izveštaj o radu Redakcije u 1998. godini podneo je glavni i odgovorni urednik pukovnik Miroslav Čojbašić.

Izveštajem su obuhvaćeni podaci o organizacijskim promenama u vojnoj izdavačkoj delatnosti, sa posebnim osvrtom na mesto i ulogu VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA. Prezentirani su i podaci o tiražu, obimu, pretplati, troškovima produkcije časopisa, vrsti i broju objavljenih radova, institucijama i sredinama iz kojih su autori kao i oblastima iz kojih su objavljivani radovi.

U toku sednice diskutovalo se o:

- konstituisanju Vojnoizdavačkog zavoda u okviru Sektora za ŠONID,*
- praćenju tehničkih novosti i zanimljivosti iz oblasti vojne industrije na INTERNETU,*
- primenljivosti objavljivanih članaka u praksi,*
- razmeni iskustava iz jedinica,*
- objavljivanju pojedinih sadržaja iz nastavnog procesa radi prezentacije stručnih problema i njihovih rešenja u praksi,*
- dostavljanju povratnih informacija autorima o rangiranju članaka,*
- vidovima saradnje članova Uređivačkog odbora i Redakcije,*
- distribuciji tiraža i dostavljanju časopisa dekanima tehničkih fakulteta,*
- prezentaciji časopisa široj čitalačkoj publici i potencijalnim autorima.*

U okviru druge tačke dnevnog reda, za najuspešnijeg i najangažovanijeg autora VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA u 1998. godini proglašen je potpukovnik dr Vlado Radić iz Vojnotehničkog instituta VJ.

Potpukovnik Radić je objavio dva stručna autorska članka u kojima je obradio tematiku zavarivanja materijala eksplozijom, (njegovo specijalističko područje interesovanja), kao i dva rada iz oblasti protivoklopnih sredstava,

oklopne zaštite i oklopnih izviđačkih vozila. Takođe, istakao se i u prevođenju materijala iz inostranih časopisa o sredstvima naoružanja i vojne opreme. Vredno je istaći da njegova saradnja sa časopisom permanentno traje od 1980. godine, i da pripada krugu saradnika sa najdužim stažom saradnje.

Priznanje najuspešnijem autoru i čestitke uručili su predsednik Uređivačkog odbora i glavni i odgovorni urednik.

Iz diskusija i predloga zaključeno je da će u toku 1999. godine aktuelni zadaci biti:

- održavanje programske koncepcije časopisa na stručnom i naučnom nivou,*
- redovna produkcija,*
- poboljšanje sadržaja rubrike Tehničke novosti i zanimljivosti,*
- proširivanje kruga autora i saradnika.*

Redakcija

Dr Svetomir Minić,
pukovnik, dipl. inž.
Generalštab VJ, Beograd

MATEMATIČKI PRILAZ UPRAVLJANJU ODRŽAVANJEM TEHNIČKIH SISTEMA

UDC: 62-7.001.573:65.01

Rezime:

U radu je prikazan savremeni matematički prilaz rešavanju problema optimalnog upravljanja procesom preventivnog održavanja složenih tehničkih sistema, koji se koristi u svetu. Prikazani su matematički model pregleda stanja sistema za „iznenadne“ otkaze i model preventivnog održavanja prema stanju za „postepene“ otkaze. Dati su hipotetički primeri primene modela.

Ključne reči: tehnički sistem, upravljanje procesom održavanja, optimalni matematički modeli.

THE MATHEMATICAL APPROACH TO THE TECHNICAL SYSTEMS MAINTENANCE MANAGEMENT

Summary:

In this paper, the up-to-date mathematical approach to the problem of optimal management of complex technical system preventive maintenance process is presented. The hard-time mathematical preventive maintenance model for sudden failures and the on-condition based preventive maintenance model have been shown. The hypothetical examples of models application are given as well.

Key words: technical system, maintenance process management, optimal mathematical models.

Uvod

Velika raznolikost i složenost tehničkih sistema, kao i veliki broj klasa zadataka u kojima se traže najbolja rešenja, čine probleme teorijskog razmatranja određivanja najboljih rešenja izuzetno složenim i raznovrsnim. Osnovni pravci razvoja teorije optimalnog upravljanja stanjem sistema su formalni i matematički. Otuda se često toj teoriji dodaje epitet „matematička“, jer se kod realnih sistema i realnih problema prepliću pojmovi, definicije, teoreme i postupci koji se mogu

opisati matematičkim jezikom, tj. jednačinama, funkcijama, brojevima.

Kod „sistemskog prilaza upravljanju“ svaki složeni sistem se posmatra kao integrisana celina sačinjena od raznovrsnih i specijalizovanih struktura, procesa i funkcija. Elementi sistema su međusobno zavisni, pa se proučavanje složenog sistema može realizovati njegovim „dekomponovanjem“ na sastavne elemente.

Osnovni problem upravljanja jeste naći najbolje – optimalno rešenje. Zadatak optimizacije je da se izvrši izbor najbolje varijante (najboljeg rešenja) iz

niza povoljnih varijanti, u smislu usvojenog kriterijuma. U matematičkom smislu optimizacija se uvek svodi na traženje ekstremuma kriterijumske funkcije, a realizuje se primenom različitih metoda, u zavisnosti od tipa relacija u matematičkom modelu, kriterijumske funkcije i ograničenja [6].

Održavanje tehničkih sistema može se rešavati na različite načine, u više varijanti, prema više koncepcija i modela održavanja koji predstavljaju uprošćene šeme procesa održavanja. Postupak optimalnog upravljanja održavanjem svodi se na optimizaciju definisanog matematičkog modela. Optimizuje se, dakle, model pojednostavljene šeme procesa održavanja, a ne fizička suština sistema održavanja, kao stohastičkog procesa [3].

I pored aproksimativnog karaktera, modeli održavanja počivaju na pokazateljima pouzdanosti i odgovarajućim kriterijumima optimizacije na osnovu kojih se, rešavanjem matematičkog modela, dobija optimalno rešenje za odlučivanje o trenutku kada treba sprovesti postupke preventivnog održavanja kako bi se sprečila ili odložila pojava stanja sistema „u otkazu“.

Za upravljanje održavanjem složenih tehničkih sistema najveći praktični značaj imaju dve koncepcije preventivnog održavanja na kojima se temelje odgovarajući matematički modeli. Prvu koncepciju čini preventivno održavanje po vremenu (Hard Time Limit Maintenance) koje se prvenstveno zasniva na informacijama o pouzdanosti, tj. na empirijski utvrđenim raspodelama verovatnoća vremena do pojave stanja sistema „u otkazu“. U tom slučaju postupci preventivnog održavanja se planiraju tako da se obezbedi zahtevani nivo pouzdanosti posmatranog sistema ili propisivanjem preventivnih zamena posle

određenog perioda rada. Drugu koncepciju čini POPS – preventivno održavanje prema stanju (On-Condition Based Maintenance) – koje se, pored informacija o pouzdanosti, zasniva na stalnom i sistematskom praćenju rada posmatranog tehničkog sistema, odnosno na praćenju i osmatranju izabranih i unapred određenih parametara stanja i pokazatelja koji sa sigurnošću govore o stanju sistema i njegovih elemenata [1].

Procesi diskretne i kontinualne promene parametara stanja u funkciji vremena korišćenja tehničkog sistema, kao posledica različitih uticaja stohastičkog karaktera koji dovode do „iznenadnih“ ili „postepenih“ otkaza, opredeljuju da se optimalno upravljanje održavanjem tehničkih sistema realizuje metodologijom održavanja prema pouzdanosti (OPP), korišćenjem navedenih koncepcija održavanja.

U radu su opisani aktuelni matematički modeli koji interpretiraju optimalni proces održavanja i predstavljaju teorijsku osnovu za njihovu razradu, radi simulacije na elektronskom računaru, odnosno praktične primene na složenim tehničkim sistemima za upravljanje procesom promene stanja sistema i održavanja.

Korišćene oznake [2]:

S – strategija pregleda stanja tehničkog sistema,

S_n – strategija pregleda stanja sa n provera stanja,

σ – skup svih strategija pregleda stanja,

t_k – planirani moment k-tog pregleda stanja,

$R(S, F)$ – srednji troškovi ciklusa, za strategiju S i za raspodelu rada sistema F,

$L(S, F)$ – srednja dužina ciklusa,

$Q(S, F)$ – intenzitet troškova,

PF_2 – gustina raspodele drugog reda,

p – uslovna verovatnoća otkaza sistema između dva pregleda stanja,
 $q = 1 - p$ – koeficijent,
 L – Laplasov transformator.

Upravljanje preventivnim održavanjem tehničkih sistema pri iznenadnim otkazima

HARD TIME model pregleda stanja sistema

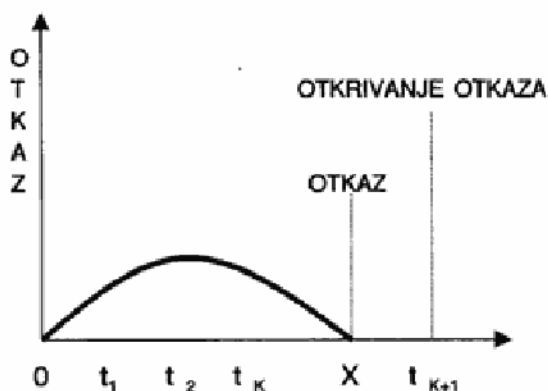
Korišćenje tehničkog sistema započinje u momentu $t = 0$. Posle toga detalji o stanju sistema mogu se saznati samo pomoću kontrole, odnosno pregleda stanja. Svaki pregled stanja zahteva određeno vreme (t) i troškove c_1 , pri čemu je $0 < c_1 < \infty$. Rad sistema je slučajna velična X , a funkcija raspodele $F(t) = P(X \leq t)$. Ako od momenta pojave otkaza sistema do momenta njegovog otkrivanja, pri pregledu stanja, protekne vreme t , tada se troškovi opisuju funkcijom $v(t)$, za koju se pretpostavlja da je neprekidna i strogo monotona za $t > 0$, odnosno za $v(t) = 0, t < 0, \lim_{t \rightarrow \infty} v(t) = \infty$, slika 1 [2].

Postoje dva slučaja pregleda stanja sistema:

- pregled stanja bez sprovođenja postupaka održavanja (obnavljanja);
- pregled stanja sa sprovođenjem postupaka održavanja.

U prvom slučaju pregled stanja se završava otkrivanjem otkaza, a u drugom slučaju sistem se obnavlja, tj. sprovode se postupci održavanja. U drugom slučaju proces pregleda stanja i održavanja traje duže vreme. Za oba slučaja biće razmotrene varijante kada je raspodela vremena rada poznata, delimično poznata i potpuno nepoznata. Zadatak je da se

odredi optimalna strategija pregleda stanja.



Sl. 1 – Grafička interpretacija modela pregleda stanja tehničkog sistema

Pod strategijom pregleda stanja tehničkog sistema podrazumeva se element skupa σ , gde je za $T < \infty$ [2]:

$$\sigma = \{S = \{t_k\}, 0 = t_0 < t_1 < \dots < t_n < t_{n+1} = T, 0 \leq n < \infty\} \quad (1)$$

a za $T = \infty$:

$$\sigma = \{S = \{t_k\}, 0 = t_0 < t_1 < t_k < \dots, \bigcup_{k=0}^{\infty} [t_k, t_{k+1}] = [0, \infty)\} \quad (2)$$

gde je:

t_k – fiksni broj (za zadato $S \in \sigma$), a u momentu t_k izvodi se k -ti pregled stanja.

Za $T < \infty$, kada je broj pregleda stanja n , sa S_n se označi strategija koja podrazumeva n pregleda stanja, a koja se završava u momentu T . Ukoliko se svaka strategija $S = \{t_k\}$ karakteriše zadatim intervalom $\delta_k = t_{k+1} - t_k, k = 0, 1, \dots$, između pregleda stanja, umesto $S = \{t_k\}$ uzima se $S = \{\delta_k\}$. Za praksu preventivnog održavanja tehničkih sistema naročito je interesantna strogo periodična strategija pregleda stanja (Hard Time

Limit Maintenance). Strategija $S = S^{(\delta)}$ naziva se strogo periodičnom strategijom pregleda stanja sa intervalom δ između pregleda stanja, ako je $\delta \in (0, \infty)$, tako da je $\delta_k = \delta$, $k = 0, 1, \dots$.

Pregled stanja bez sprovođenja postupaka održavanja

Ako se usvoji strategija $S_n = \{t_k\}$, za $T < \infty$ i $S = \{t_k\}$, za $T = \infty$, i odredi, pri $0 \leq x \leq y$, funkcija $g_k(x, y) = (k+1)c_1 + v(y - x)$, $k = 0, 1, \dots$, troškovi pregleda stanja, pri uslovu $t_k < X \leq t_{k+1}$, su $g_k(X, t_{k+1})$. Na taj način dobija se matematičko očekivanje svih troškova na intervalu $[0, T]$ u obliku:

$$R(S_n, F) = \sum_{k=0}^n \int_{t_k}^{t_{k+1}} g_k(t_k, t_{k+1}) dF(t) + (n+1)c_1 \bar{F}(T), \quad T < \infty, \quad (3)$$

$$R(S, F) = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{t_k}^{t_{k+1}} g_k(t, t_{k+1}) dF(t), \quad T = \infty. \quad (4)$$

Za $T \leq \infty$

$$R^*(F) = \inf_{s \in \sigma} R(S, F).$$

Strategija $S^* = \{t_k^*\}$, koja zadovoljava uslov $R(S^*, F) = R^*(F)$, naziva se optimalnom strategijom pregleda stanja tehničkog sistema. Za $T < \infty$ može se napisati $S^* = S_{n..}^*$.

Pri zadatoj veličini matematičkog očekivanja $\mu = E(X) < \infty$ i $\delta \in (0, \infty)$ troškovi $R(S^{(\delta)}, F)$ mogu se predstaviti sledećom jednačinom:

$$R(S^{(\delta)}, F) = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{k\delta}^{(k+1)\delta} [(k+1)c_1 +$$

$$+ v((k+1)\delta - t)] dF(t) \leq \leq \sum_{k=0}^{\infty} \int_{k\delta}^{(k+1)\delta} [(k+1)c_1 + v(\delta)] dF(t) \leq \leq \frac{c_1}{\delta} \sum_{k=0}^{\infty} (k\delta) [F((k+1)\delta) - F(k\delta)] + + c_1 + v(\delta) \leq \frac{\mu}{\delta} c_1 + c_1 + v(\delta).$$

Odatle sledi da je:

$$R^*(F) \leq \frac{\mu}{\delta} c_1 + c_1 + v(\delta) \quad (5)$$

Na taj način, za konačno μ , veličina $R^*(F)$ je uvek ograničena.

Sada se može napisati jednakost:

$$R^*(F_x) = \inf_y \left\{ \int_0^y v(y = t) dF_x(t) + + R^*(F_{x+y}) \bar{F}_x(y) + (c_1) \right\}, \quad (6)$$

gde je F_x zadato izrazom:

$$F_t(x) = \frac{\bar{F}(t+x) - F(t)}{\bar{F}(t)}, \quad 0 \leq X < T.$$

Ako je f-ja $F(t)$ neprekidna, za $T = \infty$, i uslov $\mu < \infty$, tada se donja granica u izrazu (6) dostiže pri $y^* = y^*(x)$. U tom slučaju primena izraza (6), počev od $x = 0$, omogućava formiranje optimalne strategije pregleda stanja.

Neka je $S^* = \{t_k^*\}$ (ili $S^* = \{\delta_k^*\}$, $\delta_k^* = t_{k+1}^* - t_k^*$, $k=0, 1, \dots$) – optimalna strategija pregleda stanja tehničkog sistema. Tada je:

δ_k^* – prvi optimalni odgovarajući trošak $R(S, F_{t_k}^*)$ za moment pregleda stanja ($t_k^* < T$).

Međutim, takav koncept dokaza postojanja optimalne strategije pregleda stanja, pri datim pretpostavkama, ne daje istovremeno željeni matematički model njenog određivanja.

Izračunavanje S^* može se realizovati pod pretpostavkom da je funkcija $v(t)$ neprekidno diferencijabilna na intervalu $(0, \infty)$, a gustina raspodele $f(t) = f'(t)$ javlja se sa PF_2 – gustinom (gustina raspodele drugog reda).

Optimalna strategija pregleda stanja udovoljava neophodnim uslovima $\delta R(\{t_k\}, F) / \delta t_k = 0$, koji se, saglasno izrazima (3) i (4), mogu zapisati u ekvivalentnoj formi:

$$v(t_{k+1} - t_k) = \int_0^{t_k - t_{k-1}} \frac{f(t_k - t)}{f(t_k)} dv(t) = c_1, \quad k = 1, 2, \dots; \quad k < \infty \quad (7)$$

Za $v(t) = c_2(t)$, $c > 0$, dobija se:

$$t_{k+1} - t_k = \frac{F(t_k) - F(t_{k-1})}{f(t_k)} - \frac{c_1}{c_2}. \quad (7')$$

Ako je $t_1 > 0$ već izabrano tada se momenti $t_2, t_3, \dots$, određuju jednoznačno pomoću izraza (7). Na taj način zadatak određivanja optimalne strategije pregleda stanja svodi se na pronalaženje optimalnog vremenskog momenta $t_1 = t_1^*$. Rešenje tog zadatka zahteva niz novih definicija.

Neka je $\varphi(t_1) = \{t_k\}$ brojčana vrednost, dobijena iz formule (7) za neko $t_1 > 0$. Pod uslovom da je ona prekidna na intervalu t_n , onda je za $k = n$ desna strana izraza (7) nepotpuna. Neka je, shodno tome, τ_0 – najmanji broj, takav da za proizvoljno $t_1 \geq \tau_0$ vrednost $\varphi(t_1) = \{t_k\}$ zadovoljava uslov $\bigcup_{k=0}^{\infty} [t_k, t_{k+1}) \supseteq [0, T)$.

Veličina τ_0 sledi iz sledećeg tvrđenja: elementi t_k relacije $\varphi(t_1) = \{t_k\}$ su diferencijalne i strogo monotono rastuće funkcije t_1 .

Dokaz sledi iz činjenice da raspodela $F(t)$ pripada klasi PF_2 .

Za svako $t_1 \times \tau_0$, korišćenjem $\varphi(t_1)$, definiše se odgovarajuća strategija $S(t_1) \in \sigma$ sledećim relacijama:

neka je $S(t_1) = \{t_1, t_2, \dots, t_n, T\}$, ako je $T < \infty$, i $t_n < T \leq t_{n+1}$, ili $S(t_1) = \varphi(t_1)$, ako je $T = \infty$.

Strategija $S(t_1)$, koja uzima u obzir $\varphi(t_1) = \{t_k\}$, opravdana je ako za $T = \infty$ ili za $T < \infty$ postoji t_{n+1} , tako da je $t_{n+1} = T$. Saglasno tom opredeljenju, strategija $S(\tau_0)$ je dopuštena, odnosno opravdana.

U slučaju kada je $T < \infty$, usvaja se da je N – najveći prirodni broj n , za koji postoji rešenje (7), $S_n \in \sigma$. Tada, saglasno prethodnoj strategiji koja je opravdana, postoji rešenje (7): S_m , $m < N$.

U opštem slučaju, optimalna strategija pregleda stanja $S_n^* = \{t_k^*\}$ može se dobiti preko vrednosti $R(S_m, F)$, $m = 0, 1, \dots$.

U sledećem tvrđenju govori se o načinu koji je u svakom slučaju racionalan, a u krajnjem slučaju za veliku vrednost N .

Postavlja se teorema da je: $T = \sup\{t : F(t) < 1\}$. Tada je $t_1^* = \tau_0$ i $n^* = N$.

Utvrđene teoreme su ekvivalentne, pa je dovoljno dokazati prvu. Neka je za neko $t_1 \geq \tau_0$ $S(t_1) = \{t_1, t_2, \dots, t_n, T\}$. Tada je:

$$\frac{dR(S(t_1), F)}{dt_1} = \left[\int_0^{t_n - t_{n-1}} f(t_n - t) dv(t) - f(t_n) (v(T - t_n) + c_1) \right] \frac{dt_n}{dt_1} \quad (8)$$

gde je: $dt_n / dt_1 > 0$.

Izraz u uglastim zgradama, u desnom delu izraza (8) jednak je nuli samo ako je strategija $S(t_1)$ dopuštena (opravdana). U suprotnom slučaju ona je uvek pozitivna (potvrđna, opravdana), ako je $t_1 > \tau_0$. Pošto po definiciji τ_0 ne može imati mesto u nejednakosti $t_1^* < \tau_0$, to je postavljena teorema dokazana.

Iz teoreme za $T = \sup \{t : F(t) < 1\}$ dobija se sledeći približni metod za izračunavanje optimalne strategije pregleda stanja tehničkog sistema:

ALGORITAM 1

1. Izabrati $t_1 > 0$ tako male vrednosti da bi izraz $\varphi(t_1) = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ imao svojstvo $t_n < T$.

2. Povećavati t_1 sve dok se ne ispuni jednakost $t_n = T$, odnosno, jednakost $t_1 = t_1^* = \tau_0$.

Na taj način primena algoritma zahteva višekratno izračunavanje elementa $\varphi(t_1)$. Pri tom je potrebno izabrati dužinu koraka za povećanje t_1 , u zavisnosti od konkretnih okolnosti.

Primer

Neka je rad sistema X ravnomerno raspoređen na intervalu $(0, T)$. Za $n \leq n^*$ jednačina (7) ima oblik:

$$v(\delta_k) = v(\delta_{k-1}) - c_1, k = 1, 2, \dots, n, \\ \sum_{k=0}^n \delta_k = T. \quad (9)$$

U slučaju za $T = \infty$, ako se uvede skraćena f-ja raspodele

$$\tilde{F}(t) = \begin{cases} F(t) / F(x), & 0 \leq t \leq x, \\ 1, & x < t, \end{cases} \quad (10)$$

tada se, uzevši dovoljno veliko x , saglasno teoremi $T = \sup \{t : F(t) < 1\}$, može

zadati strategija $\tilde{S}$, da bi se rešila nejednakost $R(\tilde{S}, F) - R^*(F) < \varepsilon$. Propisivanje strategije $\tilde{S}$ na intervalu $[0, x]$ određuje se pomoću algoritma 1, u kojem treba zameniti F sa $\tilde{F}$. Provere na intervalu (x, ∞) mogu se raspodeliti proizvoljno, na primer, preko jednakih intervala vremena.

Neka su $\varphi(t_1) = \{t\}$ ili $\varphi(t_1) = \{\delta_k\}$ - vrednosti koje odgovaraju nekom $t_1 > \tau_0$. Tada uvek postoji $m \geq 0$, tako da vrednost izraza $\{\delta_v, v = m, m+1, \dots\}$ neograničeno monotono raste.

Postavlja se druga teorema: neka je $\mu = E(X) < \infty$. Tada se optimalna strategija pregleda stanja $S^* = \{t_k^*\}$ ($S^* = S(t_1^*)$) karakteriše sledećim svojstvima:

- $t_1^* = \tau_0$.
- izraz $\{\delta_k^*\}$ monotono se smanjuje.

Iz navedenih teorema proizilazi sledeći približni metod izračunavanja optimalne strategije pregleda stanja tehničkih sistema:

ALGORITAM 2

1. Izabrati $t > 0$ i izračunati vrednost $\varphi(t_1) = \{\delta_k\}$.

2. Ako je za neko n ispunjena nejednakost $\delta_n > \delta_{n-1}$, tada smanjiti t_1 i ponoviti korak 1.

3. Ako se vrednost $\{\delta_k\}$ uzima za $k = n$, tada povećati t_1 i ponoviti korak 1.

Pri tome je celishodno izabrati početnu vrednost t_1 , tako da je:

$$c_1 = \int_0^1 v(t_1 - t) dF(t).$$

U [2] je predložen i drugi metod približnog izračunavanja optimalne strategije pregleda stanja:

za zadato $p, 0 < p < 1$, određuje se vrednost vremena pregleda stanja $t_k = t_k(p)$:

$$F_{t_k}(t_{k+1}) = (F(t_{k+1}) - F(t_k)) / (1 - F(t_k)) = p, \quad k = 0, 1, \dots \quad (11)$$

To znači da je jednaka verovatnoća otkaza sistema na svakom intervalu između pregleda stanja, pri uslovu radne sposobnosti sistema, u momentu koji prethodi pregledu stanja.

Rešavanjem jednačine (11) dobija se:

$$t_k(p) = F^{-1}(1 - q^k), \quad k = 1, 2, \dots, \quad (12)$$

gde je: $q = 1 - p$.

Za strategiju $S_p = \{t_k(p)\}$ odgovarajući troškovi su:

$$R(S_p, F) = c_1 / p + c_2 \sum_{k=1}^{\infty} t_k q^{k-1} p - c_2 \mu, \quad (13)$$

gde je: $t_k = t_k(p)$.

Treba odrediti vrednost parametra p , minimizirajući troškove $R(S_p, F)$. Izračunavanje vrednosti $p = p^*$ zahteva izvesne napore. U [2] u proračunu približne vrednosti za S^* preporučuje se strategija $S_{p^*} = \{t_k(p^*)\}$. Gubitke efektivnosti pri korišćenju strategije S_{p^*} , umesto S^* , moguće je oceniti na primeru.

Primer

Neka je rad sistema X raspodeljen normalno s matematičkim očekivanjem μ i standardnim odstupanjem σ ($3\sigma < \mu$) i neka je $v(t) = c_2 t$. Neka je data zavisnost odnosa $c_1/c_2\sigma$, i veličina p^* , $R(S_{p^*}, F)/(c_2\sigma)$, $R(S^*, F)/(c_2\sigma)$, i pokazatelja efektivnosti:

$$\Delta R = \frac{R(S_{p^*}, F) - R(S^*, F)}{R(S_{p^*}, F)} \cdot 100\%.$$

Za postavke $t_k = \sigma Z_k + \mu$ u izrazu (4) i (12) jasno je da troškovi $R(S^*, F)$ i $R(S_{p^*}, F)$ ne zavise od μ . Pokazuje se da za $c_1 / (c_2\sigma) \geq 0,5$ gubitak efektivnosti nije veći od 1%.

Analogna brojna ispitivanja sprovedena su u [2] za rad sa Vejbul-Guedenkovom i gama-raspodelom.

Upravljanje preventivnim održavanjem tehničkih sistema pri postepenim otkazima

Model POPS – preventivnog održavanja prema stanju

Kod preventivnog održavanja prema stanju, po određenoj dinamici prati se odgovarajući parametar koji reprezentuje stanje sistema. Ako parametri stanja karakterišu gotovost sistema tada je neophodno planiranje pregleda stanja, odnosno diskretno ili kontinualno praćenje promena vrednosti parametara stanja.

Sušтина POPS sastoji se u tome da se prati odstupanje parametra od početne (nominalne) vrednosti W_0 , koju parametar ima u početku rada sistema, kada je $t = 0$. Cilj POPS jeste da se pri zadatoj dopuštenoj oblasti L , $W_0 \in L$, s velikom verovatnoćom odstrani „postepeni“ otkaz, koji nastaje kao posledica postepene (kontinualne) promene parametra stanja tehničkog sistema.

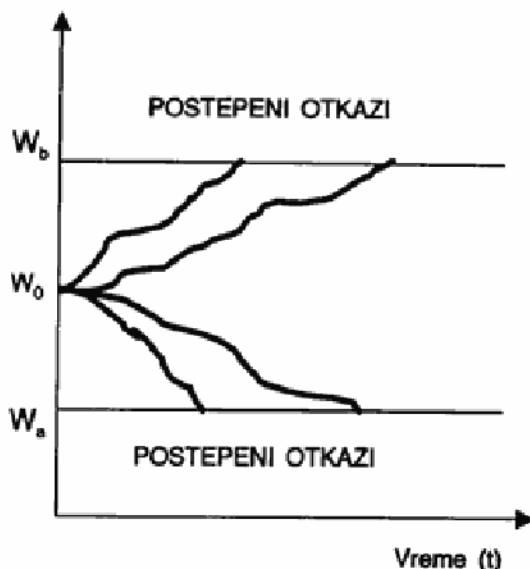
Za kvalitativnu ocenu stanja sistema neophodno je matematičko modeliranje dinamike provere (pregleda) parametra stanja. Sa W_t označi se vrednost parametra u momentu t . Neka je stohastički proces $\{W_t\}_{t \geq 0}$ zadat u obliku

$$W_t = W_0 + X_t \quad (14)$$

gde je $\{X_t\}_{t \geq 0}$ stohastički proces sa svojstvom $P(X_0 = 0) = 1$. Funkcija raspodele procesa $\{W_t\}$, i odgovarajuća funkcija raspodele (u slučaju njihovog postojanja) označi se sa:

$$\begin{aligned} F^{(t)}(x) &= P(W_t \leq x); \\ f^{(t)}(x) &= dF^{(t)}(x) / dx. \end{aligned} \quad (15)$$

Neka je dopuštena oblast L u skladu sa jednostavnim praktičnim zahtevima $L = [W_a, W_b]$, slika 2 [2].



Sl. 2 - Trajektorije promene parametara stanja (dvostrana dopuštena oblast)

Često su za vreme procesa korišćenja tehničkog sistema interesantna odstupanja parametra od početne vrednosti W_0 samo u jednu stranu, odnosno, moguće je samo jednostrano odstupanje (na primer, pri mehaničkom istrošenju). Tada je dopuštena oblast ograničena koliko odozdo, toliko i odozgo:

- * jednostrana dopuštena oblast
- $-\infty = W_a < W_b < \infty$ (gornja dopuštena granica)

- $-\infty < W_a < W_b = \infty$ (donja dopuštena granica)

* dvostrana dopuštena oblast

- $-\infty < W_a < W_b < \infty$.

Poseban značaj ima slučajno vreme do nastupanja „postepenog“ otkaza.

$$L = \inf_t \{t : W_t \in L\}. \quad (16)$$

gde je : L – radni učinak sistema do prvog otkaza.

U uprošćenoj terminologiji veličina L naziva se i „radom“ (tačnije rad odgovarajućeg L). Izračunavanje raspodele verovatnoće za L pri zadatoj dinamici promene parametra stanja preduslov je za dostizanje postavljenog cilja. Posebno je vredan pažnje monotoni proces promene parametra stanja $\{X_t\}$.

Po definiciji stohastički proces $\{X_t\}_{t \geq 0}$ naziva se monotono rastućim (opadajućim) ako tokom njegove realizacije funkcija t sigurno raste (opada). Za monotono rastući (opadajući) proces $\{X_t\}$, očigledno, ima smisla zadati samo gornju (donju) dopuštenu granicu W_b (W_a). Na primer, u slučaju monotono rastućeg procesa, verovatnoća bezotkaznog rada je:

$$\begin{aligned} \bar{F}(t) &= P(L > t) = P(W_x \leq W_b) = \\ &= P(W_t \leq W_b) \end{aligned}$$

za svako $x \in [0, t]$.

Uzimanjem u obzir (15) dobija se:

$$\bar{F}(t) = F^{(t)}(W_b) \quad (17)$$

Analogno, za monotono opadajući proces je:

$$\bar{F}(t) = 1 - F^{(t)}(W_a) \quad (18)$$

Linijska promena parametra stanja

Ako se pretpostavi da je $X_t = V \cdot t$, parametar stanja zadaje se u obliku

$$W_t = W_0 + V \cdot t \quad (19)$$

Neka je V – normalno raspodeljena slučajna veličina s matematičkim očekivanjem μ i disperzijom σ^2 , tj.

$$P(V \leq y) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (20)$$

gde je raspodela $\Phi(x)$ zadata izrazom:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-y^2/2} dy. \quad (21)$$

Prema značenju V – to je brzina izmene parametra. Parametar stanja je raspodeljen normalno s matematičkim očekivanjem.

$$E(W_t) = W_0 + \mu t \quad (22)$$

i disperzijom

$$D^2(W_t) = \sigma^2 t^2 \quad (23)$$

Stohastička izmena parametara (19) i (20) obrađena je u [2].

Jednostrana dopuštena oblast promene parametra stanja

Realizacija stohastičkog procesa $\{W_t\}_{t \geq 0}$ može biti monotono rastuća i monotono opadajuća. Lako se može zaključiti da se pri zadatoj gornjoj (donjoj) granici $W_b(W_a)$ za $P(V \geq 0) \approx 1$ ($P(V \leq 0) \approx 1$) odgovarajuća verovatnoća bezotkaznog rada dobro aproksimira izrazima:

$$\bar{F}(t) = \Phi\left(\frac{(W_b - W_0) / t - \mu}{\sigma}\right), \quad (24)$$

$$\bar{F}(t) = 1 - \Phi\left(\frac{(W_a - W_0) / t - \mu}{\sigma}\right), \quad t > 0, \quad (25)$$

Prvi izvod $f(t) = -d\bar{F}(t)/dt$ ima oblik:

$$f(t) = \frac{\alpha}{\sqrt{2\pi} t^2} \exp\left(-\frac{(\alpha - \beta t)^2}{2t^2}\right), \quad t > 0, \quad (26)$$

gde je:

$$\alpha = |W - W_0| / \sigma, \quad \beta = |\mu| / \sigma, \quad (27)$$

a $W = W_a$ u izrazu (24) i $W = W_b$ u izrazu (25).

Istovremeno, da bi ti odnosi uvek važili, treba uvesti dopunske pretpostavke:

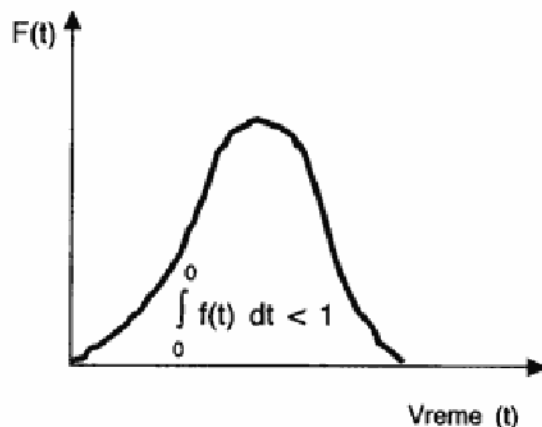
$$\mu \leq 0 \text{ za } W = W_a, \quad \mu \geq 0 \text{ za } W = W_b \quad (28)$$

Funkcija $f(t)$, $\alpha > 0$, $\beta \geq 0$, nije gustina verovatnoće, ukoliko je

$$\int_0^\infty f(t) dt = F(\infty) = 1 - \bar{F}(\infty) = \Phi(\beta) < 1 \quad (29)$$

Uzrok tome je činjenica da se, prema pretpostavci o raspodeli veličine V , njenom realizacijom mogu dobiti sve stvarne vrednosti. Ako je, istovremeno, raspodela veličine V takva da ona može primati samo pozitivne ili samo negativne vrednosti, saglasno formulama (17) ili (18) verovatnoća bezotkaznog rada ima svojstvo $\bar{F}(\infty) = 0$. Verovatnoća $\bar{F}(\infty)$ je

zanemarljivo mala, ako je $3\sigma \leq |\mu|$. „Defektna raspodela verovatnoće“, koja se karakteriše funkcijom $f(t)$, naziva se α -raspodelom. Tipično ponašanje f -je $f(t)$ prikazano je na slici 3.



Sl. 3 – Grafik gustine α -raspodele

Cilj je da se za zadato ε , $0 < \varepsilon < \phi(\beta)$ nađe takav interval obnavljanja τ_ε , pri kojem se sa verovatnoćom $1-\varepsilon$ isključuje nastupanje „postepenog“ otkaza. Označimo sa u_ε α – kvantil standardne normalne raspodele.

Jednačina, iz koje se određuje ε , $\bar{F}(\tau_\varepsilon) = 1 - \varepsilon$, saglasno izrazima (24) i (25) ekvivalentna je jednačinama:

$$((W_b - W_0) / \tau_\varepsilon - \mu) / \sigma = u_{1-\varepsilon},$$

$$((W_a - W_0) / \tau_\varepsilon - \mu) / \sigma = u_\varepsilon.$$

Kako je $|u_\varepsilon| = u_{1-\varepsilon}$, to se uzimanjem u obzir (28), za $W = W_a$ i $W = W_b$ ($\varepsilon < 1/2$), dobija konačni izraz za periodičnost pregleda stanja tehničkog sistema:

$$\tau_\varepsilon = |W - W_0| / (\sigma u_{1-\varepsilon} + |\mu|) = \alpha / (u_{1-\varepsilon} + \beta). \quad (30)$$

Primer

Neka zazor (prazan hod) mehaničkog sistema za upravljanje iznosi W_t , i

može se opisati izrazom (14). Zazor se reguliše, tj. dovodi na nivo $W_0 = 3$ mm svakih $\tau = 50$ h. Neka je gornja dopuštena granica $W_b = 13$ mm. Merenje u momentu $t = 50$ h i realizacija parametra W_t dali su vrednost $E(W_{50}) = 5$ mm i $D(W_0) = 1$ mm. (U stvarnosti postoje samo ocene tih karakteristika). Saglasno formulama (22) i (23):

matematičko očekivanje $\mu = (E(W_{50}) - W_0) / 50 = (5 - 3) / 50 = 0,04$ mm/h,

standardna devijacija $\sigma = D(W_{50}) / 50 = 1/50 = 0,02$ mm/h.

Tabela 1

Intervali obnavljanja za jednostranu dopuštenu oblast

$1 - \varepsilon$	0,900	0,950	0,990	0,999
$u_{1-\varepsilon}$	1,282	1,645	2,324	3,092
τ_ε (h)	219	137	116	98

Odatle se dobija $\alpha = 500$ h i $\beta = 2$, pa izraz (30) poprima oblik:

$$\tau_\varepsilon = 10 / (0,02 u_{1-\varepsilon} + 0,04).$$

Zaključak

Ako vremena pregleda stanja (t_k) nisu zanemarljivo mala, onda to ne zadaje dopunske matematičke teškoće u okvirima modela. Potrebno je samo pretpostaviti da se sistem ne menja za vreme pregleda stanja. Dobijene vrednosti δ_k pomoću algoritama 1 i 2 daju upravo vreme od završetka k -tog pregleda stanja do početka $(k + 1)$ -og pregleda stanja sistema.

U tabeli 1, vrednost intervala τ_ε određena je za nekoliko vrednosti koefi-

cijenta sigurnosti. Kako se i očekivalo, sa njegovim povećanjem odgovarajući intervali pregleda stanja su manji.

Detaljno su opisane jednostrane dopuštene oblasti promene parametara stanja, dok će problem dvostrane dopuštene oblasti promene parametara stanja biti predmet razmatranja u drugom radu.

Kao rezultat matematičkog modela preventivnog održavanja po vremenu na osnovu kriterijuma minimalnih troškova, dobija se vrednost karakteristike modela – optimalni interval pregleda stanja tehničkih sistema, koji obezbeđuje minimalne ukupne troškove održavanja.

Izborom koncepcije POPS – preventivnog održavanja prema stanju, koja predstavlja jedan od najperspektivnijih i najekonomičnijih metoda upravljanja procesima promene stanja i održavanja sistema, i primenom razvijenog matema-

tičkog modela, koji se zasniva na ovoj koncepciji, ostvaruju se značajni efekti u pogledu obezbeđenja zahtevanog nivoa pouzdanosti i gotovosti sistema, uz istovremeno smanjenje troškova održavanja.

Literatura:

- [1] Minić, S., Arsenić, Ž.: Modeli održavanja tehničkih sistema – Maintenance models of technical systems, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1998.
- [2] Beichelt, F., Franken, P.: Zuverlässigkeit und Instandhaltung, Mathematische Methoden, Veb Verlag Technik, Berlin, 1983.
- [3] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema – Maintainability engineering, JUMV, Beograd, 1993.
- [4] Mihlin, V., Dikov, K., Starikov, V., i dr.: Eksploatacionaja tehnologičnost konstrukcij traktorov, Mašinostroenie, Moskva, 1982.
- [5] Papić, Lj.: Metode povišenja efektivnosti ispitivanja za ocenu pouzdanosti tehnoloških sistema, OMÖ, Beograd, 1993.
- [6] Nikolić, I., Borović, S.: Višekriterijumska optimizacija – metode, primena u logistici, softver, CVŠ VJ, Beograd, 1996.
- [7] Krstolica, R., Vujošević, M., Šenborn, G., i dr.: Upravljanje sistemima, Naučna knjiga, Beograd, 1986.
- [8] Petrović, R.: Specijalne metode u optimizaciji sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 1977.

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

ODREĐIVANJE OPTIMALNE POUZDANOSTI ELEKTRONSKOG UREĐAJA SA STANOVIŠTA KOREKTIVNOG ODRŽAVANJA

UDC: 621.38-7.004.15:65.01

Rezime:

Metoda određivanja optimalne pouzdanosti elektronskog uređaja, sa aspekta korektivnog održavanja, zasniva se na generisanju varijanti pouzdanosti i, za svaku od njih, proračunu kriterijuma korektivnog održavanja i troškova razvoja i proizvodnje pouzdanosti. U optimizaciji ograničenje predstavlja vreme zastoja zbog korektivnog održavanja. Dat je primer optimizacije pouzdanosti za jedan hipotetički uređaj.

Ključne reči: varijante pouzdanosti, zastoj zbog korektivnog održavanja, troškovi korektivnog održavanja, optimizacija, optimalna varijanta pouzdanosti.

DETERMINING THE OPTIMAL RELIABILITY OF AN ELECTRONIC DEVICE FROM A CORRECTIVE MAINTENANCE ASPECT

Summary:

The paper presents a method for determining the optimal reliability of an electronic device from a corrective maintenance aspect. The basis of this method is the generation of reliability variants and, for each of them, the calculation of corrective maintenance criteria, and costs of reliability development and production. A corrective maintenance delay is the constraint in optimization. An example of reliability optimisation of a hypothetical electronic device is presented.

Key words: variants of reliability, corrective maintenance delay, costs of corrective maintenance, optimization, optimal variant of reliability.

Uvod

Pouzdanost tehničkog uređaja predstavlja važan faktor njegove efektivnosti i troškova u životnom veku. Nepouzdanost uređaja povlači za sobom troškove, izgubljeno vreme, nepovoljne psihološke efekte, a u određenim slučajevima ozbiljne pretnje po ličnu i nacionalnu bezbednost [1]. Sa druge strane, moguće je projektovati i razviti uređaj veoma visoke pouzdanosti, koja će eliminisati sve spomenute negativne posledice nepouzdanosti.

Međutim, postizanje ovakve pouzdanosti može biti jako skupo, jer zahteva veće troškove istraživanja i razvoja, pouzdanije delove, bolju proizvodnju, efikasniju kontrolu, itd. Zbog toga je u toku razvoja uređaja potrebno odrediti optimalnu pouzdanost, koja će obezbediti zadovoljavajuću efektivnost uređaja uz istovremene minimalne troškove životnog veka uređaja.

Kod tehničkih uređaja otkazi se eliminišu na dva načina. Prvi način se reali-

zuje kroz određenu pouzdanost postignutu u toku projektovanja, razvoja i proizvodnje, čime se obezbeđuje da uređaji rade bez otkaza određeni period vremena. Drugi način eliminacije otkaza je komplementaran u odnosu na prvi i realizuje se izvođenjem preventivnog i korektivnog održavanja u toku eksploatacije uređaja. Preventivnim održavanjem se sprečava pojava otkaza usled istrošenosti i starenja sastavnih delova uređaja, a korektivnim se uređaj dovodi u ispravno stanje nakon otkaza. Zbog komplementarnosti drugog načina eliminacije otkaza u odnosu na prvi način, održavanje uređaja predstavlja bitno stanovište za određivanje optimalne pouzdanosti tehničkog uređaja. Razvojem tehnologije elektronskih komponenti i sklopova, velikim delom su eliminisani njihovi otkazi zbog starenja i trošenja, pa preventivno održavanje kod savremenih elektronskih uređaja (EU) nema onaj značaj kao što ga ima kod mašinskih uređaja. Zbog toga je kod EU bitnija optimizacija pouzdanosti sa stanovišta korektivnog održavanja.

Stručnjaci koji u toku razvoja EU treba da odrede optimalnu pouzdanost često nemaju adekvatnu metodologiju i programsku podršku za rešavanje ovog problema. Nekim standardima zahtevana pouzdanost razvijanog EU određuje se samo na osnovu pretpostavljenog broja sastavnih delova, iako zavisi od mnoštva parametara.

U radu je razvijena metodologija za određivanje optimalne pouzdanosti EU sa stanovišta korektivnog održavanja, pri čemu se koriste rezultati ranijih radova vezanih za korektivno održavanje modularno građenih EU u sistemu održavanja sa više nivoa: matematičkog modela korektivnog održavanja [2,3], postupka optimizacije rezervnih delova za korektivno

održavanje [3,4] i optimizacije izvođenja korektivnog održavanja [5,6,7].

Varijante pouzdanosti elektronskog uređaja

U EU se, u toku razvoja, ugrađuju komponente sa potrebnim nivoom pouzdanosti. Za meru pouzdanosti uzeto je srednje vreme između otkaza (MTBF – Mean Time Between Failure). Postoji nekoliko osnovnih metoda kojima se postiže potreban nivo MTBF.

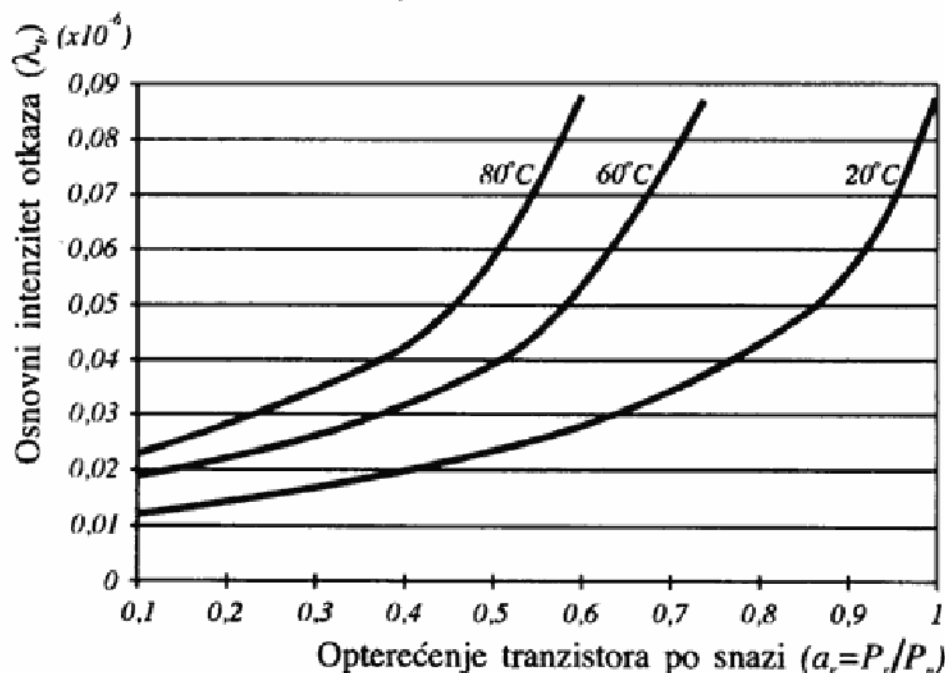
Primena kvalitetnijih komponenti

Veći proizvođači elektronskih komponenti proizvode istu komponentu sa različitim nivoima pouzdanosti. Priručnik za prognozu pouzdanosti elektronskih komponenti MIL-HDB-217 klasifikuje integrisana kola (IC), poluprovodničke elemente, otpornike i kondenzatore u četiri klase prema nivou pouzdanosti, što prikazuje tabela 1. U tabeli su date oznake kvaliteta komponenti za pripadnu klasu pouzdanosti. Za svaku klasu komponenti u priručniku se posebno definiše faktor kvaliteta (π_Q), na osnovu kojeg se može odrediti intenzitet otkaza određene komponente. Pouzdanost EU sa kompo-

Tabela 1

Klase pouzdanosti elektronskih komponenti

Klasa Deo	A	B	C	D
Integrisana kola	Klasa S	Klasa B1 i B2	Klasa C	Komercijalni
Poluprovodnički elementi	JANTXV	JANTX	JAN	Komercijalni
Otpornici	S	R	MiP	Neustanovljena
Kondenzatori	TiS	RiP	LiM	Neustanovljena



Sl. 1 – Zavisnost intenziteta otkaza FET tranzistora od opterećenja po snazi:
 P_r – disipirana snaga na komponenti, P_n – nominalna snaga za komponentu

mentama klase A mnogostruko je veća od pouzdanosti klasa B i C, a pogotovo od klase D u kojoj su komponente sa najmanjom pouzdanošću. Na primer, faktor kvaliteta digitalnog integrisanog kola po klasama ima vrednost: $\pi_O(A) = 0,5$, $\pi_O(B) = 3$, $\pi_O(C) = 13$, $\pi_O(D) = 35$ [8].

Rasterećenje komponenti

Intenzitet otkaza elektronske komponente λ zavisi od raznih opterećenja:

$$\lambda_i = f(P, V, T, C_i), \quad (1)$$

gde je:

P – snaga,

V – upotrebljeni napon,

T – temperatura,

C_i – druga opterećenja (mehanička, hemijska, itd.)

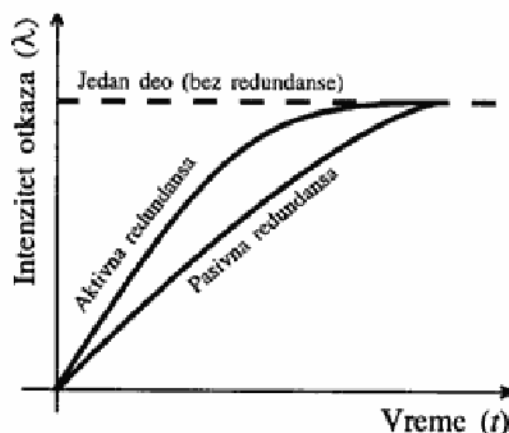
Na slici 1 prikazana je zavisnost osnovnog intenziteta otkaza FET tranzistora od opterećenja po snazi, za različite vrednosti radne temperature tranzistora [8].

Ako se komponenta opteretiti manje od nominalnog opterećenja, postići će se dodatno smanjenje njenog intenziteta otkaza, odnosno povećanje njene pouzdanosti.

Redundansa

Pouzdanost sastavnog dela EU (komponenta, modul, blok) može se povećati ako mu se doda rezerva od jedan ili više takvih delova. Ako otkaze deo „u radu“ on se isključuje i njegovu ulogu preuzima jedan od rezervnih delova. Sa stanovišta pouzdanosti ovi delovi predstavljaju paralelnu konfiguraciju. Očito

je da u ovom slučaju ne dolazi do otkaza EU pri otkazu dela koji ima rezervu. Ova metoda za povećanje pouzdanosti dela naziva se redundansa i njenom primenom može se postići željena visoka pouzdanost. U osnovi, postoje dva tipa redundanse: aktivna i pasivna. Kod aktivne redundanse redundantni deo radi istovremeno kad i osnovni deo i obavlja istu funkciju, a kod pasivne redundantni deo se aktivira tek kada otkaze osnovni deo. Na slici 2 prikazan je intenzitet otkaza konfiguracije od dva dela, u slučaju kada je redundantni deo aktivan i pasivan, pod uslovom da se osnovni deo ne opravljia nakon otkaza.



Sl. 2 – Intenzitet otkaza paralelne konfiguracije od dva dela

Primena elektronskih komponenti i sklopova novijih tehnologija

Novi tehnološki postupci, materijali i koncepti rešenja elektronskih komponenti i sklopova dovode do povećanja njihove pouzdanosti. To je posebno izraženo kod integralnih kola (IC), kod kojih dolazi do dramatičnog povećanja pouzdanosti po jedinici njihove složenosti. Tako savremena VLSI IC imaju više hiljada i desetina hiljada veću složenost od stan-

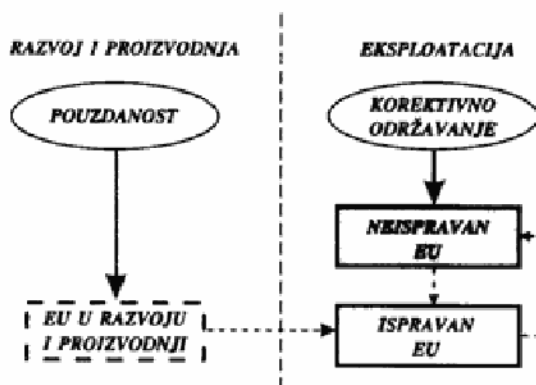
dardnih SSI i MSI IC uz uporedivu pouzdanost. To znači da konstruktor EU pred sobom ima mnoštvo mogućih *varijanti pouzdanosti*, kako po *nivou* pouzdanosti, tako i po *načinu* na koji se određena pouzdanost može postići. Varijanta sa minimalnom pouzdanošću dobija se primenom komercijalnih komponenti, starije tehnologije, bez rasterećenja komponenti i bez primene redundanse. Za varijantu maksimalne pouzdanosti trebalo bi upotrebiti komponente najnovije tehnologije, klase A i sa primenom redundanse. Između ove dve krajnje varijante pouzdanosti nalaze se ostale varijante pouzdanosti, kojih teoretski ima veliki broj. Za analizu i izbor najbolje varijante, sa aspekta korektivnog održavanja, broj varijanti pouzdanosti najčešće se svodi na manji broj. Varijante će eliminisati ograničenja, kao što su: minimalni nivo pouzdanosti koji se zahteva sa nekog drugog aspekta (na primer bezbednosti), nemogućnost proizvođača da prihvati novu tehnologiju, dimenzije uređaja (nemogućnost primene redundanse), itd.

Analiza zavisnosti korektivnog održavanja od pouzdanosti

Da bi se razvila metodologija određivanja optimalne pouzdanosti EU sa stanovišta korektivnog održavanja, neophodno je ustanoviti način na koji korektivno održavanje uređaja zavisi od njegove pouzdanosti. Na slici 3 prikazan je odnos korektivnog održavanja i pouzdanosti, s obzirom na eliminaciju otkaza na EU.

Ugradnjom pouzdanosti u EU u određenom stepenu sprečava se da dođe do otkaza na njemu, a korektivnim održavanjem se, u toku eksploatacije uređaja, otklanjaju oni otkazi koji nisu eliminisani

ugradnjom pouzdanosti. Postoji velika zavisnost korektivnog održavanja od nivoa pouzdanosti EU i od načina na koji je ta pouzdanost postignuta. Ova zavisnost je identifikovana preko analize zavisnosti kriterijuma korektivnog održavanja od pouzdanosti uređaja. Kao relevantni kriterijumi za ocenu korektivnog održavanja EU izabrani su [2]:



Sl. 3 – Odnos pouzdanosti i korektivnog održavanja elektronskog uređaja

- srednje vreme zastoja EU zbog korektivnog održavanja,
- ukupni troškovi korektivnog održavanja EU u životnom veku.

Srednje vreme zastoja EU zbog korektivnog održavanja predstavlja usrednjeno vreme srednjih vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja na svim nivoima održavanja, i dato je izrazom:

$$MDT_c = \sum_{n=1}^N q_n MDT_{cn} \quad (2)$$

gde je:

q_n – verovatnoća korektivnog održavanja na n -tom nivou održavanja,

MDT_{cn} – srednje vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja na n -tom nivou održavanja,

N – broj nivoa održavanja.

Verovatnoća q_n zavisi od pouzdanosti delova koji se menjaju na n -tom nivou održavanja i ukupne pouzdanosti svih delova koji se menjaju na uređaju:

$$q_n = \frac{\sum_{j=1}^{K_n} \sum_{i=1}^{M_{jn}} \Lambda_{ji}}{\sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^{K_n} \sum_{i=1}^M \Lambda_{ji}}, \quad (3)$$

gde je:

K_n – ukupan broj vrsta sastavnih delova EU, koji se na njemu menjaju na n -tom nivou održavanja,

M_{jn} – broj delova j -tog tipa koji se na EU menjaju na n -tom nivou održavanja,

Λ_{ji} – ukupan intenzitet otkaza ji -tog dela.

Na osnovu izraza (3) vidi se da će povećanjem pouzdanosti delova koji se održavaju na određenom nivou doći do smanjenja verovatnoće korektivnog održavanja na tom nivou, odnosno do manjeg uticaja vremena zastoja na tom nivou na ukupno vreme zastoja uređaja.

Srednje vreme zastoja EU zbog korektivnog održavanja na n -tom nivou održavanja dato je izrazom:

$$MDT_{cn} = T_{akon} + T_{zrdn} + \sum T_{klo}, \quad (4)$$

gde je:

T_{akon} – aktivno vreme korektivnog održavanja uređaja,

T_{zrdn} – vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova,

T_{klo} – logistička vremena pri korektivnom održavanju (prijavljivanja za održavanje, transporta, čekanja na održavanje, čekanja na predaju).

U izrazu (4) od pouzdanosti su zavisna vremena aktivnog korektivnog održavanja (T_{akon}) i zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova (T_{zrdn}), dok to ne važi za logistička vremena.

Aktivno vreme korektivnog održavanja EU zavisi od pouzdanosti sastavnih delova preko verovatnoća opravke uređaja zamenom tih delova i vremena tih opravki. Dato je sledećim izrazom:

$$T_{akon} = \sum_{j=1}^{K_s} \sum_{i=1}^{M_{jn}} q_{jin} t_{aoji}, \quad (5)$$

gde je:

t_{aoji} – aktivno vreme opravke uređaja zamenom ji -tog dela,

q_{jin} – verovatnoća opravke uređaja na n -tom nivou zamenom ji -tog sastavnog dela.

Vreme t_{aoji} ne zavisi od nivoa pouzdanosti dela, ali zavisi od načina postizanja određene pouzdanosti. Tako, na primer, ovo vreme će se razlikovati za različite primenjene tehnologije komponenti, za primenu redundanse, itd.

Verovatnoća q_{jin} data je izrazom:

$$q_{jin} = \frac{\Lambda_{ji}}{\sum_{j=1}^{K_s} \sum_{i=1}^{M_{jn}} \Lambda_{ji}}, \quad (6)$$

te je jasno da će deo sa većom pouzda-
nošću imati manju ovu verovatnoću, odnosno da će biti manji doprinos njegovog vremena opravke ukupnom vremenu opravke uređaja, na određenom nivou održavanja.

Vreme zastoja EU zbog nedostatka rezervnih delova na n -tom nivou održavanja zavisi od mnoštva parametara sistema snabdevanja, sistema održavanja i samog uređaja, među kojima je i pouzdanost njegovih sastavnih delova. U opštem slučaju, ovo vreme je dato izrazom:

$$T_{zrdn} = \sum_{j=1}^{K_s} q_{jn} \sum_{s=1}^{D_s} t_{js} R_{js}, \quad (7)$$

gde je:

t_{js} – srednje vreme obnavljanja j -tog sastavnog dela u s -tom kompletu rezervnih delova,

R_{js} – verovatnoća obnavljanja j -tog sastavnog dela u s -tom kompletu rezervnih delova,

D_n – broj nivoa snabdevanja rezervnim delovima n -tog nivoa održavanja,

q_{jn} – verovatnoća opravke uređaja na n -tom nivou zamenom j -tog sastavnog dela.

Verovatnoća q_{jn} data je izrazom:

$$q_{jn} = \frac{\sum_{i=1}^{M_{jn}} \Lambda_{ji}}{\sum_{j=1}^{K_s} \sum_{i=1}^{M_{jn}} \Lambda_{ji}}, \quad (8)$$

što znači da će deo sa manjom pouzda-
nošću više doprinositi vremenu zastoja EU zbog nedostatka rezervnih delova na određenom nivou održavanja.

Verovatnoća obnavljanja sastavnog dela R_{js} je funkcija verovatnoća otkaza kompleta rezervnih delova, koje su zavisne od pouzdanosti delova uređaja koji se obnavljaju u tim kompletima. U opštem slučaju verovatnoća otkaza kompleta rezervnih delova data je izrazom:

$$P_j = \frac{A_j^{Y_j}}{Y_j! \sum_{z=0}^{Y_j} \frac{A_j^z}{z!}}, \quad (9)$$

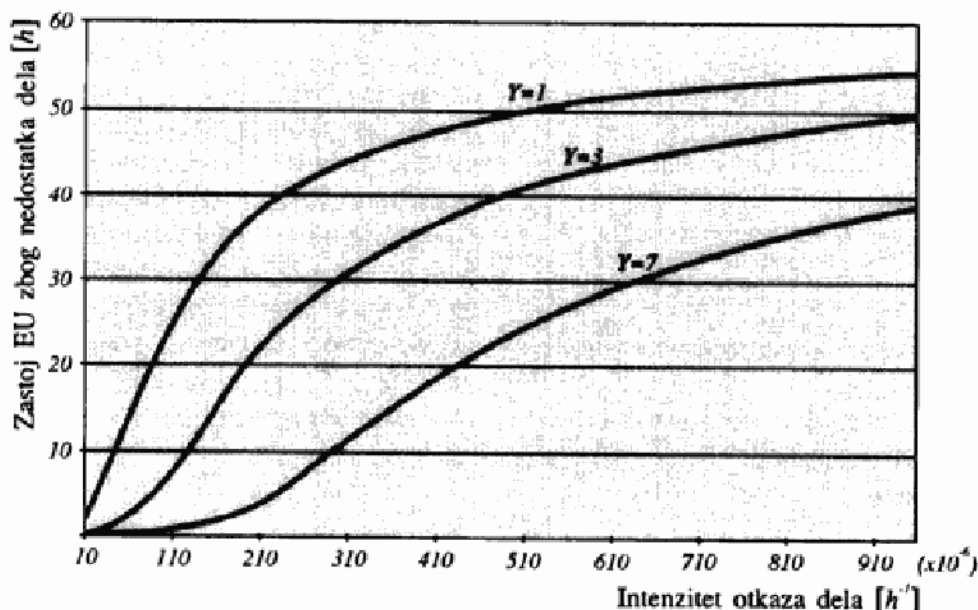
$$A_j = t_j \Lambda_{juk}, \quad (10)$$

gde je:

Y_j – broj j -tih rezervnih delova u kompletu,

t_j – srednje vreme obnavljanja utrošenog dela iz kompleta,

Λ_{juk} – ukupni intenzitet otkaza svih j -tih



Sl. 4 – Zavisnost vremena zastoja EU, zbog nedostatka rezervnog dela, od pouzdanosti tog dela

sastavnih delova EU koji se obnavljaju u kompletu.

Ako pouzdanost sastavnih delova EU pada doći će do rasta verovatnoće P_j , odnosno do povećanja vremena zastoja uređaja. Na slici 4 prikazana je zavisnost vremena zastoja uređaja zbog nedostatka određenog dela od njegove pouzdanosti, za različite količine rezervnih delova u kompletu.

Drugi kriterijum – ukupni troškovi korektivnog održavanja u životnom veku EU sistematizovani su na sledeći način [2,9]:

- troškovi ulaganja u korektivno održavanje na početku eksploatacije (troškovi: obuke kadra, opreme, dokumentacije i softvera, početnih zaliha rezervnih delova);

- troškovi korektivnog održavanja u toku eksploatacije (troškovi: radne snage, utrošenih rezervnih delova, transporta uređaja i njegovih sastavnih delova). Svi

ovi troškovi korektivnog održavanja zavise, više ili manje, od pouzdanosti uređaja.

Troškovi početnih zaliha rezervnih delova na početku eksploatacije uređaja mnogo zavise od pouzdanosti uređaja, odnosno njegovih sastavnih delova, i dati su izrazom:

$$C_{zrd} = \sum_{n=1}^N X_n \sum_{j=1}^{K_n+K_{ns}} C_{rdj} Y_{jn}, \quad (11)$$

gde je:

X_n – ukupan broj mesta (radionica) za održavanje na n-tom nivou održavanja,

K_n – ukupan broj vrsta sastavnih delova EU koji se na njemu menjaju na n-tom nivou održavanja,

K_{ns} – ukupan broj vrsta delova koji pripadaju popravljivim sastavnim delovima uređaja, koji se menjaju na n-tom nivou održavanja,

C_{rdj} – cena j-tog rezervnog dela,
 Y_{jn} – broj j-tih rezervnih delova u kompletu na n-tom nivou održavanja.

Ovi troškovi zavise od pouzdanosti, preko broja rezervnih delova u kompletu i cene rezervnog dela. Na slici 4 vidi se da je za određenu pouzdanost elektronskog dela, da bi se dobilo potrebno vreme zastoja zbog nedostatka tog dela, potreban određeni broj delova u kompletu rezervnih delova. Za manju pouzdanost dela potreban je veći broj delova u kompletu. Ovaj broj zavisi i od načina na koji je postignuta pouzdanost. Ako je, na primer, primenjena redundansa ovaj broj će morati da bude veći. Cena rezervnih delova zavisi od nivoa njihove pouzdanosti i načina na koji je postignuta.

Ostali troškovi ulaganja u korektivno održavanje EU na početku eksploatacije (troškovi: obuke kadra, opreme, dokumentacije i softvera) relativno manje zavise od pouzdanosti uređaja. Ako je niža pouzdanost uređaja broj otkaza biće veći, što zahteva veći broj izvršilaca održavanja, veći broj kompleta opreme i veći broj kompleta dokumentacije. Ovi troškovi zavise i od načina na koji je postignuta pouzdanost.

Svi troškovi korektivnog održavanja EU u toku eksploatacije direktna su posledica nepouzdanosti uređaja, pa su veoma zavisni od pouzdanosti uređaja i njegovih sastavnih delova. Pošto nastaju u toku eksploatacije mnogo zavise od koeficijenta eksploatacije i trajanja eksploatacije EU.

Troškovi radne snage za korektivno održavanje EU dati su izrazom:

$$C_{rs} = \sum_{n=1}^N \left(z_n \sum_{j=1}^{K_n} \sum_{i=1}^{M_{jn}} \Lambda_{ji} t_{aoji} + \sum_{j=1}^{K_n} \sum_{i=1}^{M_{jn}} \Lambda_{jis} t_{aojis} z_{njis} \right) X_n C_{rsn} T_{ek}, \quad (12)$$

gde je:

z_n – broj uređaja koji se popravljaju u

radionici na n-tom nivou održavanja, Λ_{jis} – ukupan intenzitet otkaza ji-tog dela sastavnog dela uređaja, koji se dobija pomoću izraza koji je analogan izrazu za Λ_{ji} ,

t_{aojis} – aktivno vreme opravke sastavnog dela uređaja zamenom ji-tog dela,

z_{njis} – broj popravljivih sastavnih delova uređaja koji se na n-tom nivou održavanja popravljaju zamenom ji-tog dela,

M_{jns} – broj delova j-te vrste koji se na sastavnim delovima uređaja menjaju na n-tom nivou održavanja,

c_n – cena radnog sata na n-tom nivou,

T_{ek} – trajanje eksploatacije uređaja.

U izrazu (12) vidi se direktna zavisnost ovih troškova od pouzdanosti sastavnih delova EU. Oni zavise i od načina na koji je postignuta pouzdanost, preko broja delova određene vrste (M_{jn} i M_{jns}) i preko aktivnih vremena opravke (t_{aoji} i t_{aojis}). Na primer, ako je primenjena redundansa broj istih delova uređaja (M_{jn}) je veći, te će i ovi troškovi biti veći.

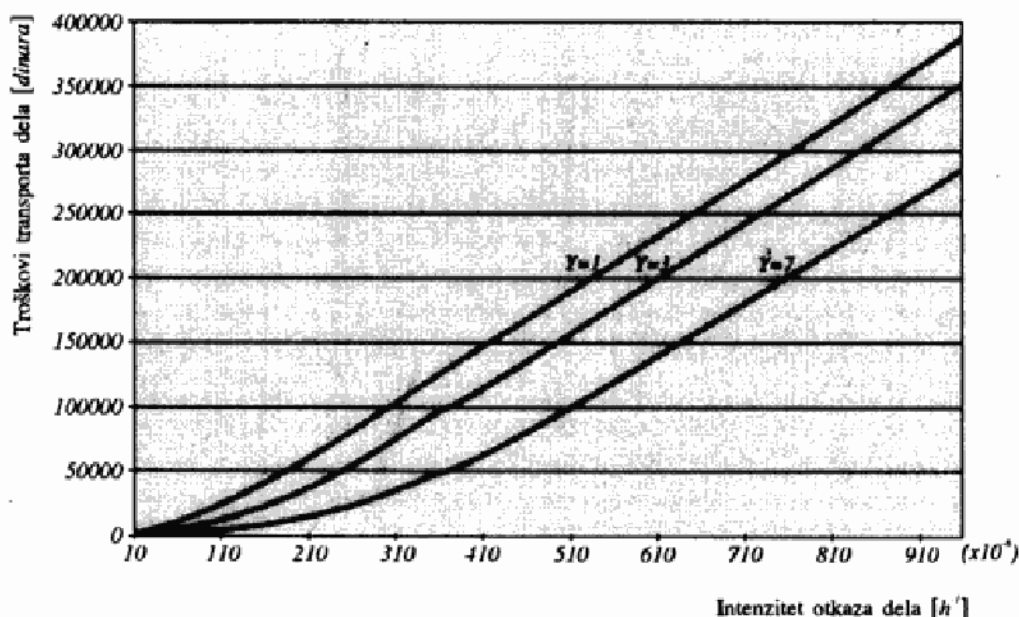
Troškovi utrošenih rezervnih delova dati su izrazom

$$C_{urd} = \sum_{n=1}^N X_n z_n T_{ek} \left(\sum_{j=1}^{K_n} C_{rdj} \sum_{i=1}^{M_{jn}} \Lambda_{ji} + \sum_{j=1}^{K_n} C_{rdj} \sum_{i=1}^{M_{jns}} \Lambda_{ji} \right). \quad (13)$$

I ovi troškovi su direktno proporcionalni intenzitetu otkaza sastavnih delova uređaja. Oni zavise od cene rezervnih delova, koja je obrnuto proporcionalna intenzitetu otkaza, i od načina na koji je postignuta pouzdanost, i to preko broja delova određene vrste (M_{jn} i M_{jns}).

Troškovi transporta uređaja na održavanje dobijaju se pomoću izraza:

$$C_{tru} = \sum_{n=1}^N z_n X_n C_{tru} T_{ek} \sum_{j=1}^{K_n} \sum_{i=1}^{M_{jn}} \Lambda_{ji}, \quad (14)$$



Sl. 5 – Zavisnost troškova transporta dela od njegove pouzdanosti

gde je:

C_{tm} – cena transporta uređaja na n-ti nivo održavanja.

Kao i troškovi radne snage i utrošenih rezervnih delova i ovi troškovi su direktno proporcionalni intenzitetu otkaza sastavnih delova uređaja.

Pored transporta EU pri njegovom korektivnom održavanju transportuju se i njegovi opravljivi sastavni delovi. Troškovi transporta jednog opravljivog dela su funkcija verovatnoća otkaza kompleta rezervnih delova, u kojima se može nalaziti taj deo, i broja zahteva za tim delom za vreme trajanja eksploatacije uređaja T_{ek} :

$$C_{trd} = f(P_{jn}, Z_{jn}). \quad (15)$$

Broj zahteva za jednim rezervnim delom za opravku uređaja na n-tom nivou je:

$$Z_{jn} = T_{ek} \sum_{i=1}^{M_{jn}} \Lambda_{ji}, \quad (16)$$

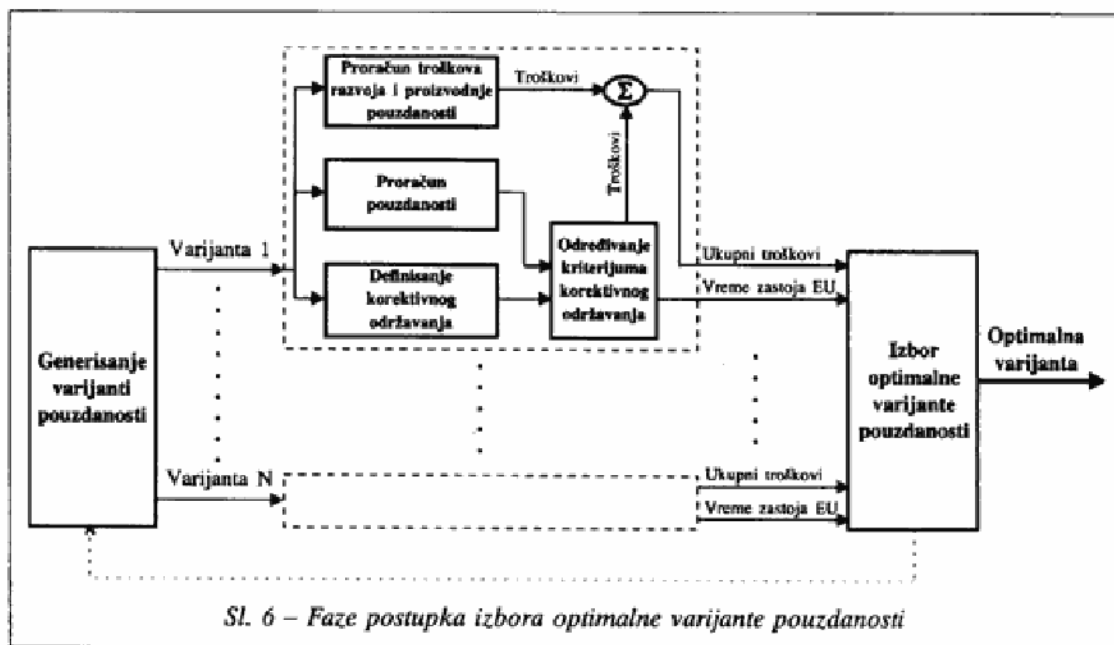
a taj broj za opravku opravljivog sastavnog dela je:

$$Z_{jn} = T_{ek} \sum_{i=1}^{M_{jn}} \Lambda_{jis}, \quad (17)$$

Iz ovih izraza se vidi da i ovi troškovi mnogo zavise od pouzdanosti sastavnih delova EU. Na slici 5 prikazana je zavisnost transporta jednog sastavnog dela EU od intenziteta otkaza tog dela, za vreme eksploatacije od 10 godina i različite količine rezervnih delova u kompletu na I nivou održavanja.

Postupak određivanja optimalne pouzdanosti

Postupak određivanja optimalne varijante pouzdanosti zavisi od sistema u kojem će raditi uređaj. U nekim sistemima na prvom mestu je zahtevana operativna gotovost uređaja, dok su troškovi veka uređaja u drugom planu. Takvi su



i vojni sistemi pa je u nastavku dat postupak optimizacije pouzdanosti za takve sisteme. U postupku se koristi jednokriterijumska optimizacija, sa vremenom zastoja EU kao ograničenjem i ukupnim troškovima korektivnog održavanja i troškova pouzdanosti kao funkcijom optimalnosti. Optimalna varijanta pouzdanosti je ona pri kojoj se dozvoljeni zastoj uređaja zbog korektivnog održavanja postiže uz minimalne troškove za:

- razvoj i proizvodnju pouzdanosti,
- za korektivno održavanje u toku eksploatacije EU.

Na slici 6 prikazane su faze ovog postupka.

Generisanje varijanti pouzdanosti

Najpogodniji, a za složenije EU i jedino praktično moguć način za generisanje varijanti i proračun njihove pouzdanosti jeste korišćenje programskih paketa za automatizovanu prognozu i proračun pouzdanosti. Jedan od najjačih i najpo-

znatijih je softverski paket PREDICTOR [10], koji vrši proračun pouzdanosti na osnovu postupka i podataka iz priručnika MIL-HDB-217. Korisnik ovog paketa može po volji zadavati:

- kvalitet komponenti,
- opterećenje komponenti,
- temperaturne uslove,
- redundansu,
- tehnološke generacije komponenti.

Na taj način korisnik može generisati željene varijante pouzdanosti.

Definisanje korektivnog održavanja

Korektivno održavanje EU neće biti isto za svaku varijantu pouzdanosti. Najveće razlike ispoljiće se u tehnologiji održavanja i nivoima održavanja. Na primer, tehnologija opravke sastavnog dela sa redundansom razlikovaće se od tehnologije opravke tog dela bez redundanse, a primena komponenti novije tehnologije izazvaće potrebu opravke delova na višem nivou održavanja. Stoga je potrebno

za svaku varijantu odrediti potrebne korektivne tehnološke programe održavanja i nivoa na kojima će se oni izvoditi [5,7].

Proračun pouzdanosti

Za svaku varijantu pouzdanosti potrebno je proračunati pouzdanost EU i svakog njegovog sastavnog dela, koji će se koristiti kao ulazni parametri modela korektivnog održavanja, za proračun kriterijuma korektivnog održavanja. Za zadanu varijantu pouzdanosti, pomoću PREDICTORA automatski se dobija pouzdanost komponenti, modula, blokova i celog uređaja. Ukoliko je sa nekog drugog aspekta (bezbednost, troškovi ne korištenja, psihološki efekti, itd.) određen minimalni nivo pouzdanosti EU, potrebno je iz daljnjeg razmatranja izbaciti sve one varijante pouzdanosti koje imaju manju pouzdanost od ovog nivoa.

Proračun troškova razvoja i proizvodnje pouzdanosti

Na osnovu potrebnog vremena, materijala, opreme i energije za razvoj i proizvodnju određene varijante pouzdanosti dobijaju se troškovi razvoja (TRP) i proizvodnje (TPP) pouzdanosti te varijante.

Određivanje kriterijuma korektivnog održavanja

Određivanje kriterijuma korektivnog održavanja za svaku varijantu pouzdanosti sastoji se od tri koraka, koji su prikazani na slici 7.

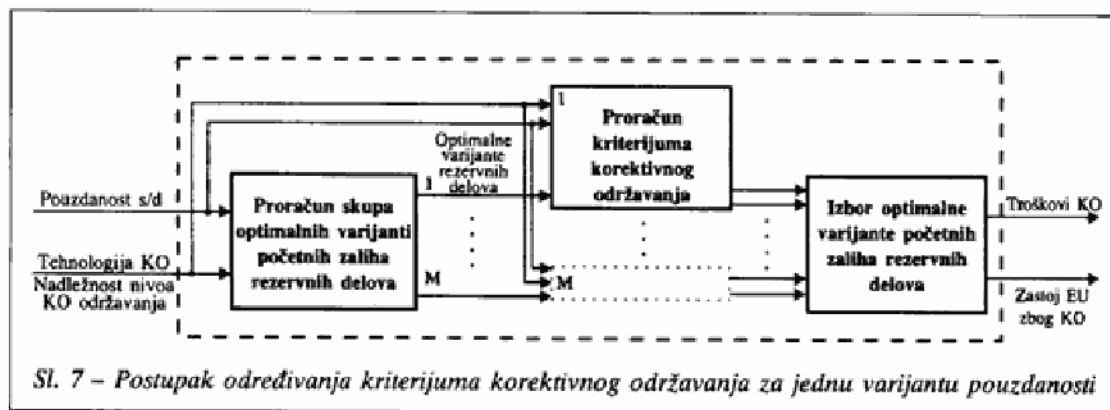
1) Proračun skupa optimalnih varijanti početnih zaliha rezervnih delova
Početne zalihe rezervnih delova za jednu varijantu pouzdanosti uređaja mogu se formirati na mnogo načina. Od svih tih varijanti početnih zaliha rezervnih delova, za analizu i izbor najbolje, značajne su one koje su optimalne sa aspekta snabdevenosti rezervnim delovima. Skup ovih varijanti može se dobiti metodom približnog dinamičkog programiranja [3,4].

2) Proračun kriterijuma korektivnog održavanja

Pomoću matematičkog modela korektivnog održavanja [2,3] vrši se proračun kriterijuma korektivnog održavanja – vremena zastoja zbog korektivnog održavanja i troškova korektivnog održavanja u životnom veku EU, za svaku varijantu početnih zaliha rezervnih delova.

3) Izbor optimalne varijante početnih zaliha rezervnih delova

Na osnovu rezultata proračuna kriteri-



Sl. 7 – Postupak određivanja kriterijuma korektivnog održavanja za jednu varijantu pouzdanosti

juma korektivnog održavanja i dozvoljenog zastoja EU zbog KO (MDT_{cdoz}) vrši se izbor optimalne varijante početnih zaliha rezervnih delova [3,4]. Izborom ove varijante određeni su i kriterijumi korektivnog održavanja određene varijante pouzdanosti:

$UTR_{KO_{opt}}$ – ukupni troškovi korektivnog održavanja EU u životnom veku,

MDT_{copt} – vreme zastoja EU zbog korektivnog održavanja.

Izbor optimalne varijante pouzdanosti

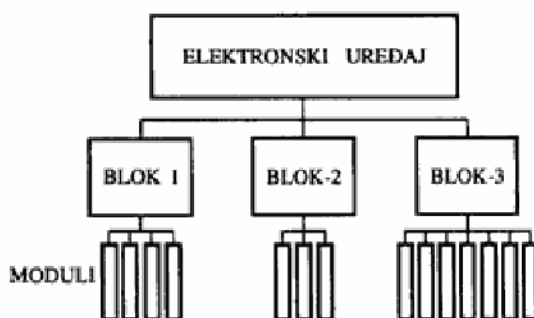
Pre ovog izbora, kao što je prikazano na slici 6, sumirani su troškovi razvoja i proizvodnje pouzdanosti i troškova korektivnog održavanja u životnom veku EU, za svaku varijantu pouzdanosti:

$$UTR = TRP + TPP + UTR_{KO_{opt}} \quad (18)$$

Ako je $MDT_{copt} \cong MDT_{czad}$ za sve varijante pouzdanosti, jasno je da je najbolja varijanta sa najmanjim ukupnim troškovima UTR. U slučaju da je kod neke varijante $MDT_{copt} \cong MDT_{cdoz}$ izbor se komplikuje, jer se sada i UTR i $MDT_{copt} < MDT_{cdoz}$ razlikuju po varijantama pouzdanosti. Ali, ako se ima u vidu da je vreme MDT_{cdoz} tako izabrano da zadovoljava korisnika (ne ugrožava misiju EU), troškovi UTR će pri upoređivanju varijanti biti na prvom mestu. To znači da i u ovom slučaju najbolja varijanta ima minimalne troškove UTR. Jedino u slučaju da je kod dve varijante (A i B) UTR_{optA} neznatno veće od UTR_{optB} , a MDT_{coptA} znatno manje od MDT_{coptB} , za optimalnu varijantu izabraće se varijanta A.

Primer određivanja optimalne pouzdanosti

Pomoću računarskog programa, realizovanog na osnovu matematičkog modela korektivnog održavanja [2,3] i datog postupka određivanja optimalne pouzdanosti EU, izvršeno je određivanje optimalnog nivoa pouzdanosti jednog hipotetičkog modularno građenog EU. Na slici 8 prikazana je blok-šema konstrukcije ovog uređaja.



Sl. 8 – Blok šema konstrukcije EU na kome se izvodi određivanje optimalne pouzdanosti

Uređaj se sastoji od tri bloka, a svaki blok od određenog broja modula, i održava se u sistemu održavanja sa četiri nivoa. Na I nivou održavanja ne vrši se korektivno održavanje. Na II nivou uređaj se opravljiva zamenom blokova. Blokovi se opravljaju na III nivou zamenom modula. Moduli se opravljaju na IV nivou zamenom komponenti.

U ovom primeru izabrana je najbolja od tri varijante pouzdanosti, koje se razlikuju po kvalitetu upotrebljenih komponenti. U tabeli 2 prikazan je odnos intenziteta otkaza i cene celog uređaja za ove tri varijante.

U primeru dozvoljeno vreme zastoja zbog korektivnog održavanja iznosi 12 h. Optimizacijom su dobijene vrednosti kri-

Varijante	Intenzitet otkaza uređaja ($10^{-6}/h$)	Cena svih komponenti uređaja (dinara)
1	$\lambda_1 = 1150$	$C_1 = 28\ 200$
2	$0,1 \lambda_1$	$5 C_1$
3	$4 \lambda_1$	$0,2 C_1$

terijuma korektivnog održavanja, koje su prikazane u tabeli 3.

Troškovi razvoja pouzdanosti isti su za sve tri varijante pouzdanosti. Isti je slučaj i sa troškovima proizvodnje uređaja, osim cene komponenti. Stoga je za diskriminaciju varijanti pouzdanosti dovoljno posmatrati ukupne troškove – $UTR_{opt} = UTRKO_{opt} + C$ (C – cena svih komponenti uređaja), koji su prikazani u tabeli 3.

Tabela 3

Rezultati optimizacije

Varijanta	$MDT_{copt}(h)$	$UTRKO_{opt}$ ($\times 10^6$ dinara)	UTR_{opt} ($\times 10^6$ dinara)
1	11,4	0,12	0,40
2	10,6	0,06	1,47
3	6,3	0,37	0,42

Na osnovu dobijenih rezultata vidi se da je varijanta 2, kod koje su korišćene najkvalitetnije komponente, u životnom veku najskuplja, te se može odmah isključiti kao neoptimalna. Varijanta 1 ima nešto niže troškove od varijante 3, ali ako se uzme u obzir da je vreme MDT_{copt3} mnogo manje od MDT_{copt1} moglo bi se smatrati da je optimalna varijanta pouzdanosti varijanta 3.

Zaključak

Ako se u toku razvoja EU ne sprovodi optimizacija pouzdanosti, to, sa aspekta korektivnog održavanja, može imati veoma negativan uticaj na ekonomsku efektivnost uređaja. Stoga je potrebno da stručnjaci, koji razvijaju uređaj, imaju na raspolaganju odgovarajuću metodologiju i programsku podršku za ovu optimizaciju. Pokazano je da donošenje optimalne odluke o nivou i načinu postizanja pouzdanosti zavisi od mnoštva parametara (sistema održavanja, uređaja, eksploatacije, itd.), pa je praktično nemoguće propisati donošenje ove odluke odgovarajućim standardom.

U toku razvoja EU potrebno je doneti i optimalne odluke vezane za samo korektivno održavanje (pogodnost korektivnog održavanja, tehnologija korektivnog održavanja, nadležnosti nivoa korektivnog održavanja). Kako ove odluke zavise od nivoa i načina postizanja pouzdanosti EU, potrebno je istovremeno izvoditi i optimizaciju pouzdanosti i optimizaciju korektivnog održavanja. Jedino na taj način moguće je dobiti optimalnu konstrukciju EU i optimalno definisano korektivno održavanje, koji će obezbediti dozvoljeno vreme zastoja zbog opravke EU, uz minimalne troškove za razvoj, proizvodnju i održavanje.

Data metodologija može se primeniti i pri kupovini EU na tržištu, u slučaju da se nude uređaji različite pouzdanosti. Postupak određivanja optimalne varijante pouzdanosti može se u potpunosti primeniti i pri razvoju mašinskih uređaja, s tim da se kod ovih uređaja matematički model korektivnog održavanja EU može primeniti samo u onom delu gde je intenzitet otkaza konstantan. Kod ovih ure-

đaja veoma je bitno i preventivno održavanje, te bi pri optimizaciji pouzdanosti ovih uređaja trebalo uključiti i ovo održavanje.

Literatura:

- [1] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Beograd, Vojnoizdavački i novinski centar, 1987.
- [2] Korolija, D.: Model korektivnog održavanja elektronskih uređaja u sistemu održavanja sa više nivoa, Vojnotehnički glasnik 6/97, str. 649-661, 1997.
- [3] Korolija, D.: Model snabdevanja modularno građenih elektronskih uređaja rezervnim delovima, Magistarski rad, Zagreb, ETF, 1988.
- [4] Korolija, D.: Optimizacija rezervnih delova za održavanje modularno građenih elektronskih sredstava, Vojnotehnički glasnik 5/96, str. 517-524, 1996.
- [5] Korolija, D.: Optimizacija korektivnog održavanja elektronskog uređaja nabavljenog na tržištu, Vojnotehnički glasnik 3/98, str. 281-294, 1998.
- [6] Korolija, D.: Donošenje odluke opravi-odbaci kod modularno građenih elektronskih uređaja, Vojnotehnički glasnik 5/98, str. 513-526, 1998.
- [7] Korolija, D.: Optimizacija korektivnog održavanja pri projektovanju i razvoju savremenog elektronskog uređaja, Naučno-tehnički pregled 5/98, str. XXX-XXX, 1998.
- [8] MIL-HDB-217D: Reliability Prediction of Electronic Equipment (Notice-1), Albuquerque, Management Sciences Inc., 1984.
- [9] Barković, M.: Prilog optimizaciji višenivojskog sistema održavanja elektronskih sredstava, doktorska disertacija, Zagreb, CVTŠ KoV JNA, 1989.
- [10] Wargo, J. Jr., „Predictor User's Manual Supplement", Albuquerque, Management Sciences Inc., 1983.

Dr Rade Stanković,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

STANDARDI KVALITETA I ODRŽAVANJE MOTORNH VOZILA U PROCESU EKSPLOATACIJE*

UDC: 006.83:629.113-7

Rezime:

U radu su analizirani standardi kvaliteta ISO 9000 i QS 9000 sa aspekta menadžment kvaliteta (QM – Quality Managament), odnosno korišćenja potencijala moderne informatičke tehnologije za radikalni redizajn procesa upravljanja tehničkim stanjem transportnih sredstava, kao osnovnih sredstava rada transportne tehnologije.

Ključne reči: standardi kvaliteta, kvalitet, upravljanje, održavanje, motorna vozila.

QUALITY STANDARDS AND VEHICLES MAINTENANCE UNDER SERVICE CONDITIONS

Summary:

Quality standards ISO 9000 and QS 9000 have been analysed from the aspect of quality management (QM), that is to say from the aspect of using potentials of modern computer technology for a radical redesign of management process concerning transport means as basic means of transport technology and their technical conditions.

Key words: quality standards, quality, management, maintenance, vehicles.

Uvod

Kvalitet proizvoda i usluga ključni je cilj svake organizacije koja ima pretenzije da duže opstane na svetskom tržištu. Po rečima predsednika Hewlett Packard Co, Johna Younga, kompanije imaju danas najbolji alat za nadmetanje – kvalitet. Preduzeća iz Japana su primenom novog koncepta kvaliteta, odnosno nove filozofije poslovanja i življenja, osvojila i najprobirljivija svetska tržišta. Od 1984. godine kvalitet proizvoda i usluga postaje nacionalni prioritet u SAD, a od 1996. u

Zapadnoj Evropi se bez znaka CE praktično ne može uspešno poslovati. Povođom svetskog dana kvaliteta, a tokom trajanja Evropske nedelje kvaliteta, u novembru 1995. godine, usvojen je dokument „Kvalitet u Evropi – put ka postizanju izvrsnosti“, kojim se definiše konzistentna strategija Evropske unije u oblasti evropskog imidža i kulture kvaliteta, na svetskom globalnom tržištu. Kvalitet proizvoda i usluga evropskih kompanija biće ključni element za njihov uspeh na tržištu u budućnosti. Zemlje istočne i južne Azije kvalitetom i cenom proizvoda su veoma konkurentne u celom svetu. Najkraće rečeno, kvalitet je planetarni i društveni fenomen današnjice.

* Rad je saopšten na savetovanju „Ispitivanje upotrebnog kvaliteta mototehničkih sredstava i ocena generalnog remonta“, 08. 12. 1998. u Beogradu.

Jugoslavija, takođe, čini napore da se priključi težnjama razvijenih zemalja u stvaranju ambijenta koji će proizvodnim i uslužnim delatnostima obezbediti razvoj i implementaciju sistema kvaliteta, sposobnog da izdrži tržišnu konkurenciju razvijenih zemalja. Vlada Republike Srbije je 1992. godine usvojila Program unapređenja kvaliteta u Srbiji i donela Deklaraciju o politici kvaliteta. Pored ostalog, u deklaraciji se navodi da kvalitet, koji podrazumeva svetsku klasu kvaliteta proizvoda i usluga, predstavlja najznačajniji razvojni prioritet u Republici Srbiji. Unapređenje kvaliteta postaje prioritetni zadatak ne samo menadžmenta, već i državnih organa, obrazovnih i naučnih institucija, privrednih, profesionalnih i strukovnih asocijacija, sredstava informisanja, kao i političkih partija. Sveobuhvatno uvođenje i unapređenje kvaliteta treba da doprinese ostvarivanju ukupnog poboljšanja kvaliteta života, što podrazumeva poboljšanje životnog standarda, zaštitu životne sredine, kao i zaštitu zdravlja i bezbednosti.

Ključ ovih promena je u suštinskim promenama shvatanja pojma kvaliteta i težnji ka totalnom upravljanju kvalitetom (Total Quality Management – TQM). I u oblastima za koje se nije ni pretpostavljalo da postoje potencijali poboljšanja, kao što su crkva, obrazovanje, neprofitabilne asocijacije, zdravstvo, itd., danas se primenom pristupa TQM ostvaruju neverovatna poboljšanja. U svim razvijenim zemljama političari na najvišim nivoima i zvanične državne industrije, shvataju značaj promena koje se dešavaju i stvaraju uslove da njihove kompanije postanu bolje u odnosu na konkurenciju, kako bi opstale na tržištu i time stvorile povoljne uslove za unapređenje zemlje.

Najčešće definicije kvaliteta su: kvalitet je udovoljavanje zahtevima (Crosby), kvalitet je želja kupaca (Feigenbaum), kvalitet znači proizvoditi bez grešaka (Ishikawa), klijenti su istinske sudije o našem kvalitetu (Billinger), itd. Iz navedenog se može zaključiti da je kvalitet usaglašenost sa zahtevima i očekivanjima internih i eksternih kupaca u svim područjima preduzeća, kako za proizvode tako i za usluge. Prema ISO 8402 kvalitet je celokupnost karakteristika nekog entiteta (proizvod, usluga, proces, organizacija) koje se odnose na njegovu sposobnost da zadovolji iskazane potrebe i potrebe koje se podrazumevaju.

Preduzeće koje želi da ispuni želje kupaca mora da ima implementiran sistem upravljanja kvalitetom. Sistem kvaliteta predstavlja promene u organizaciji, dokumentaciji, procesima i motivaciji zaposlenih, u svim funkcijama i delovima preduzeća. Nova poslovna filozofija, koja se zasniva na restruktuiranju organizacionog, vlasničkog, kadrovskog, upravljačkog, tehničko-tehnološkog i menadžment nivoa poznata je pod nazivom reinženjering (Reengineering). Reinženjering predstavlja revoluciju u organizovanju poslovnih procesa i znači prestruktuiranje (ponovo definisanje) poslovnih procesa, tako da oni omoguće dobijanje maksimalne vrednosti za kupce, uz očuvanje interesa vlasnika organizacije, njenog menadžmenta, zaposlenih, dobavljača i društva u najširem smislu. Sve promene obavljaju se radi postizanja poslovne izvrsnosti i orijentisane su na kupce (eksterne i interne), poslovno-proizvodne procese, kontinualno unapređenje, unapređenje sposobnosti i zadovoljstva zaposlenih i menadžment tima, brigu za okolinu u kojoj organizacija egzistira, itd.

Sve promene mora da prati informatička integracija preduzeća. Smatra se da je Computer Integrated Manufacturing (CIM) filozofija osnova informatičke integracije. To je strategija koja omogućuje povezivanje svih internih ili eksternih funkcija, odnosno područja preduzeća. U okviru CIM koristi se tehnologija informacionog sistema sa ciljem da se ovi zadaci integrišu u ciljeve preduzeća i proizvodnje, koji su u osnovi ovih zadataka. Ako se CIM stručno implementira, time se znatno povećava produktivnost, realnost troškova i odgovornost čitavog preduzeća. CIM treba da omogući osiguranje i razvoj udela na tržištu, odnosno ispunjavanje strateških ciljeva kao što su: brzo reagovanje na promjenljive zahteve tržišta, što podrazumeva ponude prema zahtevima tržišta, brze i pouzdane realizacije usluga, brze realizacije pripremljenih aktivnosti (brza obrada i predaja informacija – proračuni, organizacija, dokumentacija i sl.); izdavanje zadataka svim učesnicima u procesu realizacije; kontinuirano praćenje pokazatelja kvaliteta realizacije, bilansiranje i pravovremeno preduzimanje eventualnih korektivnih mera; brza izrada završnih obračuna, proračun i grafički prikaz konačnih pokazatelja, bilansiranje i sl.; minimiziranje troškova, postizanje konkurentskih cena i sl.; obezbeđenje zadovoljstva korisnika usluga, obezbeđenje zadovoljstva zaposlenih, itd. [1].

Uvođenje sistema kvaliteta, informatička integracija, reinženjering i slično vode ka totalnom kvalitetu, koji se može definisati kao „menadžment pristup sa kontinualnim unapređenjem procesa za kvalitet generičkih proizvoda u poslovnom sistemu, koji se zasniva na dugoročnoj strategiji, koja će obezbediti duboke korene u organizaciji, vrednostima, kul-

turi, strukturi, poslovnoj politici, procesima, procedurama i praksi, radi postizanja svetske klase kvaliteta i zadovoljenje zahteva kupaca“ [2].

Primena standarda QS 9000 – garancija visokog nivoa inherentnog kvaliteta motornih vozila

Tri velike kompanije severnoameričke automobilske industrije (General Motors, Chrysler, Ford), poznate pod nazivom „velika trojka“, razvile su model sistema kvaliteta QS 9000 – „Zahtevi za sistem kvaliteta“, na osnovu rada zajedničke grupe, od 1988. do 1994. godine, kada je standard usvojen. Cilj uvođenja ovog modela je: uspostavljanje sistema kvaliteta kao osnove za kontinualna unapređenja kvaliteta, sa posebnim naglaskom na prevenciju problema i smanjenje varijacija gubitaka u lancu snabdevača. Ovi standardi definišu zahteve za sistem kvaliteta, koje kompanije „velike trojke“ postavljaju pred svoje dobavljače, a krajnji cilj je zadovoljavanje zahteva kupaca. Na taj način pokrenut je, kod nekoliko hiljada dobavljača, lanac usklađivanja njihovih sistema kvaliteta sa zahtevima iz modela QS 9000. Krajem 1996. godine izašao je QS-TE (Quality Sistem – Tooling and Equipment), poseban dodatak modelu sistema kvaliteta QS 9000. Cilj ovog dodatka je uspostavljanje modela kontinualnih poboljšanja, smanjenje grešaka i otkaza, smanjenje varijacija procesa, smanjenje škarta u lancu dobavljača za oblast alata, opreme i pomoćnih pribora koji se koriste u proizvodnji komponenata i delova za automobilsku industriju.

U drugoj polovini 1997. godine evropska automobilska industrija (BMW,

Fiat, Iveco, Mercedes-Benz, Opel, Citroen Renault, Volkswagen, PSA-Peugeot...) prihvatila je standarde QS 9000.

Osnova standarda QS 9000 je model ISO 9001 iz 1994. godine, koji je proširen specifičnim zahtevima koji se odnose na auto industriju. Zahtevi QS 9000 posebno su izraženi (značajno kompleksniji) u sledećim elementima: odgovornost rukovodstva, kontrola projekta, kontrola dokumentacije, kontrola procesa i kontrola opreme za kontrolisanje, merenje i ispitivanje. Primera radi, neki elementi standarda su [3]:

- isporučilac mora da dokumentuje tendencije u kvalitetu, operativnom radu (u pogledu produktivnosti, efikasnosti, korisnosti) i tekuće nivoe kvaliteta za ključne proizvode i usluge. Oni se moraju uporediti sa konkurentskim tendencijama ili odgovarajućim reperima;

- isporučilac mora da dokumentuje proces kojim ispituje zadovoljstvo kupca, uključujući učestalost odlučivanja i osiguranje objektivnosti i validnosti. Tendencije u zadovoljenju kupca i glavni pokazatelji nezadovoljstva kupca moraju se dokumentovati i podržati objektivnim informacijama. Ove tendencije moraju se uporediti sa konkurentskim ili odgovarajućim reperima;

- isporučilac mora da ima Priručnik o planiranju višeg kvaliteta proizvoda i Kontrolni plan. Takođe, mora da koristi FMEA proces radi smanjenja rizika;

- isporučilac mora da ima odgovarajuće resurse i kapacitete da bi mogao da primeni projektovanje proizvoda, inženjering i analizu pomoću računara. Sistemi CAD i CAE moraju da budu sposobni za dvostrani interfejs sa sistemima kupca;

- tamo gde kupac ima odobrenu listu podugovarača, isporučilac mora da

kupi odgovarajuće materijale od podugovarača sa liste;

- problemu kontrole procesa proizvodnje posvećena je posebna pažnja. Osnova je u primeni preventive i sprečavanju pojave grešaka. Naime, isporučilac mora da odredi glavnu opremu procesa i da obezbedi odgovarajuće resurse za održavanje mašina i opreme, kao i da razvije efikasan sistem potpunog preventivnog održavanja.

Primena standarda kvaliteta u sistemu održavanja motornih vozila

Motorna vozila su osnovna sredstva rada svih organizacija koje pružaju usluge transporta roba ili putnika. Tehničko stanje transportnih sredstava ima direktan uticaj na nivo kvaliteta usluga. Zadatak svakog sistema održavanja transportnih sredstava jeste da obezbedi potreban broj transportnih sredstava u broju i ritmu koji zahtevaju podsistemi proizvodne eksploatacije, transportne jedinice i sl., uz racionalne troškove. Tehničko stanje transportnih sredstava treba da bude na takvom nivou da u predviđenom vremenu i uslovima eksploatacije obezbedi pouzdanu realizaciju svih transportnih zadataka. Može se reći da najveći deo sadašnjih sistema održavanja ne daje očekivane izlazne rezultate. Najčešće se uz visoke troškove ne ostvaruju potrebni pokazatelji raspoloživosti i eksploatacione pouzdanosti transportnih sredstava. Šta treba uraditi da bi se ovakvo stanje prevazišlo?

Uvođenje sistema kvaliteta, prema seriji standarda ISO 9000, jedan je od prvih nužnih koraka koje treba učiniti i koji treba da promeni prevaziđena razmišljanja o pojmu kvaliteta i rešavanju problema održavanja motornih vozila. Či-

njenica je da se danas u svetu rešenja traže samo na taj način. Procenjuje se da danas postoji oko 150 000 izdatih sertifikata ISO 9000, a očekuje se da će na kraju ovog milenijuma taj broj biti 1,5 milion koji će obuhvatiti 90% svetskog bruto proizvoda [2]. U Jugoslaviji je, takođe, određeni broj firmi obezbedio sertifikate (70 preduzeća do 10. 05. 1997. [3]) a time i osnovne preduslove za poslovanje sa razvijenim svetom.

Međutim, osnovni preduslov za uvođenje sistema kvaliteta je obezbeđenje ambijenta za kvalitet (što, pored ostalog, podrazumeva i stvaranje nove organizacione kulture – sistema pretpostavki, verovanja, vrednosti i normi ponašanja za rešavanje problema održavanja motornih vozila na novim osnovama), kako na nivou države, tako i na nivou radne organizacije. Ambijent je u svetu stvoren, ostaje da se on stvori i u pojedinim državama koje to još nisu učinile. Za uspešnu realizaciju novog koncepta kvaliteta neophodna je moderno organizovana država, sa slobodnim tržištem, motivisanim vlasnicima preduzeća, sa visokim nivoom kulture kvaliteta. U takvim uslovima kvalitet je prevashodan za menadžment, jer se, u uslovima slobodnog i otvorenog tržišta, odnosno konkurencije u kojoj pobeđuju najbolji, tržište osvaja pomoću kvaliteta proizvoda i stvara motivacija za unapređenje kvaliteta proizvoda i usluga u kompaniji. To znači da je monopol prvi „smrtni“ neprijatelj za kvalitet i da u državi autarhičnog, izmonopolizovanog i socijalizovanog privredivanja i najbolji menadžment teško može da istraje, zbog velikih otpora u poslu realizacije novog koncepta kvaliteta. U vezi s tim J. M. Juran kaže: „Može se i ne uspeti u poslu, iako je kvalitet proizvoda dovoljno visok. Međutim, ne može

se voditi posao ako je kvalitet nizak, osim ako neko ima monopol“.

U ovom radu dati su neki elementi sistema kvaliteta u oblasti održavanja transportnih sredstava, koji se tiču suštinskih zahteva standarda serije ISO 9000 i QS 9000: unapređenje poslovnih procesa, merenje kvaliteta i stalno unapređenje kvaliteta.

Poslovni aspekti kvaliteta realizuju se stalnim unapređenjem poslovnih procesa, odnosno kvalitet proizvoda je posledica (rezultanta) kvaliteta poslovnih procesa. Zbog toga prioritet treba da imaju *unapređenja poslovnih procesa*. Pod pojmom proces podrazumeva se niz operacija u kojima se neki ulaz – input (informacije, materijal i sl.) pretvara u određeni izlaz (output) u obliku raznih vrsta roba ili usluga. Skoro svaka organizovana aktivnost može se posmatrati kao proces koji se realizuje radi zadovoljenja internih ili eksternih kupaca. Svako u organizaciji je deo celog procesa koji vodi do finalnog kupca i svaka sekvenca akcija može se svesti na seriju manjih procesa.

Merenje kvaliteta. Prema novom, savremenom shvatanju kvaliteta svi poslovi se mogu i moraju meriti. Merenjem se dobija prikaz tekućih i potencijalnih problema zbog neudovoljavanja zahtevima, na način koji omogućuje objektivno ocenjivanje i korektivne akcije. Merenjem se dobijaju informacije o tome da li se u realizaciji procedura postiže napredak i koliki je. Postoje ukorenjena mišljenja da se neki poslovi ne mogu meriti. Po mnogima je kvalitet neopipljiv, pa prema tome i nemerljiv. Postoji bezbroj načina za merenje svake procedure. Činjenica je, naime, da se i za poslove za koje se kaže da su nemerljivi vrši gradacija zaposlenih, od onih koji ih veoma dobro realizuju, do onih koji nikako ne zadovo-

ljavaju. To znači da se i takve procedure mere. Prema Crozbiju kvalitet se može precizno meriti uz pomoć najstarije i najpoštovanije mere – hladnoćom čvrstog novca. Kvalitet se može meriti cenom koja se javlja kao trošak neudovoljavanja zahtevima kupaca, odnosno koji nastaje kada se procesi proizvodnje ili usluga loše realizuju (posledica koja nastaje ako se stvari „odmah, prvi put, ne učine bez grešaka“, što podrazumeva nedostatak preventive u projektovanju i realizaciji procesa i ponavljanje grešaka).

Merenje kvaliteta je efikasno samo ako se obavlja na način koji daje razumljive informacije koje se mogu upotrebiti. One treba da ukazuju na ozbiljnost, uzrok i odgovornost. Način prikazivanja rezultata merenja mora biti jasan, grafički prikazan i dostupan svima.

Stalno unapređenje kvaliteta. Osnovno pravilo poboljšanja kvaliteta jeste da je uvek moguće poboljšati kvalitet uz istovremeno smanjivanje troškova. Stalno poboljšavanje kvaliteta proizvoda i usluga je nužno zbog eksternih zahteva u pogledu kvaliteta koji se stalno povećavaju. Stalnim unapređenjem kvaliteta obezbeđuje se konkurentnost na tržištu.

Stalno unapređenje kvaliteta postiže se i analizom uočenih grešaka, izvlačenjem adekvatnih pouka i traženjem efikasnih korektivnih mera. Na taj način čine se koraci ka realizaciji slogana „Uradi ispravno zadatak iz prvog puta“. Prema Juranu stalno unapređenje kvaliteta treba da bude način života. Organizacija se može transformisati vremenom samo pod uticajem nekoliko desetina i stotina malih poboljšanja. Stalno unapređenje kvaliteta, zapravo, znači anuliranje ponavljanja grešaka [4] i kontinuirano traženje boljih rešenja.

Konkretno, uvođenjem sistema kvaliteta i informacione integracije, odnosno reinženjeringom jedne transportne organizacije realno se mogu očekivati određeni efekti.

Upravi (top menadžmentu) preduzeća omogućuje se, pored ostalog, donošenje pravovremenih poslovnih odluka kojima se realizuje ciljna funkcija sistema. Na ovom nivou se, za podsistem održavanja, omogućuje: definisanje zahteva za potrebne nivoe učinka, transportnih kapaciteta i raspoloživosti, odnosno odobravanje nivoa troškova, kapaciteta radionica, kadrova, zaliha rezervnih delova i sl.; bilansiranje planiranih i realizovanih vrednosti učinka sistema održavanja, karakteristika eksploatacionih pouzdanosti, troškova održavanja, dostignutog kvaliteta transportnih sredstava i sl.; definisanje korektivnih mera, itd. Na taj način ispunjavaju se osnovni zahtevi serije standarda ISO 9000, za donošenje odluka na osnovu pouzdanih informacija, upravljanje procesima i stvaraju uslovi za kontinuirano usavršavanje podsistema održavanja.

Na nivou menadžmenta podsistema održavanja projektuje se i usavršava program preventivnog održavanja vozila svih konstrukciono-tehnološko-eksploatacionih (KTE) grupa, projektuje organizacija rada, tehnologija preventivnog održavanja i opravki, optimizacija zaliha, kapacitet radionica i pogona, itd. Svi neophodni resursi se sa tehničko-tehnološkom bazom projektuju na osnovu informacija o broju transportnih sredstava, njihovih (KTE) svojstava, uslova eksploatacije, izabrane strategije preventivnog održavanja i opravki i sl. Projektovanje i usavršavanje programa preventivnog održavanja jedan je od najznačajnijih procesa. On treba da omogućući maksimalnu primenu

preventive (odlaganje i sprečavanje pojave otkaza) u procesu eksploatacije transportnih sredstava. Kod projektovanja pogona za tehničko održavanje i opravke potrebne su informacije o uslovima upotrebe (opterećenje, putni, topografsko-klimatski uslovi, kvalitet vozača i sl.), intenzitetu eksploatacije, tehnologiji održavanja i opravki, itd. Bitno je napomenuti da se sve aktivnosti na nivou tehničke eksploatacije moraju vremenski usklađivati sa vremenskom funkcijom odvijanja osnovnog procesa celine transportnog sistema.

Projektovanje i kontinuirano usavršavanje programa održavanja jedan je od najznačajnijih zadataka. U okviru CIM koncepta realizuje se u CAD (Computer Aided Design – računarom podržano projektovanje) modulu. Kvalitetnom realizacijom programa održavanja – projektovanog prema savremenim postavkama teorije održavanja, sa optimalnim odnosom preventivnih aktivnosti i opravki, i uz korišćenje baza znanja i podataka o svim relevantnim faktorima inherentne pouzdanosti, eksploatacije, održavanja, itd., kao i realnim ograničenjima, sigurno se mogu ostvariti postavljeni osnovni ciljevi: visok nivo raspoloživosti tehničkih sistema, kao i visok nivo učinka podsistema održavanja u datim uslovima (ograničenjima), uz racionalne troškove finansijskih sredstava, vremena i dr. Zbog toga proces usavršavanja programa (režima) održavanja treba da bude kontinuiran. To podrazumeva stalno kritičko preispitivanje režima održavanja i traženje novih rešenja koja programe približavaju optimumu u datim uslovima i ograničenjima, odnosno realnim uslovima.

Jedan od mogućih pristupa projektovanju programa održavanja sastoji se od sledećih koraka:

- definicija konstrukciono-tehnološko-eksploatacionih grupa (KTEg);
- dekompozicija tehničkih sistema iz KTE grupa (sistemi, uređaji, sklopovi, tribomehanički sistemi, spregovi, elementi, površine);
- istraživanje zakonitosti razvoja degradacionih procesa, što podrazumeva: diferencijaciju kontinuiranih i iznenadnih otkaza, analizu inherentne pouzdanosti i programa proizvođača za upravljanje tehničkim stanjem elemenata, analizu procesa degradacije tehničkog stanja u tribomehaničkim sistemima (definisanje elemenata sistema i analiza njihovih svojstava, analiza svojstava mikro i makrosredine, analiza interakcije između elemenata, analiza ulaznih faktora – uslova rada, definisanje relevantnih kinematičkih, dinamičkih, toplotnih i drugih faktora koji imaju dominantan uticaj na intenzitet razvoja degradacionih procesa, analiza izlaznih faktora, analiza otpora trenja, oštećenja i propratnih procesa, itd.), definisanje funkcije prelaza;
- istraživanje karakteristika slučajnog procesa promene tehničkog stanja tribomehaničkih sistema, što podrazumeva: analizu uslova eksploatacije tehničkih sistema; analizu slučajnih procesa promene tehničkog stanja; (definisanje graničnih vrednosti parametara tehničkog stanja; izbor tipa slučajnog procesa; određivanje karakteristika slučajnog procesa; određivanje zakona raspodele stanja u izabranim trenucima $f_i(u, t)$; određivanje zakona raspodele vremena rada do otkaza $f(t, u_g)$, karakteristika raspodele između otkaza, itd.);
- izbor optimalnih strategija održavanja (definisanje kriterijuma i ograničenja, analiza mogućnosti raspoložive opreme, kadrova i sl., komparativna analiza efekata primene periodične preventivne zamene elemenata, održavanja prema teh-

ničkom stanju, održavanja prema nivou pouzdanosti, itd., definicija postupaka preventivnog održavanja i sl.);

- definicija nivoa realizacije preventivnog održavanja i opravki;
- praćenje realizacije programa održavanja. Pokazatelji su definisani standardom IEC 50(191) [5].

Pokazatelji kvaliteta transportnih usluga i eksploatacione pouzdanosti transportnih sredstava, detaljno su razmatrani u [6];

- komparativna analiza projektovanih i realizovanih pokazatelja;
- projektovanje korektivnih mera.

Svaka od navedenih faza projektovanja programa održavanja veoma je složen proces. Za realizaciju tih koraka nužni su podaci iz mikro i makrookruženja, baze znanja, podaci iz eksploatacije u realnim uslovima, rezultati istraživanja iz razmatranih oblasti i slično. Zato je nužna primena CIM strategije koja omogućava horizontalnu i vertikalnu integraciju u preduzeću, odnosno, obezbeđenje informacija iz procesa realizacije proizvodnje ili usluga za sve nivoe.

Navedene aktivnosti zasnivaju se na integraciji poslovnih i inženjerskih aktivnosti, na bazi softverske i hardverske podrške, kao i na primeni baza znanja (ekspertske sisteme), mašinskog učenja, i sl.

Na nivou pogona upravlja se procesima praktične realizacije planova i programa preventivnog održavanja i opravki. Posebno je značajno da se na ovom nivou, kao mestu neposredne realizacije procesa dijagnostike, preventivnog održavanja, rasklapanja, opravki i provere kvaliteta funkcionisanja sistema transportnih sredstava generišu podaci značajni za procese projektovanja, planiranja i bilansiranja na svim nivoima. U tom smislu veoma je značajno da se svi relevantni podaci pouzdano beleže u trenucima nastajanja i

skladište u projektovanim bazama podataka. Na ovom nivou se svakodnevno i u dužim intervalima (nedeljno, mesečno) obavlja bilansiranje planiranih i realizovanih pokazatelja (učinka pogona, odeljenja, radnika, stepena iskorišćenja vremena, kvaliteta rada i sl.) i donose argumentovane odluke za usavršavanje procesa održavanja i opravki vozila.

Zaključak

U svetu je praktično dokazano da se primenom standarda kvaliteta, reinženjeringom organizacije i poslovnih procesa, kao i informatičkom integracijom preduzeća može povećati kvalitet proizvoda i usluga uz smanjenje troškova. Nema opravdanih razloga da se zahtevi standarda ISO 9000 ne primenjuju i u procesima održavanja motornih vozila.

U ovom radu su predložena samo neka rešenja problema upravljanja tehničkim stanjem motornih vozila u procesu eksploatacije, čijom se implementacijom mogu rešiti, po mišljenju autora, vrlo značajni problemi održavanja i ispuniti osnovni zahtevi standarda - unapređenje poslovnih procesa, merenje kvaliteta i stalno unapređenje kvaliteta održavanja.

Literatura:

- [1] Stoilković, V.: CIM strategija preduzeća, CIM College Niš, BIPIF Beograd, 1993.
- [2] Majstorović, V.: Osnove menadžmenta totalnim kvalitetom, 23. Godišnja JUSK konferencija, Beograd, 22-24. maj 1996. (str. 150-155).
- [3] Stoilković, V., Veljković, B.: TQM modeli izvrsnosti, QS 9000, CIM College i Mašinski fakultet, Niš, 1995.
- [4] Vujanović, N.: Postavljanje sistema kvaliteta prema zahtevima serije standarda JUS ISO 9000, FIRASO, Beograd, 1994.
- [5] Internacional standard, Vocabulary, Chapter 191: Dependability and quality of service, IEC, First edition, 1990-12.
- [6] Radovanović, V., Filipović, S., Stanković, R.: Primena međunarodnih standarda u sistemskoj analizi kvaliteta transportnih usluga, Tehnika - saobraćaj, 1996.
- [7] CIM - Computer Integrated Manufacturing, Band 14, Spiegel Verlag, Heidelberg, 1987.

Mr Milan Radulović,
potpukovnik, dipl. inž.
Tehnički opitni centar KOV,
Beograd

RHB ZAŠTITA REMONTOVANIH BORBENIH I NEBORBENIH VOZILA*

UDC: 623.437.4:[623.454.86+623.458/.459]

Rezime:

U radu su prikazani elementi za izbor nivoa zaštite u borbenim i neborbenim vozilima, kao i metode za ispitivanje ključnih karakteristika koje se koriste za ocenu kvaliteta filtera kolektivne zaštite (FKZ).

Ključne reči: zaštita, aerosoli, otrovi, filteri, vozila.

NCB PROTECTION OF OVERHAULED COMBAT AND LOGISTIC VEHICLES

Summary:

Elements for selecting levels of NCB protection of combat and logistic vehicles are shown. The methods for testing key characteristics which are used for evaluating quality of FCP (filter collective protection), are presented as well.

Key words: protection, aerosols, poisons, filters, vehicles.

Uvod

Arsenal strategijskog i taktičkog naoružanja u svetu predstavlja realnu opasnost po čovečanstvo, o čemu govore i najnovija iskustva iz rata u Bosni. Hemijsko ratovanje je surova realnost svih ratišta. Zalihe hemijske municije u arsenalima velikih armija iznose i do 25% od ukupne količine municije [2]. Upotreba bioloških sredstava takođe je realnost, sa velikom verovatnoćom upotrebe u miru i ratu. Na žalost, to je privilegija velikih i moćnih armija. Velika verovatnoća upotrebe sredstava za masovno uništavanje

(RHB sredstava) u eventualnom budućem ratu daje zadatak odbrani od ovih sredstava, odnosno primenu RHB zaštitnih sredstava.

Poseban značaj ima obezbeđenje sredstava za RHB zaštitu u borbenim i neborbenim vozilima koja se, po svojoj nameni, mogu naći u prostoru gde će biti upotrebljena sredstva za masovno uništavanje.

Do pre desetak godina kod nas je pridavana velika važnost razvoju i proizvodnji elemenata za zaštitu od RHB oružja. Pri tome su korišćena najsavremenija rešenja zemalja članica Varšavskog ugovora i NATO. Takav pristup je napušten, tako da danas postoji veliki broj borbenih i neborbenih vozila u upotrebi bez ikakve RHB zaštite.

* Rad je saopšten na savetovanju „Ispitivanje upotrebnog kvaliteta mototehničkih sredstava i ocena generalnog remonta“, 08. 12. 1998. u Beogradu.

Ukoliko na remont dolazi vozilo u kojem postoji određen nivo zaštite, neophodno je ispitati sve ključne elemente, tj. oceniti njihovu pouzdanost. Kod vozila kod kojih nema sistema za RHB zaštitu potrebno je oceniti koji je optimalni nivo zaštite i iznaći mogućnost za njegovu ugradnju.

Ovaj rad ima za cilj da naznači ključne elemente za izbor nivoa zaštite, i da prikaže osnovne metode za ocenu pouzdanosti filtera kolektivne zaštite, koji predstavljaju vitalne elemente u sistemu zaštite.

RHB zaštita borbenih i neborbenih vozila

Uslovi u kojima se planiraju i izvode savremena borbena dejstva zahtevaju visok stepen pokretljivosti jedinica, a naročito jedinica združenog sastava. Ova pretpostavka podrazumeva masovnu upotrebu vozila, borbenih i neborbenih. Uz realno moguću primenu sredstava za masovno uništavanje neophodno je obezbediti adekvatnu zaštitu radi očuvanja sposobnosti ljudstva za izvršenje borbenih zadataka, komandovanje i rukovođenje.

Zaštita ljudstva u vozilima može se obezbediti:

- korišćenjem ličnih zaštitnih sredstava,
- ugradnjom filtroventilacionog uređaja (FVU),
- ugradnjom sistema za kompleksnu RHB zaštitu.

Pri odlučivanju koji vid zaštite će biti primenjen moraju se uzeti u obzir sledeći elementi:

- taktički zahtevi za vozilo,
- tehničke performanse vozila,
- ekonomska snaga vojske, odnosno zemlje,

- stepen razvijenosti tehnologija za proizvodnju sistema za RHB zaštitu.

Najjeftiniji vid zaštite je korišćenje ličnih zaštitnih sredstava. To se primenjuje u slučajevima kada treba obaviti kratkotrajne zadatke, ne baš precizne, koji ne zahtevaju visok nivo borbene i radne sposobnosti. Neophodno je znati da upotreba samo zaštitne maske smanjuje psihofizičke sposobnosti čoveka do 30%, što znači da je u istoj meri smanjena borbena i radna sposobnost [3].

Ugradnjom FVU u vozila, postiže se:

- potpuna zaštita ljudstva od RHB kontaminanata,
- zaštita opreme i tehnike koja se nalazi u zaštićenom prostoru,
- duži boravak u kontaminiranoj atmosferi a da pri tome ne dođe do bitnijeg umanjenja borbene i radne sposobnosti ljudstva.

Razvoj filtroventilacionih uređaja i njihova ugradnja postoji već više od 20 godina u svim većim armijama sveta. Poslednjih desetak godina razvijene armije opremaju svoja borbena i neborbena vozila sistemima za kompleksnu RHB zaštitu, koji obuhvataju [1]:

- podsistem za radiološko-hemijsko izviđanje,
- podsistem za zaštitu očiju od efekata laserskog zračenja i svetlosnog bleška nuklearne eksplozije,
- podsistem za dekontaminaciju,
- filtroventilacioni uređaj,
- opremu za upravljanje izvršnim mehanizmima i izvršne mehanizme,
- zaštitu od vazdušno-udarnog talasa i toplotnog dejstva.

Princip rada sistema za kompleksnu zaštitu zasniva se na kontinualnom radu svih podsistema. Time se obezbeđuju sve funkcije, od RH izviđanja do uključenja FVU u zaštitni režim rada, odnosno,

njegovo isključenje po prestanku potrebe. Ovi sistemi su veoma skupi, ali postoji potpuna opravdanost primene kod određenih kategorija vozila, tako da su u VJ primenjeni kod:

- domaćeg tenka M-84,
- komandnog vozila VKM-80 na bazi BVP-M80,
- novog domaćeg tenka NDT,
- PO lasera M-83,
- specijalnih vozila (borbenih i neborbenih).

Ispitivanje filtera za RHB zaštitu na remontovanom vozilu

Zahtevi za sisteme RHB zaštite u remontovanim vozilima moraju biti istovetni kao da se radi o novom vozilu. To znači da, zbog osetljivosti njihove name- ne, ne sme ni jedna karakteristika degradirati, tj. svi elementi sistema moraju imati početnu pouzdanost. Pored ispitivanja pouzdanosti svih podsistema, veoma je bitno da se proverí hermetičnost zaštićenog prostora. Ovo je osetljivo zbog starenja materijala kojima se obezbeđuje hermetičnost prostora. Potpunom hermetizacijom jedino je moguće obezbediti potreban nivo natpritisaka. Kada se radi o vozilima, zahtevi za natpritisak su dva do tri puta veći nego za stacionarne objekte. Zahtevi za veličinom natpritisaka su različiti od vozila do vozila i kreću se od 150 Pa do 500 Pa, što direktno zavisi od brzine kretanja vozila i brzine vetra.

Posebna pažnja pri ispitivanju mora da se posveti vitalnim elementima zaštite, a to su protivaerosolni (PA) i protivparni (PP) filteri, odnosno, ako čine celinu, to je filter kolektivne zaštite (FKZ).

Značaj ovih elemenata je veliki tako da, ukoliko oni otkažu, ceo sistem je van funkcije, što ne važi za ostale delove

sistema. Ova konstatacija nameće potrebu da se prikažu osnovne metode za merenje parametara koji služe za ocenu pouzdanosti FKZ [4].

Parametri koji se ispituju su:

- efikasnost PA filtera,
- otpor PA i PP filtera (ili FKZ),
- vreme zaštite PP filtera.

Efikasnost filtera predstavlja meru sposobnosti uklanjanja kontaminanta iz vazduha koji je u obliku aerosola. Zahtev za efikasnost PA filtera je da ne sme biti manja od 99,995%. Linija za ispitivanje efikasnosti prikazana je na slici 1.

Suština ovog ispitivanja je u tome da se filter opteretí tačno određenom koncentracijom generisanog aerosola (DOP, PM ili NaCl), a merenjem se evidentira i količina aerosola koja prođe kroz filter. Na osnovu izmerene ulazne (C_u) i izlazne koncentracije (C_i) proračunava se propustljivost, odnosno efikasnost filtera.

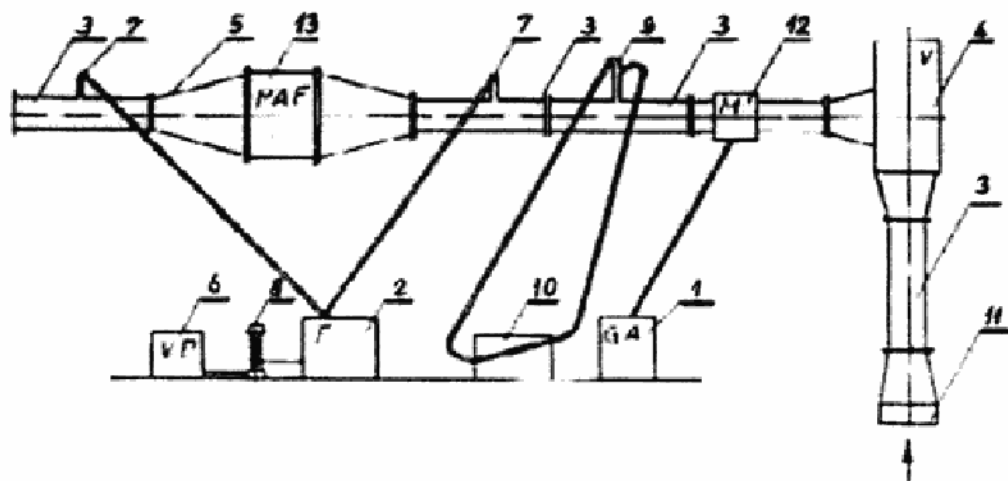
Vreme zaštite PP filtera, odnosno filtera za kolektivnu zaštitu, određuje se njegovim opterećenjem kontaminiranim vazduhom (najčešće fozgen 2,5 ili 5%).

Za proračun vremena zaštite koristi se srednja koncentracija i vreme do proboja filtera. Vreme proboja filtera računa se do momenta proboja, tj. pojave fozgena iza filtera. Momenat proboja se registruje određenim indikatorom.

Linija za ispitivanje vremena zaštite i otpora FKZ ili PP filtera prikazana je na slici 2.

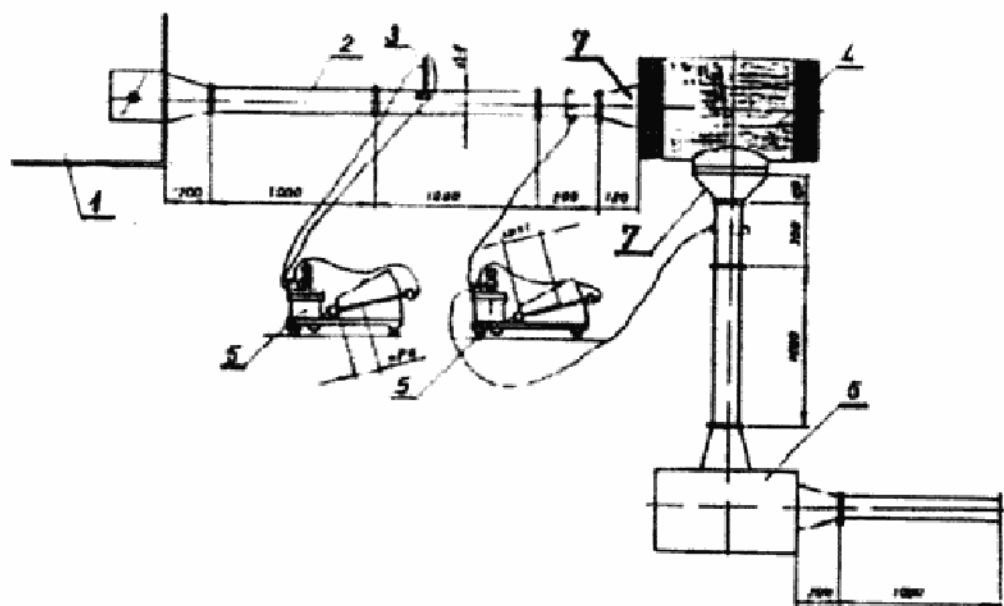
Treći parametar koji karakteriše FKZ jeste pad pritiska pri nominalnom protoku vazduha, i naziva se (za novi filter) početni otpor (DP_0), odnosno otpor filtera.

Otpor filtera u upotrebi često je merilo njegove trajnosti. Obično je filter na upotrebi dok izmerena vrednost ot-



Sl. 1 – Linija za ispitivanje efikasnosti protivaerosolnih filtera:

1 – generator aerosola, 2 – aerosol-fotometar, 3 – cev za formiranje ispitne linije, 4 – ventilator, 5 – dispozitiv, 6 – vakuumaska pumpa, 7 – sonde za uzimanje uzoraka vazduha, 8 – rotametar za vazduh, 9 – Pito-Prandtlava cev, 10 – diferencijalni manometar, 11 – filter za prečišćavanje radnog vazduha, 12 – mešać parafinske magle i vazduha, 13 – kolektivni filter koji se ispituje



Sl. 2 – Linija za ispitivanje vremena zaštite i otpora filtera:

1 – gasna soba, 2 – cevovod, 3 – Pito-Prandtlava cev, 4 – FPT 100M, 5 – kosi manometar, 6 – ventilator, 7 – prirubnica

pora DP ne dostigne vrednost koja je za 2 do 3 puta veća od početne vrednosti DP_0 .

Zaključak

Navedeni su ključni elementi koji su od vitalnog značaja za donošenje odluke o obezbeđenju RHB zaštite u borbenim i neborbenim vozilima, kao i odluke o nivou zaštite.

Date su ključne metode i parametri za ispitivanje pouzdanosti filtera kolektivne zaštite koje se primenjuju za ispitivanje novih filtera, kao i onih koji dolaze sa vozilima na remont.

Ovoj oblasti se u poslednjih deset godina kod nas ne posvećuje dovoljno pažnje, pa rad ima za cilj pokretanje diskusije i inicijative za njeno oživljavanje.

Literatura:

- [1] Bjelica, D.: Kompleksna NHB zaštita, I savetovanje, Ohrid 1988.
- [2] Minić, D., Škare, D.: Hemija bojnih otrova, centar VTŠ, KoV JNA, 1985.
- [3] Pejčić, Z.: Osnovna koncepcija i najvažniji tehnički zahtevi za RHB zaštitu pokretnih objekata, I savetovanje, Ohrid, 1988.
- [4] Radulović, M., Anđelković, R.: Provera pouzdanosti serijske proizvodnje kolektivnih filtera FPT-100 MJ, Dokumentacija VTI, 1989.

Brkić Ljubiša,
potpukovnik, dipl. inž.
VP 3001, Beograd
Docent dr Božidar V. Krstić,
dipl. inž.
Mašinski fakultet,
Kragujevac

PARAMETRI POUZDANOSTI PUMPE VISOKOG PRITISKA VOZILA SPECIJALNE NAMENE KAO OSNOVA PRI PLANIRANJU ODRŽAVANJA

UDC: 629.113-7.004.5:65.01

Rezime:

U radu je prikazana mogućnost iznalaženja optimalnog rešenja strategije održavanja pumpe visokog pritiska motornog vozila, kada se kao kriterijumske funkcije uzimaju maksimalna gotovost i minimalni troškovi održavanja. Ova dva kriterijuma dovode do različitih rešenja po pitanju strategije održavanja analiziranog sklopa motornog vozila, pa je bilo neophodno traženje kompromisnog rešenja.

Ključne reči: održavanje, pouzdanost, gotovost, troškovi održavanja, optimizacija.

PARAMETERS OF RELIABILITY OF HIGH PRESSURE PUMPS IN SPECIAL PURPOSE VEHICLES AS A BASIS FOR MAINTENANCE PLANNING

Summary:

This work presents a possibility to find the optimum solution in the maintenance of high pressure pump systems when the criteria functions are maximal availability and minimal cost maintenance. These two criterions lead to several solutions of the maintenance of high pressure pump systems therefore it was necessary to seek for a trade off solution.

Key words: maintenance, reliability, availability, maintenance costs, optimization.

Uvod

Pravilnim formiranjem modela održavanja, odnosno pravilnim povezivanjem činilaca koji utiču na sistem održavanja vozila sa odgovarajućim matematičkim relacijama, moguće je izvršiti optimizaciju, tj. izabrati najpovoljniji sistem održavanja. Sistem održavanja vozila zavisi od koncepcije, organizacije i tehnologije održavanja, što ukazuje na to da se sistem održavanja može rešiti na više načina. S obzirom na to može se postaviti pitanje: koja strategija održavanja dovodi do najpovoljnijih rezultata? Primena bilo

koje varijante strategije održavanja dovodi do određenih rezultata po pitanju karakteristika sistema održavanja (gotovost, troškovi,...).

To navodi na zaključak da je neophodno upoređivanje rezultata dobijenih primenom različitih strategija održavanja. Upoređivanje je moguće vršiti po različitim kriterijumima (prema gotovosti, prema troškovima...), što se svodi na tzv. višekriterijumski problem, koji je moguće rešiti samo ako su precizno određeni svi važni zahtevi i ograničenja, što znači da je neophodno poznavati funkciju cilja sistema održavanja koji se analizira.

Imajući u vidu navedene činjenice, u ovom radu je prikazan pokušaj razrešenja prethodno definisanog zadatka za konkretnu grupu vozila. Osnovu izložene metodologije čine parametri pouzdanosti analiziranih vozila, dobijeni na osnovu praćenja ponašanja vozila, sa aspekta pojave otkaza, u realnim uslovima eksploatacije i troškovi njihovog održavanja.

Vrste i karakteristike modela održavanja vitalnih delova motornih vozila

Ciljna funkcija sistema održavanja jeste postizanje minimalnih troškova održavanja pri optimalnom nivou raspoloživosti, odnosno gotovosti.

Sistem održavanja karakterišu brojni činioci koje je teško obuhvatiti i matematički iskazati. Optimizaciju sistema održavanja treba, pre svega, shvatiti kao traženje kompromisnog rešenja koje će biti najprihvatljivije za održavanje vozila. Analizom i optimizacijom sistema održavanja, korišćenjem odgovarajućih matematičkih modela, moguće je vozilo posmatrati kao celinu, što olakšava definisanje stepena i karaktera uticaja promenljivih parametara, kao i veza između njih. Moguće je, takođe, utvrđivanje više mogućih varijanti strategije održavanja, a samim tim i izbor najprihvatljivije varijante za date kriterijume i ograničenja.

Pri optimizaciji sistema održavanja najčešće se koriste sledeće dve mogućnosti:

- optimizacija prema gotovosti, kada najveći dozvoljeni troškovi održavanja predstavljaju ograničenje;
- optimizacija prema troškovima održavanja, kada je minimalni nivo gotovosti ograničenje.

Model održavanja mora obuhvatiti što veći broj parametara koji karakterišu

sistem održavanja, kako bi se postigli što realniji rezultati, a mora biti dovoljno jednostavan da bi se mogao primeniti.

Uglavnom, do sada razvijeni modeli održavanja imaju sledeća zajednička obeležja:

- zasnivaju se na pokazateljima pouzdanosti;
- kriterijumi za izbor najpovoljnije varijante su minimalni troškovi ili maksimalna gotovost;
- modelima održavanja se, najčešće, obuhvata koncepcija sistema održavanja.

Zavisno od obeležja modeli održavanja se razvrstavaju na: modele korektivnog, modele preventivnog i modele korektivno-preventivnog održavanja.

Modeli korektivnog održavanja daju najbolji način sprovođenja postupaka korektivnog održavanja uz što manje troškove i u što kraćem vremenu, kada dođe do otkaza.

Modeli preventivnog održavanja daju odgovor na pitanje da li je korisno primeniti preventivno održavanje i, ako jeste, odrediti posle koliko vremena treba primeniti postupke preventivnog održavanja.

Optimizacija sistema održavanja pumpe visokog pritiska

Za optimizaciju sistema održavanja neophodno je poznavanje oblika funkcije njegove pouzdanosti. Na konkretnom primeru izabranog vozila specijalne namene prikazaće se metodologija određivanja najprihvatljivijeg modela održavanja pumpe visokog pritiska.

Određivanje parametara pouzdanosti pumpe visokog pritiska

Da bi se dobili parametri pouzdanosti pumpe visokog pritiska pristupa se

Tabela 1

Vreme rada do otkaza pumpe visokog pritiska

Predeni put (km)	Vreme rada (h)	Predeni put (km)	Vreme rada (h)	Predeni put (km)	Vreme rada (h)
2 398	80	9 892	330	14 521	484
3 296	110	10 234	341	15 574	519
5 761	192	10 273	342	16 384	546
5 836	195	10 715	357	17 200	573
5 908	197	10 805	360	17 255	575
6 397	213	11 126	371	17 725	591
6 998	233	11 367	379	17 856	595
7 127	238	11 636	388	18 263	609
7 195	240	11 864	395	18 693	623
7 494	250	11 973	399	19 840	661
7 538	251	11 997	400	19 947	665
7 856	262	12 351	412	22 067	736
7 963	265	12 395	413	22 167	739
7 976	266	12 705	424	22 736	758
8 472	282	13 973	466	24 317	811
8 793	293	14 167	472	25 863	862
9 020	301	14 209	474	28 396	947
9 563	319	14 286	476		
9 870	329	14 314	477		

Tabela 2

Procenjene vrednosti pokazatelja pouzdanosti pumpe visokog pritiska

i	t _i	n(t _i)	f(t _i)	R(t _i)	F(t _i)	λ(t _i)
1.	100	2	0,000	0,9636	0,0364	0,0003
2.	200	8	0,001	0,8182	0,1818	0,0015
3.	300	12	0,002	0,6000	0,4000	0,0026
4.	400	11	0,002	0,4000	0,6000	0,0033
5.	500	8	0,001	0,2546	0,7454	0,0036
6.	600	6	0,001	0,1455	0,8545	0,0042
7.	700	4	0,000	0,0728	0,9272	0,0050
8.	800	2	0,000	0,0364	0,9636	0,0050
9.	900	2	0,000	0,0181	0,9818	0,0100

obradi podataka dobijenih u eksploataciji koji su prikazani u tabeli 1. Na osnovu tih podataka određuje se teorijski aproksimativni zakon raspodele koji se reali-

zuje u tri koraka: procena pokazatelja pouzdanosti, određivanje teorijskog modela raspodele i testiranje dobijenog modela raspodele.

Procenjene vrednosti pokazatelja pouzdanosti određene su primenom poznate metodologije [1,2,4] i prikazane su u tabeli 2.

Na osnovu odstupanja vrednosti teorijske raspodele od procenjenih vrednosti na osnovu podataka iz eksploatacije došlo se do zaključka da je Vejbulova dvoparameterska raspodela sa parametrom oblika 1,8 i parametrom razmere 450 najprihvatljivija za analizirani uzorak, što je prikazano u tabeli 3.

Tabela 3

Matematičko-statistička obrada podataka o otkazima

Test Raspodela	Kolmogorov-Smirnova: D _{max}	Test Pirsona: χ ²	Test Ro- manovskog χ ² k /√2k
Vejbulova raspodela	0,0453	0,0277	1,724
Relejeva raspodela	0,0533	0,0154	1,867
Normalna raspodela	0,0847	0,0534	1,964

Prihvatajući ovaj zakon raspodele pouzdanosti mogu se napisati izrazi za određivanje:

– funkcije pouzdanosti R(t):

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{450}\right)^{1,8}} \quad (1)$$

– funkcije gustine raspodele otkaza f(t):

$$f(t) = \frac{1,8}{450} \cdot \left(\frac{t}{450}\right)^{0,8} \cdot e^{-\left(\frac{t}{450}\right)^{1,8}} \quad (2)$$

– funkcije nepouzdanosti F(t):

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{450}\right)^{1,8}} \quad (3)$$

– funkcije intenziteta otkaza $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{1,8}{450} \cdot \left(\frac{t}{450}\right)^{0,8} \quad (4)$$

Na osnovu ovih izraza može se odrediti optimalno vreme t posle kojeg treba obavljati periodično-preventivne preglede, preventivne zamene ili generalnu reviziju, kao i raspoloživost i gotovost, i optimalne zalihe rezervnih delova pumpe visokog pritiska [1].

Optimizacija sistema održavanja pumpe visokog pritiska prema gotovosti

Optimizacija sistema održavanja vozila specijalne namene najčešće se obavlja prema kriterijumu maksimalne gotovosti, dok najveći dozvoljeni troškovi održavanja predstavljaju ograničenje. Za primenu modela održavanja na osnovu gotovosti potrebno je poznavanje zakona raspodele pouzdanosti, kao i vremena u radu i u otkazu [1,2,4].

Vrednost eksploatacione gotovosti može se odrediti korišćenjem izraza [1,2]:

$$G_e(t) = \frac{t_r + t_{cr}}{t_r + t_{cr} + t_o} = \frac{t_r + t_{cr}}{t_r + t_{cr} + t_p + \frac{F(t)}{R(t)} \cdot t_k} \quad (5)$$

gde je:

t_r – vreme u radu,

t_{cr} – vreme čekanja na rad u ispravnom stanju,

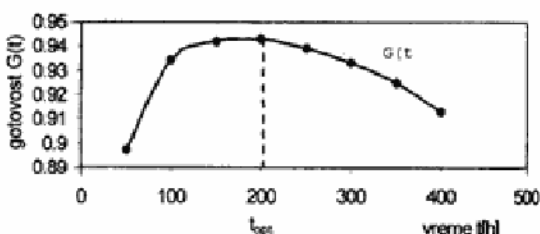
t_o – vreme u otkazu,

t_p – vreme preventivnog održavanja,

t_k – vreme korektivnog održavanja.

Ako se varira periodičnost preventivnog održavanja, koja je jednaka vremenu u radu $t = t_r$, dobija se funkcionalna zavisnost gotovosti od periodičnosti vremena između preventivnih održavanja, na osnovu koje se može odrediti periodičnost vremena preventivnog održavanja koja daje najveću gotovost.

Rezultati određivanja gotovosti za različite periodičnosti održavanja dati su u tabeli 4 i na slici 1.



Sl. 1 – Zavisnost gotovosti od periodičnosti održavanja pumpe visokog pritiska

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 4 i na slici 1 može se zaključiti da se najveća gotovost pumpe visokog pritiska dobija za periodičnost održavanja od 200 časova rada za kriterijum maksimalne gotovosti.

Optimizacija sistema održavanja pumpe visokog pritiska prema kriterijumu troškova održavanja

Pri primeni modela optimizacije kod kojeg se kao kriterijum koristi minimalna vrednost troškova održavanja, određuje se periodičnost sprovođenja postupaka preventivnog održavanja koja daje najmanje troškove, uz obezbeđenje zahtevane gotovosti.

Strategija preventivnog održavanja primenjuje se kada je intenzitet otkaza rastuća funkcija u vremenu, i kada su troškovi korektivnog održavanja veći od

Gotovost pumpe visokog pritiska za različite periodičnosti njenog održavanja

Periodičnost održavanja (h)	50	100	150	200	250	300	350	400
Vreme rada t_r (h)	50	100	150	200	250	300	350	400
Vreme prev. održ. t_p (h)	21	21	21	21	21	21	21	21
Funkcija nepouzdanosti $F(t)$	0,019	0,064	0,129	0,207	0,293	0,382	0,470	0,554
Funkcija pouzdanosti $1-F(t)$	0,981	0,935	0,870	0,792	0,706	0,617	0,529	0,445
Broj korektivnih održavanja	0,019	0,069	0,149	0,262	0,415	0,619	0,889	1,246
Vreme korektivnog održavanja	2,03	7,23	15,59	27,46	43,58	65,02	93,38	130,8
Vreme čekanja na rad t_{cr}	150	300	450	600	750	900	1050	1200
Gotovost $G(t)$	0,897	0,934	0,942	0,943	0,939	0,933	0,925	0,913

Tabela 5

Iznos ukupnih troškova održavanja pumpe visokog pritiska za različite periodičnosti njenog održavanja

Periodičnost održavanja (h)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Troš. kor. odr. C_k	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000	6 000
Troš. prev. od. C_p	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200
Pouzdanost $R(t)$	0,981	0,936	0,871	0,793	0,707	0,618	0,529	0,445	0,368
$\int R(t)dt$	50	98,6	143,8	185,4	222,9	284,6	285,8	308,9	329,2
Ukupni troškovi $C(t)$	25,82	15,31	12,66	11,84	11,70	12,16	21,64	12,71	12,86

troškova preventivnog održavanja. Tada je moguće odrediti optimalnu periodičnost održavanja [1,2,4].

Ako se ukupni troškovi održavanja pumpe visokog pritiska izraze u obliku [4,1,2]:

$$C(t) = \frac{C_k - (C_k - C_p) \cdot R(t)}{\int_0^t R(t)dt} \quad (6)$$

gde su:

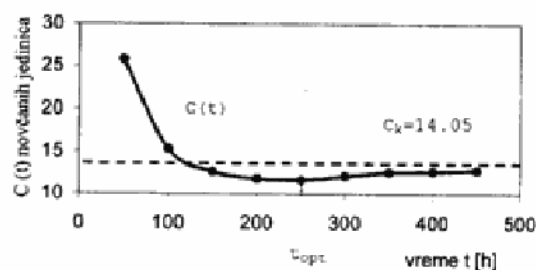
$C(t)$ – ukupni specifični troškovi,

C_p – troškovi preventivnog održavanja,

C_k – troškovi korektivnog održavanja,

za različite periodičnosti preventivnih održavanja pumpe visokog pritiska, što je prikazano u tabeli 5, dobiće se zavisnost

troškova od periodičnosti, što je prikazano dijagramski na slici 2.



Sl. 2 – Zavisnost ukupnih specifičnih troškova održavanja od periodičnosti održavanja za pumpu visokog pritiska

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 5 i na slici 2 može se zaključiti da se najmanji troškovi održavanja pumpe visokog pritiska dobijaju pri periodičnosti održavanja od 250 časova rada.

Iznalaženje kompromisnog rešenja sistema održavanja pumpe visokog pritiska

Ako su za optimizaciju sistema održavanja pumpe visokog pritiska zadati minimalno dozvoljena gotovost i maksimalno dozvoljeni troškovi, onda se traži kompromisno rešenje koje će zadovoljiti traženu gotovost, a da se pri tome ne prekorače dozvoljeni troškovi.

U potrazi za takvim rešenjem na dijagramu na slici 3 prikazane su pojedinačne zavisnosti gotovosti i troškova održavanja od periodičnosti vremena sprovođenja preventivnog održavanja.

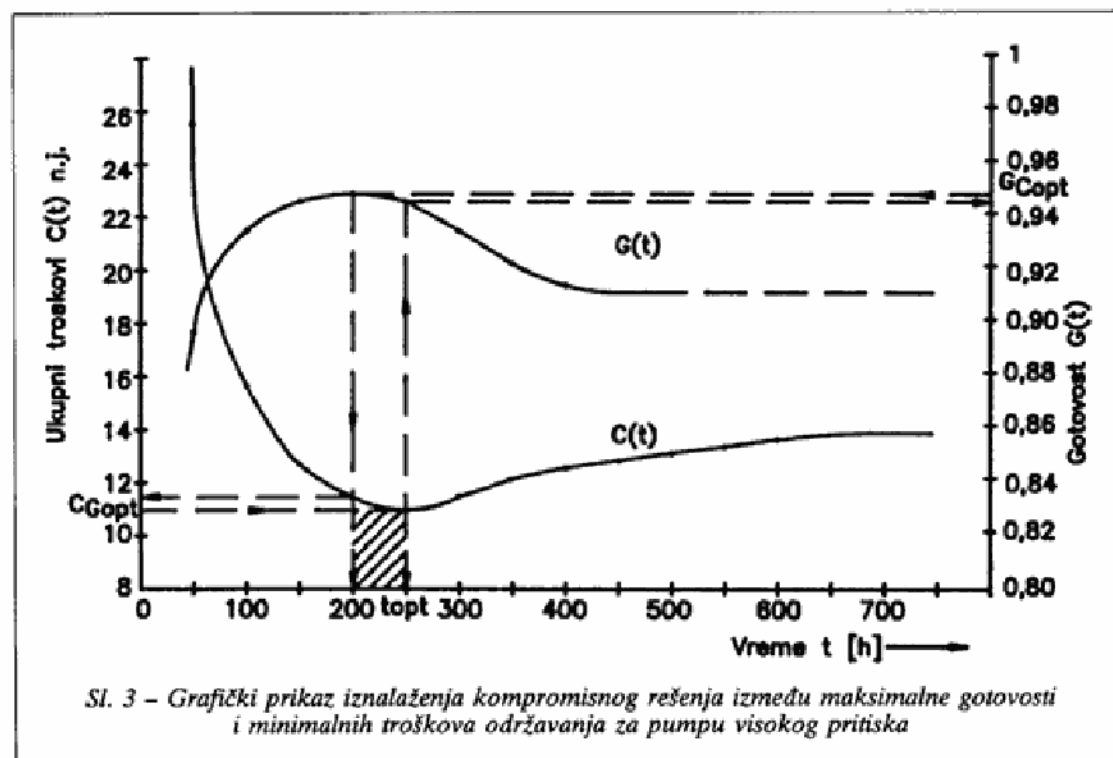
Na osnovu rezultata istraživanja optimalne periodičnosti preventivnog održavanja pumpe visokog pritiska, prikazanih na slici 3, može se zaključiti da se optimalni interval periodičnosti preventivnog održavanja pumpe visokog pritiska

analiziranog vozila, sa aspekta maksimalne gotovosti i minimalnih troškova održavanja, nalazi između 200 i 250 časova rada, a usvaja se na osnovu zadatih kriterijuma i ograničenja.

Zaključak

U radu su prikazani rezultati optimizacije sistema održavanja pumpe visokog pritiska izabranog vozila za kriterijum maksimalne gotovosti i za kriterijum minimalnih troškova održavanja.

Na osnovu rezultata istraživanja, dobijenih praćenjem 532 vozila specijalne namene u uslovima realne eksploatacije, može se zaključiti da je opravdano primeniti koncepciju preventivnog održavanja po eksploatacionom resursu sa korektivnim održavanjem samo onih delova pumpe visokog pritiska koji otkazu između dva preventivna održavanja. Time



se postiže optimalna gotovost uz najmanje troškove.

Pošto su dobijene različite vrednosti periodičnosti za maksimalnu gotovost i minimalne troškove održavanja, potrebno je usvojiti kompromisno rešenje na osnovu zadatih kriterijuma i ograničenja.

U radu su određene granične vrednosti periodičnosti za maksimalnu gotovost i minimalne troškove, koje definišu zonu u kojoj se mogu kretati prihvatljive vrednosti periodičnosti održavanja

pumpe visokog pritiska, a da pri tome ne budu prekoračene zadate vrednosti maksimalnih troškova održavanja i minimalne gotovosti, odnosno raspoloživosti.

Literatura:

- [1] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, Jugoslovensko društvo za motore i vozila, Beograd, 1993.
- [2] Krstić, B.: Eksploatacija motornih vozila i motora, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1997.
- [3] Vukadinović, S.: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1973.
- [4] Vukadinović, S., Teodorović, D.: Elementi teorije pouzdanosti i teorije obnavljanja tehničkih sistema, Privredni pregled, Beograd, 1979.

Rezime:

Problem računarske simulacije servosistema pristupa se sa stanovišta praktične i lako ostvarljive realizacije rada servosistema u virtuelnoj (računarskoj) stvarnosti. Postupak simulacije ostvaruje se korišćenjem koncepta stanja, numeričkih postupaka rešavanja diferencijalnih jednačina (metoda Runge-Kutta, primena konačnih razlika) i blok-dijagrama. Daje se jednostavan i efikasan postupak podešavanja koraka integraljenja, kojim se postiže približno jednako rastojanje tačaka hodografa stanja i izbegava porast grešaka simulacije u slučaju brzih promena izvoda veličina stanja.

Ključne reči: simulacija, servosistem, metoda Runge-Kutta, konačne razlike, računar.

CONTEMPORARY APPROACH TO COMPUTER AIDED
SIMULATION OF SERVOSYSTEMS

Summary:

The approach to the problem of computer aided simulation is based on practical and easy-to-use realization of the servosystem operation in virtual (computer) reality. The simulation procedure is performed using the concept of state, numerical methods to solve differential equations (the Runge-Kutta method, the application of finite differences) and block-diagrams. A simple and efficient procedure to tune the integration step is given, so that the approximate equidistance of the state hodograph points is achieved and the growth of simulation errors, in case of fast changes of derivatives of state variables, is avoided.

Key words: simulation, servosystem, Runge-Kutta method, finite differences, computer.

Uvod

Ukoliko je poznat matematički model servosistema u celini, odnosno ukoliko su poznati matematički modeli svih njegovih podsistema, kao i bročane vrednosti parametara koji se pojavljuju u modelima, može se pristupiti računarski podržanoj simulaciji rada servosistema. Ona predstavlja oponašanje procesa koji se dešavaju u servosistemu, pri dejstvu zadatih ulaza. Praktično, rad sistema se

ostvaruje u virtuelnoj (veštačkoj) stvarnosti, unutar računara – bez korišćenja stvarnih resursa servosistema.

Matematički gledano, računarski podržana simulacija sistema predstavlja rešavanje sistema (diferencijalnih) jednačina koje ga opisuju, za zadate ulaze i početne uslove. Ulazi sistema se zadaju kao funkcije vremena ili vremenske sekvence (serije). Ako su ulazi jednostavne funkcije (odskočna, impulsna, sinusna, linearna) jednačine sistema se u određ-

nim slučajevima mogu rešiti eksplicitno – u zatvorenom obliku. Rešenja su tada veličine stanja (i izlazi) sistema, kao funkcije vremena. U tom slučaju simulacija se svodi na jednostavno izračunavanje tih funkcija, za zadati skup diskretnih trenutaka vremena. Ovakvo rešavanje sistema diferencijalnih jednačina moguće je kada je on linearan, i u nekim (retkim) specijalnim slučajevima nelinearnih jednačina (npr. Rikatijske jednačine).

Ako sistem jednačina nije moguće rešiti u zatvorenom obliku, pomenuti način simulacije nije moguć. Tada se jednačine sistema moraju rešavati približno, nekim od mnogobrojnih numeričkih postupaka.

Matematički opis servosistema

Radi primene koncepta simulacije servosistema, on se, odnosno njegovi podsystemi, opisuje kao skup diferencijalnih jednačina prvog reda:

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(t, x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots),$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

gde su:

x_1, x_2 – veličina stanja [1],
 u_1, u_2 – ulazi servosistema.

Jednačine (1) nazivaju se jednačine stanja. Izlazi servosistema mogu biti neke od veličina stanja. U opštem slučaju, oni su funkcije veličina stanja:

$$y_i = g_i(t, x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots),$$

$$i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Poseban slučaj je linearni stacionarni analogni jednostruko prenosni servosistem [1]. On se najčešće sreće u praksi ili, bolje rečeno, njemu se najčešće pribegava zbog jednostavnosti. U slučaju ova-

kvog sistema, skupovi jednačina (1), (2) dobijaju sledeće oblike:

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots +$$

$$+ a_{in}x_n + b_i u, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$y = c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \dots + c_{1n}x_n + du \quad (4)$$

Servosistem, odnosno neki njegov podsystem, često se opisuje linearnom ulazno-izlaznom diferencijalnom jednačinom:

$$\frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 y =$$

$$b_0 u + b_1 \frac{du}{dt} + \dots + b_m \frac{d^m u}{dt^m} \quad (5)$$

ili odgovarajućom prenosnom funkcijom:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + \dots + b_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_0}$$

Da bi se ostvario koncept simulacije, potrebno je jednačinu (5) prevesti u sistem jednačina stanja (3), što se može ostvariti primenom sledećih relacija [1]:

$$x_1 = y - b_n u$$

$$x_2 = \frac{dx_1}{dt} + a_{n-1} y - b_{n-1} u$$

...

$$x_{n-1} = \frac{dx_{n-2}}{dt} + a_2 y - b_2 u$$

$$x_n = \frac{dx_{n-1}}{dt} + a_1 y - b_1 u$$

$$\frac{dx_n}{dt} = -a_0 y + b_0 x_1$$

Model (5) tada postaje:

$$\frac{dx_j}{dt} = -a_{n-j}x_1 + x_{j+1} + (b_{n-1} - a_{n-j}b_n)u, \\ j = 1, 2, \dots, n, x_{n+1} \equiv 0$$

$$y = x_1 + b_n u$$

gde je $b_j = 0$ za $j = m + 1 + 2, \dots, n$.

Numeričko rešavanje diferencijalnih jednačina stanja

Neka je servosistem (ili njegov pod-sistem) opisan sistemom jednačina (1), (2), a poznati početni uslovi $x_1(0)$, $x_2(0), \dots$, $dx_1(0)/dt$, $dx_2(0)/dt, \dots$, kao i ulazi $u_1(t)$, $u_2(t), \dots$ u toku datog trajanja simulacije. Treba rešiti sistem diferencijalnih jednačina (1). U nastavku je objašnjeno rešavanje primenom metode Runge-Kutta 4. reda, koja je verovatno najefikasnija, i primenom konačnih razlika, što je svakako najjednostavniji i, čini se, najčešće korišćeni postupak.

Metoda Runge-Kutta

Jednačine (1) rešavaju se rekurentno, korišćenjem sledećih relacija [2]:

$$x_i(t) = x_i(t-h) + R_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

gde je h korak integraljenja i

$$R_j = \frac{1}{6} (A_{1j} + 2A_{2j} + 2A_{3j} + A_{4j}), \\ j = 1, 2, \dots, n$$

$$A_{1j} = hf_j(t-h, x_1(t-h), \dots, x_n(t-h), \\ u_1(t-h), u_2(t-h), \dots), j = 1, 2, \dots, n$$

$$A_{2j} = hf_j\left(t - \frac{h}{2}, x_1(t-h) + \frac{A_{11}}{2}, \dots, x_n(t-h) + \frac{A_{1n}}{2}, u_1\left(t - \frac{h}{2}\right), \dots\right), j = 1, 2, \dots, n$$

$$A_{3j} = hf_j\left(t - \frac{h}{2}, x_1(t-h) + \frac{A_{21}}{2}, \dots, x_n(t-h) + \frac{A_{2n}}{2}, u_1\left(t - \frac{h}{2}\right), u_2\left(t - \frac{h}{2}\right), \dots\right), j = 1, 2, \dots, n$$

$$A_{4j} = hf_j\left(t, x_1(t-h) + \frac{A_{31}}{3}, \dots, x_n(t-h) + \frac{A_{3n}}{3}, u_1(t), u_2(t), \dots\right), j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_1\left(t - \frac{h}{2}\right), u_2\left(t - \frac{h}{2}\right), \dots, j = 1, 2, \dots, n$$

$$A_{4j} = hf_j\left(t, x_1(t-h) + \frac{A_{31}}{3}, \dots, x_n(t-h) + \frac{A_{3n}}{3}, u_1(t), u_2(t), \dots\right), j = 1, 2, \dots, n$$

Ako ulazi $u_1, u_2, \dots, u$ trenutku t_x , gde t_x može biti $t, t-h/2$ ili $t-h$, nisu poznati, koristi se interpolacija. Na primer, korišćenjem linearne interpolacije dobija se:

$$u_i(t-t_x) = u_i(t_2) - \frac{t_2-t_x}{t_2-t_1} [u_i(t_2) - u_i(t_1)], i = 1, 2, \dots \quad (7)$$

gde je $t_1 < t_x < t_2$, a ulazi $u_i(t_1)$ i $u_i(t_2)$ su poznati.

Korak integraljenja h može biti konstantan. Ako se želi jednako rastojanje tačaka, može se koristiti sledeći jednostavan, ali efikasan postupak podešavanja koraka:

$$h \leftarrow h \{ [x_1(t) - x_1(t-h)]^2 + \dots + [x_n(t) - x_n(t-h)]^2 \}^{1/2} / d_z \quad (8)$$

d_z je zadato rastojanje između tačaka hodografa stanja u prostoru stanja. Simbol „ $\leftarrow$ “ znači „postaje“.

Algoritam za rešavanje sistema (1), kada su date sledeće sekvence ulaznih veličina: $\{u_1(0), u_1(\Delta t), u_2(2\Delta t), \dots\}$, $\{u_2(0), u_2(\Delta t), u_2(2\Delta t), \dots\}, \dots$, početni uslovi $t = 0, x_1(0), x_2(0), \dots, dx_1(0)/dt, dx_2(0)/dt, \dots, h = \Delta t$, krajnji trenutak t_{kraj} i kada se vrši adaptacija koraka integraljenja, je:

1. Računanje počinje od trenutka $t = h$.
2. Ulazi $u_1(t - h/2), \dots, u_2(t - h/2), \dots$ izračunavaju se interpolacijom, npr. korišćenjem (7).
3. Veličine stanja $x_1(t), x_2(t), \dots$ izračunavaju se korišćenjem (6), a izlazi $y_1(t), y_2(t), \dots$ korišćenjem (2).
4. Korak integraljenja se menja korišćenjem (8).
5. Povećava se vreme $t \leftarrow t + h$. Ako je $t \geq t_{kraj}$ ide se na tačku 8.
6. Ulazi $u_1(t), u_1(t - h), \dots, u_2(t), u_2(t - h), \dots$ se izračunavaju interpolacijom, npr. korišćenjem (7).
7. Ide se na tačku 2.
8. Kraj rada.

Ako se ne vrši adaptacija koraka integraljenja, 4. i 6. tačka se izbacuju.

Primena konačnih razlika

Izvodi u (1) zamenjuju se potonjim konačnim razlikama [3]:

$$dx_i(t)/dt = [x_i(t + h) - x_i(t)]/h, \\ i = 1, 2, \dots, n$$

Tada (1) dobija sledeći oblik:

$$x_i(t + h) = x_i(t) + hf_i(x_1(t), x_2(t), \dots, \\ u_1(t), u_2(t), \dots), i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Rekurentnim izračunavanjem (9), polazeći od datih početnih uslova, rešava se sistem (1). Za rešavanje sistema diferencijalnih jednačina (1) može se koristiti dati algoritam, s tim što se izbacuje 2. tačka, a umesto relacija (6) koriste se relacije (9).

Primena blok-dijagrama

Kada je servosistem visokog reda, odnosno veoma složene strukture, da bi se postupak simulacije pojednostavio i da bi se smanjile greške simulacije, preporučljivo je servosistem „podeliti“ na nekoliko podistema, odnosno predstaviti sistem u obliku blok-dijagrama. U njemu svaki blok predstavlja jedan podsystem.

Simulacija servosistema primenom blok-dijagrama objasniće se na primeru jednostruko prenosnog sistema automatske regulacije – slika 1.

Prikazani sistem je podeljen na četiri bloka: blok C – regulator, blok P – objekat upravljanja, blok F – povratna sprega i blok A – sabirač (komparator). Značenja veličina sa slike 1 su:

y_w – ulaz servosistema – zadata vrednost izlaza,

u_c, u_p, u_f – ulazi regulatora, objekta upravljanja i bloka povratne petlje, respektivno,

y_c, y_p, y_f – izlazi regulatora, objekta upravljanja i bloka povratne petlje, respektivno,

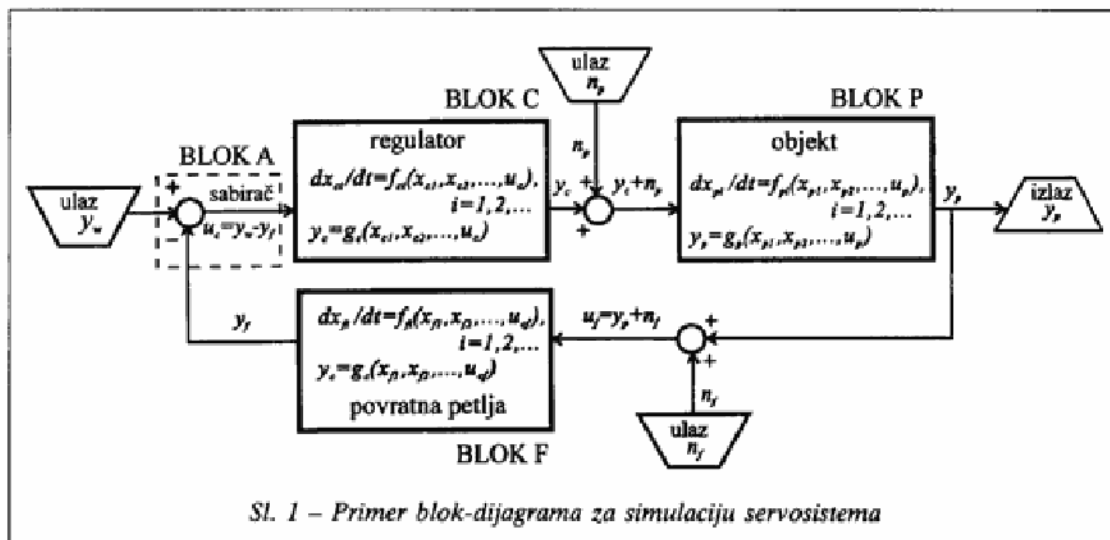
$x_{c1}, x_{c2}, \dots$ – veličine stanja regulatora,

$x_{p1}, x_{p2}, \dots$ – veličine stanja objekta upravljanja,

$x_{f1}, x_{f2}, \dots$ – veličine stanja bloka povratne petlje,

n_p – poremećaj,

n_f – šum merenja izlaza.



Blokovi C, P, i F definisani su jednačinama stanja, koje se mogu rešavati korak po korak, primenom jednog od opisanih postupaka. Ako se usvoji isti korak integraljenja h za sve blokove, onda on mora biti bar deset puta manji od vremenske konstante najbržeg podsistema (bloka). Korišćenje različitih koraka integraljenja je složenije, ali može uštedeti vreme računanja. Sabirač je definisan jednostavnom jednačinom: $u_c = y_w - y_f$, koju ne treba numerički rešavati.

Neka je ulazna sekvenca $\{y_w(0), y_w(\Delta t), y_w(2\Delta t), \dots\}$, i neka su početni uslovi poznati. Algoritam za simulaciju je sledeći:

1. Kada se koristi metoda Runge-Kutta, pri izračunavanju $u_c(t)$ veličina $y_f(t)$ nije poznata (jer još nije izračunata). Zato je treba predvideti na osnovu prethodno izračunatih vrednosti y_f , što se može postići nekim od postupaka ekstrapolacije. Očigledno, ovaj problem se ne javlja kada se za rešavanje diferencijalnih jednačina koriste kasnije razlike.

2. Kada se odredi $y_f(t)$, izračunava se $u_c(t) = y_w(t) - y_f(t)$.

3. Rešava se jednačina stanja regulatora za trenutak t i izračunava njegov izlaz $y_c(t)$.

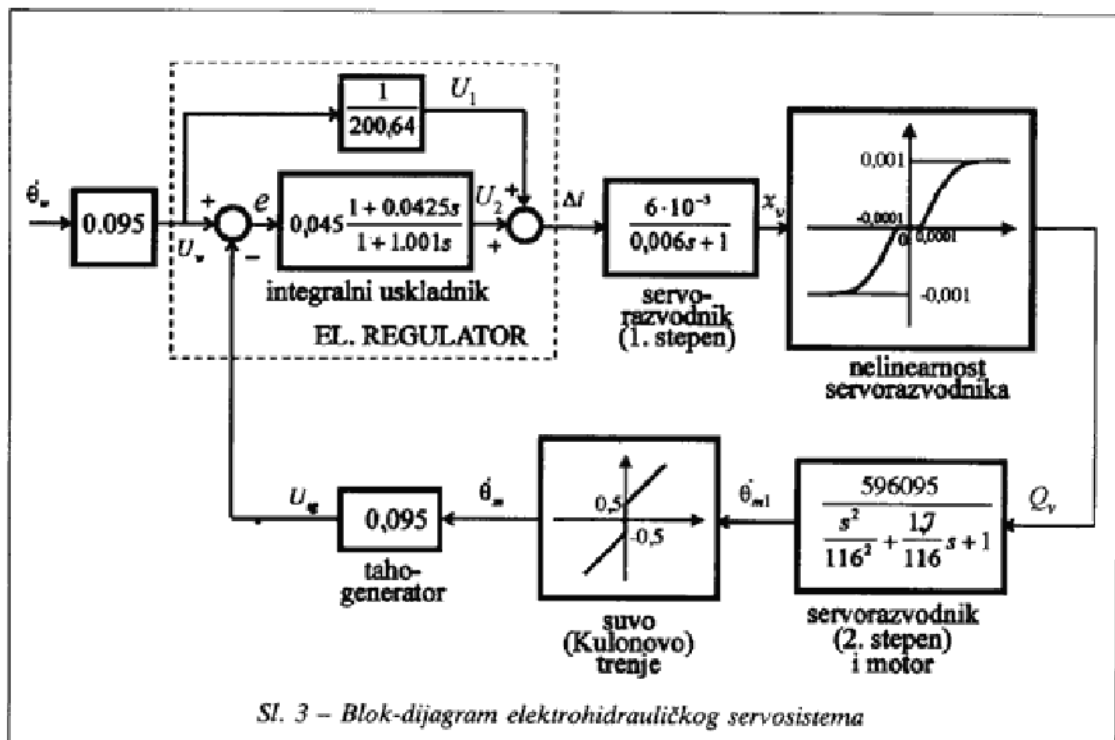
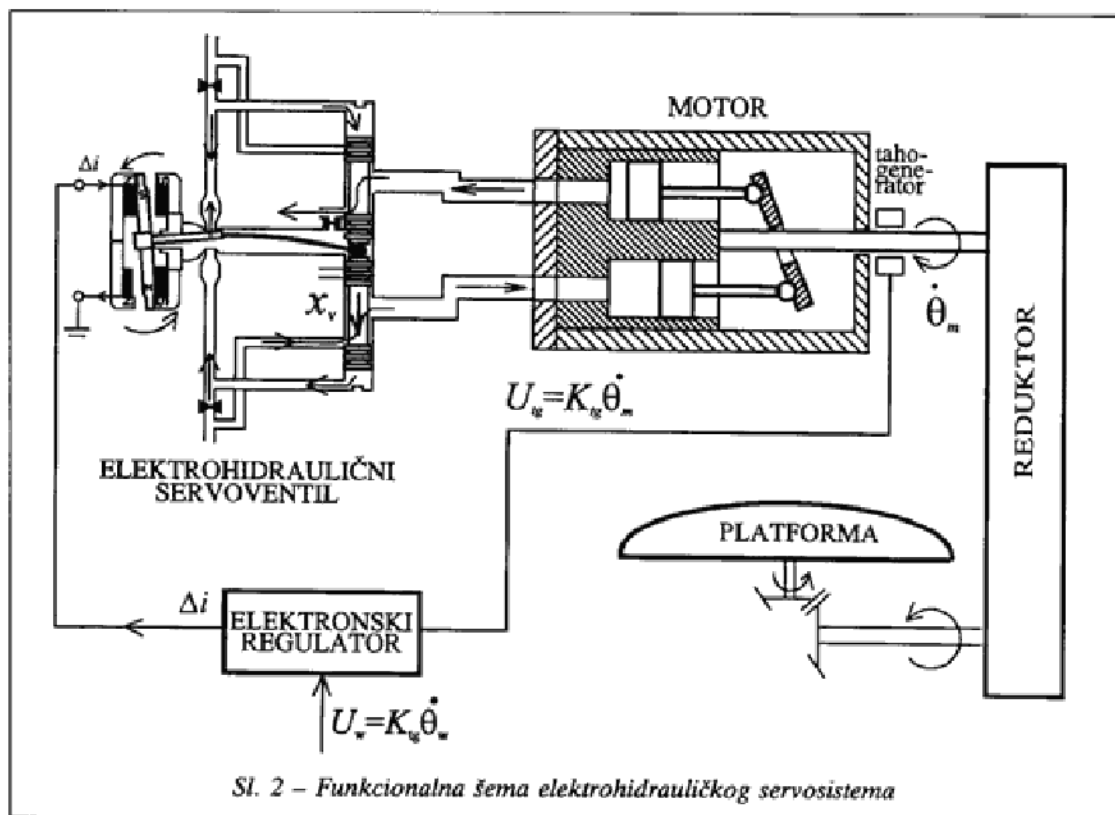
4. Za $u_p(t) = y_c(t) + n_p(t)$ i trenutak t rešava se jednačina stanja objekta. Tako se dobija $y_p(t)$.

5. Za $u_f(t) = y_p(t) + n_f(t)$ i trenutak t rešava se jednačina stanja povratne petlje. Tako se dobija $y_f(k\Delta t)$.

6. Povećava se vreme $t \leftarrow t + h$ i ponavljaju koraci 1. do 6. sve do isteka zadatog trajanja simulacije.

Primer simulacije elektrohidrauličnog servosistema

Postupak simulacije biće ilustrovan na primeru elektrohidrauličnog servosistema, prikazanog na slici 2. Njegov blok-dijagram prikazan je na slici 3. Dinamika linearnih blokova opisana je prenosnim funkcijama, što je uobičajena praksa pri projektovanju i analizi servosistema. Prisutne nelinearnosti opisane su statičkim karakteristikama. To su: nelinearnost servorazvodnika, tipa neosetljivosti (mrtva zona) sa zasićenjem i nelinearnost opterećenog motora – suvo (Kulonovo)



trenje. Relevantne veličine su: zadata ($\dot{\theta}_w$) i ostvarena ($\dot{\theta}_m$) ugaona brzina motora, struja servorazvodnika (Δi), pomeraње klipnjače razvodnika (x_v), napon tahogeneratora (U_{tg}), signal greške (e) i napon proporcionalan zadatoj ugaonoj brzini (U_w). U_1 i U_2 su naponi u upravljačkoj elektronici (pomoćne veličine).

Da bi se primenio opisani postupak simulacije, dinamičke linearne blokove treba opisati odgovarajućim jednačinama stanja i izlaza:

– integralni uskladnik:

$$dx_{cl} / dt = -0,999x_{cl} + 0,0436e$$

$$U_2 = y_c = x_{cl} + 0,00191e$$

– nelinearnost servorazvodnika [4]:

$$Q_v = \begin{cases} 0,001 \operatorname{sgn}(x_v), & |x_v| \geq 0,0017 \\ g(x_v - 0,0001) \operatorname{sgn}(x_v), & 0,0001 \leq |x_v| \leq 0,0017 \\ 0, & |x_v| \leq 0,0001 \end{cases}$$

$$g(x) = 0,65x - 7812,9x^3$$

$$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$$

– nelinearnost motora:

$$\dot{\theta}_m = (\dot{\theta}_{m1} + 0,5) \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_{m1})$$

– ostale statičke veze:

$$U_w = 0,095 \dot{\theta}_w, U_1 = 0,00498U_w$$

$$e = U_w - U_{tg}, \Delta i = U_1 + U_2$$

$$U_{tg} = 0,095 \dot{\theta}_m$$

Simulacija dinamičkih blokova predstavlja rešavanje datih diferencijalnih jed-

– 1. stepen servorazvodnika:

$$dx_{s1} / dt = -166,67x_{s1} + 1,00\Delta i$$

$$x_v = y_s = x_{s1}$$

– 2. stepen servorazvodnika sa motorom:

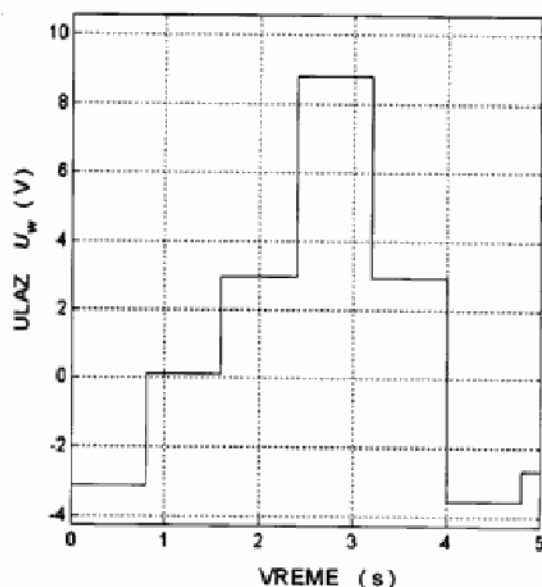
$$dx_{m1} / dt = x_{m2}$$

$$dx_{m2} / dt = -208,8x_{m2} - 13456x_{m1} + 8,0280 \cdot 10^8 Q_v$$

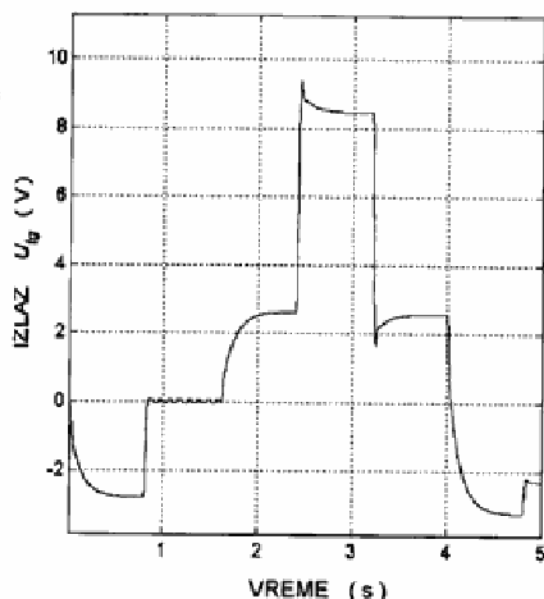
$$\dot{\theta}_{m1} = y_m = x_{m1}$$

Statički blokovi opisani su običnim algebarskim jednačinama:

načina, dok simulacija statičkih blokova predstavlja prosto izračunavanje datih algebarskih jednačina. Simulacija celog servosistema vrši se korišćenjem blok-dijagrama i jednog od datih postupaka rešavanja sistema diferencijalnih jednačina. Ulaz sistema simuliran je kao signal koji svakih 0,8 sekundi slučajno menja svoju vrednost (slika 4). Usvojen je korak integriranja $h = 0,001$ s. Za rešavanje diferencijalnih jednačina korišćena je metoda Runge-Kutta. Simulirani izlaz servosistema prikazan je na slici 5.



Sl. 4 - Simulirani ulaz servosistema



Sl. 5 - Simulirani izlaz servosistema

Umesto zaključka

Priprema matematičkog modela je prvi bitan problem koji treba rešiti. Ukoliko je sistem visokog reda, treba ga podeliti na blokove što nižih redova (najbolje prvog ili drugog reda), pri čemu oni

moгу, ali ne moraju da imaju fizički smisao. Ukoliko je sistem nelinearan, potrebno je, kad god je to moguće, nelinearne delove (nelinearnosti) izdvojiti u posebne blokove, tako da, po mogućnosti, ni jedan blok ne bude opisan nelinearnim diferencijalnim jednačinama.

Kada se koristi metoda Runge-Kutta, ova pravila mogu se ublažiti. Tako se ova metoda može primeniti na jednačinu stanja celog sistema, osim kada je njegov red vrlo visok (recimo deseti ili viši). U tom slučaju sistem treba razbiti na blokove (tj. formirati blok-dijagram), s tim što ti blokovi mogu biti složeniji, odnosno viših redova nego u slučaju primene konačnih razlika.

U opštem slučaju, uprošćavanje matematičkog modela sistema i rešavanje diferencijalnih jednačina nižih redova povećava numeričku stabilnost i preciznost postupka simulacije. S druge strane, formiranje vrlo složenog blok-dijagrama, s namerom da blokovi budu jednostavni, postupak simulacije može učiniti komplikovanim i nepreglednim. Ako se zbog toga radi s manjim brojem složenijih blokova, treba primeniti metodu Runge-Kutta.

Sledeći problem je izbor koraka integraljenja. Ukoliko se piše sopstveni program za simulaciju, a sistem je izdijeljen na blokove, može se opredeliti da svaki blok ima drugačiji korak integraljenja, čime se, verovatno, može postići optimalna simulacija, naročito ako je brzina izvršavanja presudna. Komercijalni računarski programi obično zahtevaju da se korak integraljenja izabere za sistem u celini. U tom slučaju korak integraljenja treba prilagoditi najbržem bloku, to jest bloku sa najvećom dinamikom. Postoji čitav niz pravila za izbor koraka integraljenja, počevši od uslova konvergencije

numeričkog postupka koji se primenjuje, pa do Šenonove teoreme koja vodi računa o tome da između dve tačke računanja nema značajnih promena relevantnih veličina. Sva ta pravila se teško primenjuju u praksi.

Postupak za izbor koraka integraljenja je jednostavan, praktičan i pouzdan. On se sprovodi kroz pilot-probe računarske simulacije, pre nego što se počne s njenim praktičnim korišćenjem. Izabere se prizvoljan korak integraljenja i izvrši simulacija. Ukoliko se dobije nestabilno rešenje (obično s oscilacijama čiji je period istog reda veličine kao izabrani korak integraljenja), a pretpostavlja se da je simulirani sistem stabilan, drastično se smanjuje korak integraljenja. Ako je simulacija stabilna, ona se ponavlja s dvostruko manjim korakom integraljenja. Ukoliko se rezultat ove simulacije znatno razlikuje od prethodnog, poslednji korišćeni korak integraljenja predstavlja dobar izbor. Ukoliko je razlika rezultata dve uzastopne simulacije velika, nastavlja se s polovljenjem koraka i ponavljanjem simulacije, sve dok se ne dobije dobro

slaganje rezultata uzastopnih simulacija. To je znak da je poslednji korišćeni korak integraljenja onaj pravi. S druge strane, ukoliko se rezultati dve poslednje uzastopne simulacije beznačajno razlikuju, usvaja se pretposlednji korak integraljenja. Ukoliko se već pri drugom ponavljanju simulacije dobije ova situacija, početni korak integraljenja je, verovatno, suviše mali. Ako se, u tom slučaju, želi uštedeti vreme rada, ponavljaju se simulacije, udvostručujući korak integraljenja svaki put, sve dok se ne dobije razlika rezultata dve uzastopne simulacije, koja je u granicama prihvatljivih grešaka. Tada se usvaja pretposlednji korak integraljenja.

Literatura:

- [1] Milojković, B., Grujić, Lj.: Automatsko upravljanje, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.
- [2] Radojević, M., Radović, P., Dodić, N., Viličić, A.: Obuka u oblasti projektovanja, analize i merenja u servosistemima – sistemi upravljanja vatrom, simulacija i merenje – skripta, VII VJ, Beograd, 1997.
- [3] Simonović, V.: Numeričke metode, Mašinski fakultet, Beograd, 1979.
- [4] Dodić, N.: Analiza domena asimptotske stabilnosti na Lurijeovom sektoru – diplomski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1984.

Mr Zdravko Radišić,
potpukovnik, dipl. inž.
Saobraćajna uprava GS VJ,
Beograd

Mr Gordana Radivojević,
dipl. inž.
Institut Mihajlo Pupin,
Beograd

PROJEKTOVANJE RUTA VOZILA ZA REALIZACIJU SLUŽBENIH PREVOŽENJA („Dial-a-Ride System“)

UDC: 355.691.1.001.63:65.012.122

Rezime:

U radu je prikazan algoritam određivanja potrebnog broja vozila i projektovanja ruta vozila za potrebe realizacije svakodnevnih službenih prevoženja u garnizonu. Algoritam je zasnovan na primeni transportnog sistema „Dial-a-Ride System“ („nazovi vožnju“). Pretpostavka primene razvijenog algoritma jeste poznavanje skupa zahteva za prevoz, a svaki takav zahtev okarakterisan je izvorom kretanja, ciljem putovanja i željenim vremenom započinjanja opsluge.

Ključne reči: službena prevoženja, projektovanje ruta, transportni sistem „nazovi vožnju“, model minimiziranja praznih vožnji.

DESIGN OF VEHICLE ITINERARIES FOR THE REALIZATION OF BUSINESS-PURPOSE DIAL-A-RIDE TRANSPORT SYSTEM

Summary:

The paper presents the algorithm for determining the necessary number of vehicles as well as for designing vehicles itineraries during their everyday service in a garrison area. The algorithm is based on the application of the Dial-a-Ride transport system. In order to apply the developed algorithm it is necessary to specify the set of transport demands where each demand is characterized by the source of motion, transport goal and the desired service-starting time.

Key words: business-purpose transport, itinerary design, Dial-a-Ride transport system, model of minimizing empty mileage.

Uvod

Planiranje i realizacija svakodnevnih službenih prevoženja u većim garnizonima u nadležnosti je jedinica koje su bazirane na teritoriji garnizona. Svaka jedinica planira i realizuje službena prevoženja za svoje pripadnike, nezavisno od ostalih jedinica u garnizonu. Izostanak centralizovanog prikupljanja zahteva za prevoz, planiranja i jedinstvene realizacije službenih prevoženja na teritoriji ima

za posledicu neracionalnu upotrebu vozila, posebno putničkih.

Neracionalnost se u prvom redu odnosi na veliki broj vozila na upotrebi kao i na visoke troškove korišćenja i održavanja voznog parka. Naime, svaki prevozi-lac svojim voznim parkom obavlja prevoz (realizuje službena prevoženja) na jedinstvenom prostoru, na relacijama i u vreme kako to zahtevaju korisnici. Svaki zahtev za prevoz unapred je poznat i okarakterisan izvorom kretanja, ciljem

kretanja i željenim vremenom započinjanja opsluge. Jedinice koje su nadležne za operativno planiranje, organizaciju i realizaciju službenih prevoženja primaju, preko dispečerskog centra, zahteve korisnika, obrađuju ih i izdaju naloge za realizaciju prevoženja. Vozila se dodeljuju korisnicima po mestu i vremenu. Najčešće se radi o *povratnim vožnjama sa čekanjem*. Korisnik se prevozi do određišta, a vozač i vozilo čekaju korisnika prevoza. Po obavljenom zadatku korisnik se istim vozilom vraća u jedinicu. Na taj način veći broj vozača i vozila su određeni period „izgubljeni“ za organizatore prevoza i ne mogu se koristiti za realizaciju ostalih vožnji. U zavisnosti od prostorne i vremenske raspodele ostalih zahteva za prevoz postoji objektivna mogućnost da vozila i vozači, koji čekaju korisnika prevoza, realizuju neku drugu vožnju.

Kod ograničenog broja vozila, nepovoljne starosne strukture voznog parka i u uslovima povećanog broja otkaza vozila, ovakva organizacija prevoza može dovesti do brojnih otkaza vožnji. Osnovni interes organizatora prevoza je realizacija dnevnih prevoznih zahteva minimalnim brojem vozila i maksimalni broj vozila u rezervi za realizaciju vanrednih zahteva.

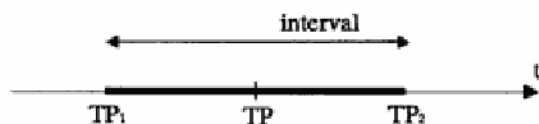
Posmatrano sa aspekta teorije grafova i transportnih mreža, operativno planiranje i realizacija svakodnevnih službenih prevoženja pripadaju kategoriji *statičkih ruting problema sa intervalima*. Opsluga u određenim čvorovima mora se obaviti u unapred definisanim momentima ili u okviru zadatih – željenih intervala. Tokom poslednje tri decenije razvijen je veliki broj optimizacionih i heurističkih algoritama za rešavanje problema rutinga i redova vožnje saobraćajnih sredstava. Optimizacioni algoritmi se zasnivaju na primeni dinamičkog programi-

ranja i metode grananja i ograničavanja (branch and bound method), a pogodni su za rešavanje manjih problema. Za rešavanje većih problema koriste se različiti heuristički algoritmi. Posebnu kategoriju ruting problema sa intervalima predstavlja sistem organizacije prevoza korisnika „Dial-a-Ride System“ (sistem „nazovi vožnju“). Osnovu ovog sistema čini prikupljanje zahteva korisnika (najčešće telefonom), određivanje potrebnog broja vozila i projektovanje ruta vozila. Zahtevi se prikupljaju po principu „danas za sutra“, što treba shvatiti uslovno. Za funkcionisanje sistema je bitno da su zahtevi za prevoz unapred najavljeni, tako da organizator ima dovoljno vremena da odredi potreban broj vozila i projektuje njihove rute. Vojna organizacija može obezbediti poštovanje ovog principa. Za određivanje broja vozila i projektovanje ruta vozila u radu je razvijen odgovarajući algoritam, koji se zasniva na primeni metode minimiziranja „praznih vožnji“ za statički slučaj transportnog sistema „nazovi vožnju“.

Postavka problema

Prevoz korisnika – putnika obavlja se na transportnoj mreži $G = (N, L)$, gde je sa N označen skup čvorova mreže, a sa L skup grana – lukova mreže na kojoj se obavlja prevoz. Organizator prevoza raspolaže homogenim voznim parkom od M vozila. Vozila su smeštena u bazi B , odakle polaze na opslugu. Posle završene opsluge vozila se ponovo vraćaju u bazu. Zahteve za prevoz prikuplja dispečerski centar, obrađuje ih, planira prevoženja i izdaje naloge za njihovu realizaciju. Zahtev korisnika okarakterisan je izvorom i ciljem kretanja, kao i željenim vremenom započinjanja opsluge.

U rutin problemima sa intervalima željeno vreme započinjanja opsluge zadato je intervalom u kojem mora početi prevoz korisnika – putnika. Interval je opisan najranijim (TP_1) i najkasnijim (TP_2) momentom početka opsluge. Na slici 1 prikazan je interval započinjanja opsluge korisnika.



Sl. 1 – Vremenski interval početka opsluge

Momenat TP u kojem vozilo započinje opslugu treba da zadovolji relaciju:

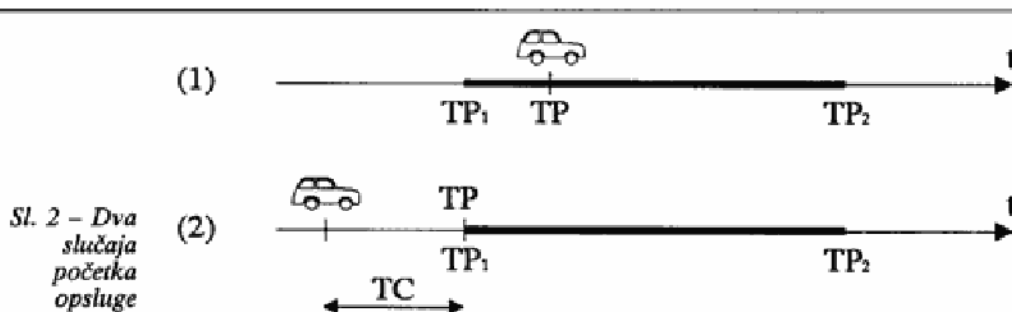
$$TP_1 \leq TP \leq TP_2 \quad (1)$$

Da bi ova relacija bila zadovoljena vozilo mora doći u čvor početka opsluge najkasnije do trenutka TP_2 . Vozilo može doći u čvor, koji je početak opsluge, u toku

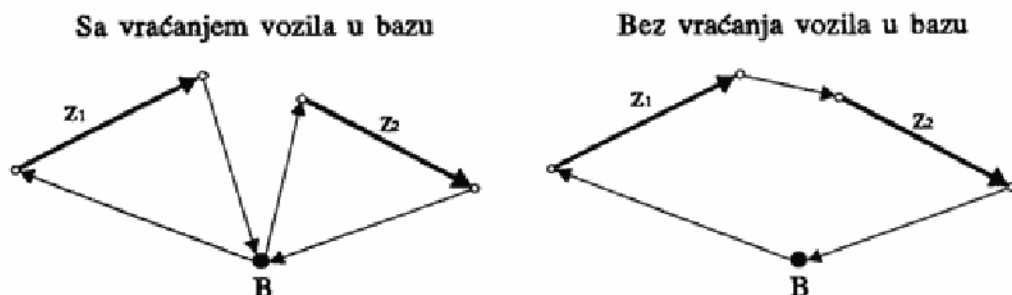
željenog intervala početka opsluge ili pre toga. Ova dva slučaja prikazana su na slici 2.

Ako vozilo stigne u čvor u toku željenog intervala početka opsluge odmah po prijemu putnika započinje opslugu (prvi slučaj). Ako vozilo stigne u čvor pre najranijeg momenta započinjanja opsluge (TP_1) tada sa opslugom ne može započeti pre tog trenutka. U ovom slučaju vozilo čeka na opslugu TC i započinje opslugu u trenutku $TP = TP_1$.

Jednim vozilom u toku dana moguće je realizovati više vožnji. Vozilo odlazi iz baze do čvora početka realizacije prve vožnje, opslužuje korisnika (prevozi do zadatog čvora), zatim odlazi do čvora početka naredne vožnje, ponovo opslužuje korisnika i tako redom do realizacije poslednjeg zahteva. Nakon toga vozilo se vraća u bazu. Prevoz se realizuje po principu „prevezi i zaboravi“. Na slici 3 prikazani su zahtevi za prevoz z_1 i z_2 koji



Sl. 2 – Dva slučaja početka opsluge



Sl. 3 – Zahtevi za prevoz z_1 i z_2 koji se realizuju jednim vozilom

se mogu opslužiti jednim vozilom sa ili bez vraćanja vozila u bazu.

Kada se vozilo posle realizacije prvog zahteva (z_1) vrati u bazu ponovo polazi iz baze na realizaciju sledećeg zahteva (z_2) za prevoz. Povezivanjem zahteva u jednu rutu vozilo posle realizacije prvog zahteva (z_1) odlazi do čvora početka realizacije sledećeg zahteva (z_2) na ruti. Uštede koje se ostvaruju odgovaraju razlici „praznih vožnji“ vozila od čvora završetka prvog zahteva (z_1) do baze i od baze do čvora početka sledećeg zahteva (z_2) i „prazne vožnje“ od čvora završetka prvog zahteva (z_1) do čvora početka drugog zahteva (z_2).

Problem rutinga može se definisati na sledeći način: za zadati skup zahteva za prevoz treba odrediti potreban broj vozila i projektovati rute vozila, tako da se obezbedi opsluga svih evidentiranih zahteva, uz minimizaciju vremena trajanja „praznih vožnji“ i vremena čekanja vozila. Iz opisa i postavke problema moguće je uočiti postojanje konfliktnih interesa organizatora prevoza i korisnika. Organizator prevoza je zainteresovan za minimiziranje broja vozila na upotrebi, transportnih troškova i „praznih vožnji“. Istovremeno, korisnik prevoza je zainteresovan za minimiziranje vremena čekanja na opslugu i vremena provedenog u vozilu.

U zavisnosti od karakteristika zahteva korisnika, posebno prostorne i vremenske distribucije zahteva, moguća je pojava slučajeva koji su veoma nepovoljni za organizatora prevoza. Kod većeg broja zahteva u relativno kratkom vremenskom periodu, uz istovremeno veliku prostornu distribuciju zahteva, organizator prevoza nije u mogućnosti da jednim vozilom realizuje više zahteva. Broj zahteva za prevoz koji se mogu realizovati jednim

vozilom u direktnoj je vezi sa vremenima otpočinjanja opsluge zahteva i međusobnim rastojanjima (prostornim ili vremenskim) između čvorova na mreži. Isto tako, zahtevi sa velikom prostornom distribucijom i relativno povećana vremena trajanja vožnje između čvorova koje treba obići onemogućuju povezivanje više zahteva u rutu jednog vozila. Primenjeni postupak mora biti osetljiv na pojavu ovakvih slučajeva.

Opis algoritma

Algoritam minimizacije praznih vožnji realizuje se kroz sledeće korake:

1. Centralizovano prikupljanje zahteva korisnika i formiranje matrice zahteva Q .
2. Formiranje matrice potrebnog broja vozila za realizaciju pojedinačnih vožnji W .
3. Formiranje matrice ponude (PON) i potražnje (POT) za praznim vozilima.
4. Formiranje matrice praznih motornih vozila X .
5. Određivanje broja motornih vozila za realizaciju svih vožnji.
6. Određivanje ruta za kretanje motornih vozila.

Primena algoritma minimizacije „praznih vožnji“ podrazumeva poznavanje vremena putovanja između svih parova čvorova na putnoj mreži. Dispečerski centar planira vožnje u toku perioda $(0, T)$ koji se deli na vremenske intervale trajanja ΔT (obično je to 10 ili 15 minuta). Svaki zahtev okarakterisan je izvorom kretanja (čvor i), ciljem kretanja (čvor j), intervalom u kojem se zahteva otpočinjanje vožnje (m) i intervalom u kojem vožnju treba završiti (n). Prikupljanjem zahteva dispečerski centar formira *ma-*

tricu zahteva Q , čiji su elementi pojedinačni zahtevi korisnika q_{ijmn} . Matrica Q daje podatke o ukupnom broju putnika koje treba prevesti, a elementi matrice q_{ijmn} pokazuju koliko putnika treba prevesti iz čvora i (vožnja započinje u intervalu m) u čvor j (vožnja završava u intervalu n). Ako vožnju obavljaju vozila kapaciteta C tada se potreban broj vozila w_{ijmn} za realizaciju vožnje između čvorova i i j određuje sledećom relacijom:

$$w_{ijmn} = \begin{cases} \left\lceil \frac{q_{ijmn}}{C} \right\rceil + 1, & \text{za } \left\lceil \frac{q_{ijmn}}{C} \right\rceil \neq \frac{q_{ijmn}}{C} \\ \left\lceil \frac{q_{ijmn}}{C} \right\rceil, & \text{za } \left\lceil \frac{q_{ijmn}}{C} \right\rceil = \frac{q_{ijmn}}{C} \end{cases} \quad (2)$$

Matrica W , čiji su elementi w_{ijmn} , predstavlja matricu potrebnih vozila za realizaciju vožnji. Sumiranjem elemenata w_{ijmn} po redovima dobija se broj vozila koja napuštaju pojedine čvorove na mreži u određenim intervalima. Sumiranjem elemenata w_{ijmn} po kolonama dobija se broj vozila koja u određenim intervalima stižu u pojedine čvorove. Po stizanju u određeni čvor, po izlasku putnika, vozila postaju slobodna za obavljanje naredne vožnje u nekom od čvorova. To znači da svaki čvor j , tokom svakog intervala n , karakteriše „ponudu“ praznih vozila. Ova ponuda opisuje se matricom PON_{jn} . Na isti način moguće je za svaki čvor i tokom svakog vremenskog intervala m utvrditi „potražnju“ za praznim vozilima. Ova potražnja opisuje se matricom POT_{im} .

Na osnovu matrica ponude i potražnje za praznim vozilima određuje se matrica X , sa elementima x_{ijmn} :

$$x_{ijmn} = \begin{cases} POT_{im} - PON_{jn} & \text{za } POT_{im} > PON_{jn} \\ 0 & \text{za } POT_{im} \leq PON_{jn} \end{cases} \quad (3)$$

Elementi matrice x_{ijmn} predstavljaju broj vozila koja prazna, bez putnika, napuštaju pojedine čvorove i tokom vremenskih intervala m da bi stigle u čvorove j tokom intervala n . U slučaju kada je $POT_{im} > PON_{jn}$, potrebno je u čvor i , u intervalu m , iz baze intervenisati sa x_{ijmn} vozila, koja će u čvor j stići u intervalu n . Na osnovu vrednosti elemenata matrice X i elemenata matrice W moguće je odrediti ukupan broj vozila za realizaciju svih vožnji i rute svih vozila.

Numerički primer

Opisani algoritam je testiran na numeričkom primeru. Baza motornih vozila nalazi se u čvoru G . Čvorovi koje treba opslužiti su A , B , C i D . Period T podeljen je na manje intervale (interval 1, 2 i 3). Tokom intervala 0 sva vozila se nalaze u bazi (čvor G). Vozni park raspolaze sa $M = 30$ vozila. Po završetku svih vožnji (u intervalu 4) sva vozila se, takođe, nalaze u bazi G .

Vremena putovanja vozila između svih parova čvorova (prikazana u tabeli 1) izražena su u intervalima trajanja Δt .

Tabela 1

Vremena putovanja između svih parova čvorova

Čvorovi	G	A	B	C	D
G	0	1	1	1	1
A	1	0	1	1	1
B	1	1	0	1	1
C	1	1	1	0	1
D	1	1	1	1	0

U tabeli 2 prikazana je matrica Q, koja sadrži podatke o broju putnika koji žele da se iz određenih čvorova prevezu u druge čvorove u željenim intervalima. Tako, na primer, ukupno 4 putnika želi

Tabela 2

Matrica zahteva za prevozom Q

Matrica Q		Odredišta												Ukupno
		A			B			C			D			
Ishodišta		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
A	1					3			3			3		9
	2						2			3			1	6
	3													0
B	1									4				4
	2			3									4	7
	3													0
C	1		1											1
	2						3						3	6
	3													0
D	1					3								3
	2			3			3			2				8
	3													0
Ukupno		0	1	6	0	6	8	0	7	5	0	3	8	44

Tabela 3

Matrica potrebnog broja vozila za realizaciju zahteva za prevoz

Matrica W		Odredišta												Uku- pno
		A			B			C			D			
Ishodišta		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
A	1				1			1			1			3
	2					1			1			1		3
	3													0
B	1							1						1
	2			1								1		2
	3													0
C	1		1											1
	2					1						1		2
	3													0
D	1				1									1
	2			1		1			1					3
	3													0
Ukupno		0	1	2	0	2	3	0	2	2	0	1	3	16

da iz čvora B, tokom drugog intervala, bude prevezeno u čvor D, u koji treba da stignu tokom trećeg intervala.

U tabeli 3 prikazana je matrica W, koja daje podatke o broju vozila koje je potrebno angažovati za prevoz putnika iz tabele 2. Tako, na primer, jedno vozilo napušta čvor A tokom intervala 1 i stiže u čvor B tokom intervala 2. Ako se u tabeli 3 izvrše sumiranja po redovima i kolonama, dobijaju se vrednosti „ponude“ i „potražnje“ za praznim vozilima.

Podaci o „ponudi“ i „potražnji“ praznih vozila prikazani su u tabeli 4.

Tabela 4

Vrednosti „ponude“ i „potražnje“ za praznim vozilima

„Ponuda“ praznih vozila													
G	A			B			C			D			
0	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
30	0	1	2	0	2	3	0	2	2	0	1	3	
„Potražnja“ za praznim vozilima													
G	A			B			C			D			
4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
30	3	3	0	1	2	0	1	2	0	1	3	0	

Na osnovu vrednosti „ponude“ i „potražnje“ za praznim motornim vozilima u pojedinim intervalima određuju se elementi matrice X, koja je prikazana u tabeli 5.

Na osnovu vrednosti elemenata matrice X moguće je izvesti sledeće zaključke:

– broj praznih motornih vozila koja treba poslati iz baze G tokom intervala 0 u bazu G, u koju treba da stignu tokom intervala 4, iznosi 20. To znači da 20 vozila sve vreme treba da se nalazi u bazi G. S obzirom na to da baza raspolaže sa M = 30 vozila, sve zahtevane vožnje mogu da se realizuju sa 10 vozila. Na osnovu podataka iz tabele 3 očigledno je

Tabela 5

Vrednosti matrice X

Matrica X	Odredišta												Po- nu- da
	G	A			B			C			D		
Ishodišta	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
G	0	20	3	2	1			1			1	2	30
A	1												0
	2			1									1
	3	2											2
B	1												0
	2					2							2
	3	3											3
C	1												0
	2								2				2
	3	2											2
D	1												0
	2											1	1
	3	3											3
Potražnja	30	3	3	0	1	2	0	1	2	0	1	3	0

da u slučaju klasične organizacije službenih prevoženja (povratne vožnje sa čekanjem korisnika) treba angažovati 16 motornih vozila. Postignuta je ušteda od 6 vozila u odnosu na klasični model povratnih vožnji sa čekanjem;

– način prostorne i vremenske raspodele 10 angažovanih vozila zapisan je u redu G0 matrice X, tabela 5 (3 vozila potrebno je poslati u čvor A u prvom, 2 vozila u čvor A u drugom, 1 vozilo u čvor B u prvom, 1 vozilo u čvor C u prvom, 1 vozilo u čvor D u prvom i 2 vozila u čvor D u drugom vremenskom intervalu);

– šest vožnji realizuje se zahvaljujući odnosu ponude i potražnje za praznim vozilima u čvorovima i intervalima A2 (1 vožnja), B2 (2 vožnje), C2 (2 vožnje) i D2 (1 vožnja). U matrici X ove vožnje naznačene su na dijagonali matrice. Što je veća ravnoteža između ponude i potražnje u pojedinim čvorovima, to se veći broj vožnji može obaviti manjim brojem vozila, što upućuje na mogućnost efika-

snijeg uravnoteženja ponude i potražnje. To se može obezbediti tako što će dispečerska služba naknadno od korisnika zahtevati promenu elemenata opsluge;

– nakon obavljenih vožnji u četvrtom vremenskom intervalu u bazu G se vraćaju sva vozila (iz čvora A2, iz čvora B3, iz čvora C2 i iz čvora D3 vozila). Na taj način dispečerskoj službi je poznato kada i koliko prethodno angažovanih vozila je ponovo na raspolaganju.

Na osnovu matrice X (tabela 5) i matrice W (tabela 3) određuju se i rute vozila. Iz matrice X (red G0) vidi se da tri vozila stižu iz baze G u čvor A u prvom intervalu (A1). Istovremeno, na osnovu matrice W, iz čvora A ova vozila u prvom intervalu, sa putnicima, kreću u čvorove B, C i D, u koje stižu u drugom intervalu (B2, C2, D2). Na taj način, kombinovanim čitanjem matrica X i W, određuju se rute vozila, čiji pregled je dat u tabeli 6. Rute vozila između različitih parova čvorova na transportnoj mreži mogu se odrediti nekom od metoda najkraćeg puta.

Pored opisane metode, broj potrebnih vozila i rute vozila mogu se odrediti i drugim metodama [1]. Imajući u vidu karakteristike zahteva korisnika, po-

Tabela 6

Pregled ruta vozila

Redni broj vozila	Ruta vozila
1	G0 – A1 – B2 – A3 – G4
2	G0 – A1 – C2 – B3 – G4
3	G0 – A1 – D2 – A3 – G4
4	G0 – A2 – B3 – G4
5	G0 – A2 – C3 – G4
6	G0 – B1 – C2 – D3 – G4
7	G0 – C1 – A2 – D3 – G4
8	G0 – D1 – B2 – D3 – G4
9	G0 – D2 – B3 – G4
10	G0 – D2 – C3 – G4

sebnom nepovoljnu prostornu i vremensku distribuciju zahteva, „osetljivost“ pojedinih modela i metoda, kao i karakteristike dobijenih rešenja, kriterijum pri određivanju potrebnog broja vozila i projektovanju rutu vozila može biti vreme trajanja praznih vožnji, vreme čekanja korisnika, dužina praznih vožnji, prioritet pojedinih korisnika, itd.

Zaključak

U radu je prikazan algoritam za određivanje potrebnog broja vozila i projektovanje ruta vozila, zasnovan na primeni metode minimiziranja „praznih vožnji“ u slučaju statičkog sistema „Dial-a-Ride System“. U osnovi metode minimiziranja „praznih vožnji“ je „osetljivost“ metode na odnos ponude i potražnje za praznim vozilima u pojedinim čvorovima. Što je veća ravnoteža između ponude i potražnje u čvorovima, to se zahtevane vožnje mogu obaviti manjim brojem vozila. Pored ravnoteže ponude i potražnje, koja je rezultat inicijalnih prostorno-vremenskih karakteristika zahteva korisnika, opisani postupak pruža mogućnost naknadnog uravnoteženja ponude i potražnje po vremenu. To se može obezbediti tako što će dispečerska služba, za vožnje koje nisu u prioritetu i u uslovima nedovoljnog broja motornih vozila, naknadno od korisnika zahtevati izmenu vremena početka vožnje.

Osnovne pretpostavke primene opisanog algoritma su centralizovano prikupljanje zahteva korisnika za prevoz (izvor, cilj kretanja, željeno vreme započinjanja opsluge), centralizovano planiranje, jedinstvena organizacija i realizacija službenih prevoženja, kao i disciplina korisnika prevoza koju mora obezbediti vojna organizacija. Algoritam je primenjiv na nivou organizacione celine koja

centralizovano prikuplja zahteve, planira i realizuje službena prevoženja unutar garnizona, za potrebe jedne ili više drugih organizacionih celina. Algoritam je primenjiv i u uslovima centralizovanog prikupljanja zahteva i planiranja vožnji, u uslovima distribuirane realizacije vožnji (u slučaju kada vožnje realizuje više organizacionih celina, prostorno razmeštenih unutar garnizona, ali po elementima koji su određeni na nivou centralizovane obrade zahteva korisnika).

U opisanim uslovima realizacije zahteva korisnika za prevoz opravdano je razmišljati i o drugim pristupima rešavanju ovog problema. Dosadašnja istraživanja su pokazala velike mogućnosti primene različitih heurističkih algoritama, koji u jednom svom koraku imaju primenu metode dinamičkog programiranja ili grananja i ograničavanja. Heuristički algoritmi, koji se zasnivaju na ovim metodama, daju zadovoljavajuća rešenja, ali pokazuju nedostatke u pogledu dimenzija rešavanog problema (ukupan broj zahteva za prevoz) i vremena rada računara potrebnog za dobijanje rešenja. Poslednjih godina razvijani su algoritmi koji se zasnivaju na primeni fazi logike i algoritama aproksimativnog rezonovanja. Oni nemaju ograničenje dimenzija rešavanog problema i za veoma kratko vreme (do 10 sekundi) daju kvalitetna rešenja.

Buduća istraživanja opisanog problema mogu ići u pravcu razvoja različitih heurističkih algoritama i njihovog testiranja i upoređenja na istim ili različitim praktičnim primerima. Dobijeni rezultati treba da ukažu na opravdanost primene svakog pristupa u konkretnim uslovima.

Literatura:

- [1] Teodorović, D.: Transportne mreže, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1996.
- [2] Vučić, V.: Javni gradski prevoz, Sistemi i tehnika, Naučna knjiga, Beograd, 1987.

Rezime:

Na primeru spuštanja tereta pomoću uređaja čija se konstrukcija sastoji od doboša oko koga je obavijeno užje i o čijem jednom kraju visi teret koji se spušta, a čija je brzina spuštanja kontrolisana regulatorom Buassa-Sarda, analizirana je dinamika tog kretanja i prikazan postupak rešavanja sistema nelinearnih jednačina, koje se mogu sresti u praksi.

Ključne reči: dinamička analiza, regulator brzine obrtanja, sistem nelinearnih jednačina, vertikalni pomak, generalisani ugao.

DYNAMIC ANALYSIS OF THE BUASSA-SARDA FUNCTIONING

Summary:

A load, fixed on one end of the rope while the other end was wound up around a drum, was being lowered and the lowering speed was controlled by the Buassa-Sarda regulator. The lowering dynamics was analyzed and the procedure of solving the system of nonlinear equations, found in practice, was presented.

Key words: dynamic analysis, rotation speed regulator, system of nonlinear equations, vertical feed, generalized angle.

Uvod

Za vertikalno spuštanje tereta, naročito velikih, često se koristi jednostavna konstrukcija sastavljena od doboša poluprečnika R , čija je osa rotacije horizontalna i oko kojeg je namotano užje na čijem slobodnom kraju se nalazi okačen teret koji je potrebno spustiti. Odmotavanjem užeta, što podrazumeva rotaciju doboša oko svoje horizontalne ose, odmotava se kraj užeta na kojem visi teret i silazi naniže. Kada konstrukcija za spuštanje tereta nije obezbeđena uređajem za kontrolu brzine rotacije doboša, takvo kretanje tereta postaje jednoliko ubr-

zano-slobodan pad. Međutim, pri spuštanju se čitav proces može dovesti u pitanje u trenutku kada takvo kretanje treba zaustaviti. Postoje, naravno, i drugi uređaji za spuštanje tereta, manje rizični u pogledu krajnjeg zaustavljanja, ali je ovaj u pogledu potrebnog prostora, najekonomičniji, jer ne zahteva veliku površinu. Takav uređaj je i lift koji se nalazi u svakodnevnoj upotrebi.

Da bi se obezbedila jednolika brzina obrtanja doboša, što omogućava jednoliku brzinu spuštanja tereta, koriste se razne konstrukcije regulatora brzine obrtanja doboša koji obavljaju postavljen zadatak. Jednu od jednostavnijih i među

prvim upotrebljavanim konstrukcijama, predstavlja regulator Buassa-Sarda. Po svojoj konstrukciji vrlo je jednostavan. Izveden je tako što je oko doboša obmotano uže na čijem slobodnom kraju visi teret mase M koji je potrebno spustiti. Horizontalno vratilo koje nosi doboš i teret, rotira istom ugaonom brzinom kao i doboš. Na jednom svom delu vratilo je izvedeno u obliku krivajnog mehanizma radijusa r , kako je to prikazano na slici 1. Za koleno mehanizma pričvršćena je opruga krutosti c na čijem je drugom kraju vezana masa regulatora m . Masa m je jednim svojim delom vezana za viskozni prigušivač oscilacija, čiji je koeficijent viskoznosti μ .

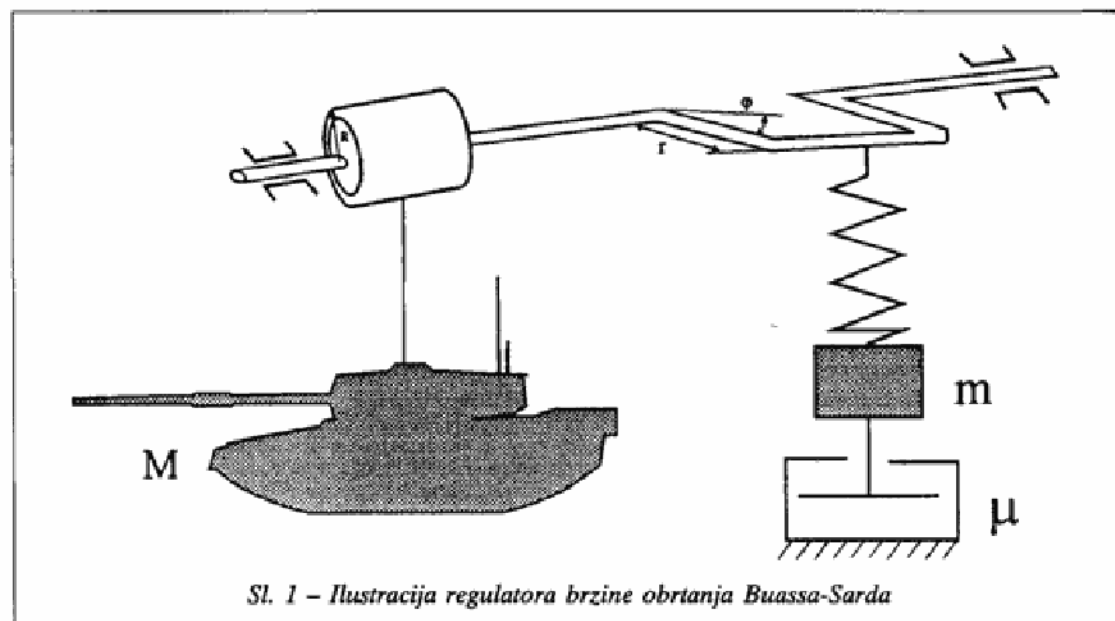
Kada počne spuštanje tereta, doboš rotira zajedno sa vratilom čije koleno prevodi kružno kretanje vratila u približno pravolinijsko kretanje opruge i regulatora mase m . Kretanju regulatora mase m , suprotstavlja se viskozna sila koja u povratnom delovanju preko opruge utiče na brzinu obrtanja vratila, a time i na brzinu spuštanja tereta.

Dinamička analiza kretanja tereta

Od dinamičke analize ovakvog regulatora očekuje se da pruži odgovor na pitanja kolika je mogućnost ovog regulatora da obezbedi jednoliko obrtanje doboša – spuštanje tereta jednolikom brzinom, i da li je takvo kretanje tereta uopšte moguće postići ovim regulatorom.

Ovako definisan sistem za spuštanje tereta i regulator imaju dva stepena slobode: vertikalni pomak mase m regulatora, koji će biti kao generalisana koordinata označen sa y , i generalisani ugaon obrta vratila-doboša označen sa φ . Pri sastavljanju jednačina kretanja, u opštem slučaju, ne mora se početi od pretpostavke o jednolikom obrtanju vratila i doboša, iako je namena regulatora da to obezbedi. Rezultati istraživanja trebalo bi da pokažu da li je takav prilaz bio opravdan.

Pri kretanju sistema regulatora na masu regulatora m deluju tri sile: sila sopstvene mase regulatora – mg , sila viskoznog trenja koja je proporcionalna brzini pokretanja mase regulatora – $\mu \dot{y}$ i



Sl. 1 – Ilustracija regulatora brzine obrtanja Buassa-Sarda

sila u opruzi koja je proporcionalna istezanju opruge $-c(y - r \sin \varphi)$. Ova sila je proporcionalna razlici pomeranja mase i položaja krivajnog mehanizma $r \sin \varphi$. Poznavajući ove sile, diferencijalna jednačina kretanja mase regulatora glasi:

$$m\ddot{y} = mg - \mu\dot{y} - c(y - r \sin \varphi) \quad (1)$$

ili, nakon deljenja jednačine masom i uvođenja određenih skraćenica, dobija se:

$$\ddot{y} + 2\varepsilon\dot{y} + p^2y = p^2r \sin \varphi + g \quad (2)$$

$$\text{gde je } \varepsilon = \frac{\mu}{2mp}, \quad \text{ i } \quad p^2 = \frac{c}{m}.$$

Druga diferencijalna jednačina dobija se iz dinamike obrtanja doboša. Kako je vertikalno ubrzanje tereta koji se spušta jednako tangencijalnom ubrzanju doboša radijusa R , to je vertikalno ubrzanje tereta pri spuštanju jednako $\ddot{\varphi}R$. Sila kojom je opterećeno užje, o čijem kraju visi teret, jednaka je razlici između mase tereta koji se spušta i inercijalne sile, tj.: $T = M(g - \ddot{\varphi}R)$. Moment torzije koji trpi vratilo biće jednak sumi momenta koji sila u užetu stvara prema osi doboša, a on je $MR(g - \ddot{\varphi}R)$, i momentu koji sila u opruzi stvara prema krivajnom mehanizmu, tj. sila u opruzi $c(y - r \sin \varphi)$ se pomnoži krakom $r \cos \varphi$, pa se dobija $c(y - r \sin \varphi) r \cos \varphi$. Zbir ova dva momenta jednak je proizvodu momenta inercije i ugaonog ubrzanja, tj.:

$$MR(g - \ddot{\varphi}R) + c(y - r \sin \varphi)r \cos \varphi = I\ddot{\varphi} \quad (3)$$

gde je I - moment inercije rotirajućih delova - doboša i vratila.

Sređivanjem izraza (3) dobija se druga diferencijalna jednačina kretanja:

$$(I + MR^2)\ddot{\varphi} - c(y - r \sin \varphi)r \cos \varphi = MRg \quad (4)$$

Sada je potrebno da se reši sistem nelinearnih jednačina (2) i (4). Najpre je potrebno da se razjasni može li se doboš ravnomerno obrtati i pri tome jednolikom brzinom spuštati teret. Dakle, treba da se proveriti da li je rešenje sistema nelinearnih jednačina oblika:

$$\varphi = \omega t \quad (5)$$

gde je ω ugaona brzina obrtanja doboša. Veličina ugaone brzine je za sada nepoznata, ali ako se pokaže da je ona rešenje jednačina i da je konstantna može se potražiti njena vrednost.

Ukoliko je obrtanje doboša ravnomerno, to znači da je $\omega = \text{const.}$ i predstavlja rešenje jednačine (4), pa jednačina (2) dobija izgled:

$$\ddot{y} + 2\varepsilon\dot{y} + p^2y = p^2r \sin \omega t + g \quad (6)$$

Rešenje ove jednačine poznato je i glasi:

$$y = \frac{r}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4\varepsilon^2\omega^2}{p^2}}} \sin(\omega t + \alpha) + \frac{g}{p^2} \quad (7)$$

gde je α fazni pomak i određuje se odnosom $\text{tg } \alpha = -\frac{2\varepsilon\omega p}{p^2 - \omega^2}$.

Treba proveriti da li pretpostavljeno rešenje zadovoljava i jednačinu (4). Iz uslova da je $\omega = \text{const.}$ sledi da je $\ddot{\varphi} = 0$, pa u pomenutoj jednačini otpada izraz $(I + MR^2)\ddot{\varphi}$, a ostaje samo $-c(y - r \sin \varphi)r \cos \varphi$ koje, kada se uvrsti dobijeno rešenje za y , poprima oblik:

$$-c(y - r \sin \varphi)r \cos \varphi =$$

$$= -c \left[\frac{r \sin(\omega t + \alpha)}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4\varepsilon^2 \omega^2}{p^2}}} + \frac{g}{p^2} r \sin \omega t \right] r \cos \omega t \quad (8)$$

Iz izraza (8) vidi se da je dobijena veličina promenljiva, tj. zavisi od vremena, što znači da nije konstantna. Samim tim ona ne zadovoljava jednačinu (4). Odavde proizlazi da je, budući da ne zadovoljava sistem jednačina, ravnomerno spuštanje tereta nemoguće. Ne može se ostvariti konstantna ugaona brzina doboša koja bi spuštala teret konstantnom brzinom.

Dobijeni izraz, ipak, dopušta mogućnost iznalaženja približnog rešenja, tj. iznalaženja takvih vrednosti ugaonih brzina doboša, a time i brzine spuštanja tereta, koje bi, u nekom dopuštenom dijapazonu promena brzina, mogle da zadovolje praktične zahteve spuštanja. To se postiže primenom usrednjavanja izraza (8) i njegovim izjednačavanjem sa desnim delom polazne jednačine (4). Postupak usrednjavanja često se koristi u savremenoj teoriji rešavanja nelinearnih jednačina.

Ideja usrednjavanja veličina sastoji se u tome da se najpre u posmatranom izrazu ustanove veličine koje se menjaju tokom vremena, pa se one u tim izrazima zamene svojim srednjim vrednostima, koje postupkom usrednjavanja postaju konstantne veličine. Srednje vrednosti tih veličina računaju se za vreme jedne svoje periode promena. Tako će se, kada se izraz (8) oslobodi zgrade, ustanoviti da u njemu figurišu funkcije: $\sin \omega t \cdot \cos \omega t$, $\cos \omega t$ i $\cos^2 \omega t$. Kako je period promena ovih funkcija $T = \frac{2\pi}{\omega}$, srednja vrednost

se nalazi kao: $\frac{1}{T} \int_0^T \sin \omega t \cdot dt$,

$$\frac{1}{T} \int_0^T \sin \omega t \cdot \cos \omega t dt, \quad \text{ i } \quad \frac{1}{T} \int_0^T \cos^2 \omega t \cdot dt.$$

Srednja vrednost prvog integrala biće:

$$\frac{1}{T} \int_0^T \sin \omega t \cdot dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \omega \sin \omega t dt = 0.$$

Izračunavanjem srednjih vrednosti i ostala dva integrala dobija se:

$$\frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} \sin \omega t \cdot \cos \omega t dt = 0 \quad \text{ i }$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} \omega \cos^2 \omega t dt = \frac{1}{2}. \quad \text{ Ovim postupkom}$$

nađene su srednje vrednosti koje će se uvesti u izraz (8) umesto stvarnih vrednosti. Tako će se dobiti novi oblik izraza:

$$- \frac{cr^2}{2 \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4\varepsilon^2 \omega^2}{p^2}}} \sin \alpha \quad (9)$$

Korišćenjem trigonometrijske veze:

$$1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha = \frac{1}{\sin^2 \alpha} \quad \text{ i izraza}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = - \frac{2\varepsilon \omega p}{p^2 - \omega^2} \quad \text{ nalazi se vrednost } \sin \alpha,$$

a njegovim uvrštavanjem u izraz (9) dobija se novi i konačni oblik izraza (9) koji je jednak desnom delu jednačine (4), odnosno:

$$\frac{c\varepsilon r^2 \omega}{p \left[\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4\varepsilon^2 \omega^2}{p^2} \right]} = \operatorname{MgR}$$

Jednostavnim sređivanjem, koje se odnosi na to da se sređivanjem izraza

dobije jedna strana sastavljena od konstantnih vrednosti, u ovom slučaju desna strana izraza, a druga od promenljive veličine, dobija se novi oblik:

$$\frac{\varepsilon \omega}{p \left[\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2} \right)^2 + \frac{4\varepsilon^2 \omega^2}{p^2} \right]} = \frac{MgR}{cr^2} \quad (10)$$

Dobijen izraz predstavlja jednačinu u čijem se rešenju nalazi ugaona brzina doboša, što je i bio postavljeni zadatak. Iz izraza se vidi da tražena vrednost ugaone brzine nije linearno definisana, tj. da se tražena ugaona brzina nalazi stepenovana u izrazu, pa treba očekivati višeznačno rešenje.

Ovakvi problemi često se rešavaju grafičkom metodom koja se sastoji u tome da se nacrtaju grafici leve strane jednačine (10) i preko njega povuče prava koja predstavlja konstantnu vrednost desne strane izraza. U konkretnom slučaju nacrtaju se grafici izraza:

$$z = \frac{\varepsilon \omega}{p \left[\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2} \right)^2 + \frac{4\varepsilon^2 \omega^2}{p^2} \right]} \quad (11)$$

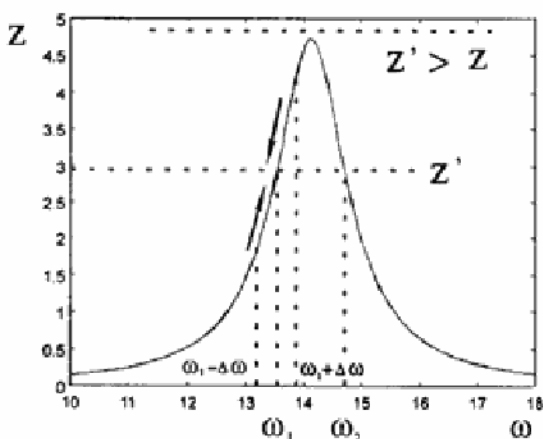
čiji je izgled prikazan na slici 2. Sada se preko te slike nacrtaju horizontalna prava koja predstavlja desni deo izraza.

$$z' = \frac{MgR}{cr^2}$$

Presečne tačke ovih dvaju grafika daju tražena rešenja za ugaonu brzinu doboša.

Na slici 2 prikazano je grafičko rešenje jednačine (10). Sa grafikona se najpre može ustanoviti da sa povećanjem momenta tereta MgR horizontalna prava koja predstavlja konstantu postaje viša,

tako da se može desiti da za neke vrednosti bude iznad grafikona promenljive veličine, odnosno da taj grafikon uopšte ne preseca. U tom slučaju ne postoji rešenje jednačine (10), a pretpostavka da je $\omega = \text{const.}$ ni približno nije opravdana, tj. spuštanje tereta ravnomerno ili približno ravnomerno nije moguće.



Sl. 2 – Grafička metoda rešavanja problema

Niže vrednosti ova prava može dobiti ukoliko se poveća radijus kolena, poveća krutost opruge ili oba zajedno.

Da bi regulator obavljao svoj zadatak potrebno je pravu spustiti dovoljno nisko da bi došlo do presecanja grafikona. Kada su parametri tako odabrani da dolazi do presecanja ovih dvaju grafika uočavaju se dva presečna mesta koja predstavljaju dva rešenja jednačine. Jedno sa manjom vrednošću ugaone brzine, a drugo sa većom. Sada se postavlja pitanje koje od ta dva rešenja predstavlja ono pravo i prihvatljivo rešenje, odnosno sa kojim rešenjem će uređaj stabilno raditi?

Radi procene stabilnosti rešenja razmatra se jednačina (4) i u nju uvrštava $\ddot{\phi} = \ddot{\omega}$. Nakon kraćeg sređivanja dobija se da je:

$$\frac{I + MR^2}{cr^2} \dot{\omega} = \frac{MgR}{cr^2} - \frac{\varepsilon \omega}{p \left[\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2} \right)^2 + \frac{4\varepsilon^2 \omega^2}{p^2} \right]},$$

ili jednostavnije:

$$\frac{I + MR^2}{cr^2} \dot{\omega} = z' - z \quad (12)$$

Iz uslova stabilnosti rešenja, za $\omega = \omega_1$ ili $\omega = \omega_2$ znači da su obe strane, i z' i z , jednake. Ali, šta će se dogoditi, na primer, ukoliko je stvarna ugaona brzina ω nešto manja, i iznosi $\omega_1 - \Delta\omega_1$. Kako se vidi sa slike 2 $z' > z$, pa u tom slučaju, iz jednačine (12), sledi da je i $\dot{\omega} > 0$, tj. ugaona brzina obrtanja doboša se povećava i teži ugaonoj brzini ω_1 .

Ukoliko je ω nešto veća, na primer $\omega_1 + \Delta\omega_1$, sa slike se vidi da je i $z > z'$, pa se za te uslove dobija da je $\dot{\omega} < 0$, što znači da ugaona brzina smanjuje svoju vrednost težeći brzini ω_1 .

Iz svega navedenog može se lako zaključiti da je takvo rešenje ugaone brzine stabilno.

Primenom istog principa analize, ali sada za ugaonu brzinu ω_2 kao rešenja jednačine, može se ustanoviti da je to rešenje nestabilno, jer neprestano divergira; ili se smanjuje ukoliko je ugaona brzina bila manja od rešenja ω_2 ili se povećava ukoliko je ta brzina bila veća od ω_2 .

Ovakvim radom regulator Buassa-Sarda može da obezbedi prihvatljivo ravnomerno spuštanje tereta pod uslovom da se ne postigne ugaona brzina bliska vrednosti ω_2 . Stabilan rad regulatora može se postići radom u okolini manjeg korena jednačine (10).

Mada drugo rešenje ω_2 nema nikakvo praktično značenje, u stvarnosti ono predstavlja određen interes radi određivanja granica dopuštenih poremećaja

ugaone brzine. Stacionarni režim može se očekivati kada se ostvari okretanje doboša ugaonom brzinom $\omega = \omega_1$, kada su dopušteni mali poremećaji ugaone brzine. Ukoliko ti poremećaji postanu toliko veliki da se približe vrednosti ugaone brzine ω_2 , ili je prevaziđu, ugaona brzina će početi neograničeno da raste. Stoga je potrebno da rešenja ugaonih brzina ω_1 i ω_2 budu na dovoljno velikom razmaku, kako se i pri pojavi malih poremećaja ne bi približile. Ukoliko se desi da je $\omega_1 = \omega_2$, sistem postaje polustabilan. Za stabilan rad uređaja potrebno je da prava z' bude što niže kako bi se obezbedila dovoljna razlika između ugaonih brzina. Opisana problematika najbolje se može prikazati na primeru.

Numerički primer

Potrebno je spustiti teret mase $M = 7500$ kg pomoću doboša čiji poluprečnik iznosi $R = 0,2$ m. Brzinu spuštanja kontroliše regulator Buassa-Sarda koji ima sledeće karakteristike: koeficijent viskoznog prigušenja iznosi $\mu = 150$ Ns/m, krutost opruge $c = 20 \cdot 10^3$ N/m, masa $m = 10$ kg i radijus kolena $r = 0,5$ m.

Za postavljene konstrukcione uslove uređaja za spuštanje tereta potrebno je odrediti vrednost ugaone brzine doboša ili broj obrtaja u minuti kojim bi se obezbeđivala približno ravnomerna i stabilna brzina spuštanja.

Prema datim podacima najpre se izračunava pomoćna veličina. Izračunava se maksimalna vrednost $z_{\max}$, i iz nje vrednost maksimalnog poluprečnika doboša. Ukoliko je dobijena vrednost veća od stvarne vrednosti doboša, to je dobar znak da će prava z' biti negde ispod temena krive z , tj. postojaće rešenja za ω_1 i ω_2 i treba ih potražiti. Ukoliko se

pokaže da je vrednost maksimalnog prečnika manja nego što je to zadati prečnik doboša, prava z' neće nigde seći krivu z , pa je potrebno izvršiti korekciju zadatih veličina, tako da se ispuni uslov da maksimalna vrednost poluprečnika bude veća od zadate vrednosti poluprečnika doboša.

Sada se, zadajući vrednosti ugaone brzine u rad/s po nekoj zakonitosti, ili proizvoljno po nekom koraku, izračunavaju za svaku zadatu vrednost ugaone brzine ordinate krive z po navedenom obrascu, i crta kriva:

$$z = \frac{\varepsilon \omega}{p \left[\left(1 - \frac{\omega^2}{p^2} \right)^2 + \frac{4\varepsilon^2 \omega^2}{p^2} \right]}$$

Proračun navedenog primera izveden je u programu MATLAB prema sledećem:

```
m = 100;
c = 20e + 03;
mi = 150;
mt = 7 500;
g = 9,81;
rd = 0,2;
r = 0,5;
p = sqrt(c/m);
eps = mi/2*m*p);
om = 10 : 0,01 : 18;
z = eps*om./(p*((1 - (om.^2/
p^2)).^2 + 4*eps^2*om.^2/p^2));
om = om';
z = z';
rr = c*(r^2)*max(z)/(mt*g);
plot(om,z);
zd = mt*g*rd/(c*r^2);
a1 = zd/(p^3);
b1 = 2*zd*(2*eps^2-1)/p;
c1 = -eps;
d1 = zd*p;
koef = [a1 0 b1 c1 d1];
nul = roots(koef);
```

Dobijeni rezultat pokazuje da vrednost maksimalnog poluprečnika doboša (rr) iznosi 0,32 m, što je veće od zadate vrednosti doboša (rd) 0,2 m, pa ima razloga da se potraže vrednosti ugaonih brzina.

Vrednosti ovih brzina nalaze se iz uslova jednakosti z i z' koje su izračunate za stvarnu vrednost poluprečnika doboša. Jednačina koja se pri tome dobija je četvrtog stepena i daje četiri korena. Samo dva realna korena predstavljaju prava rešenja.

nul = (nule funkcije)

14.7043

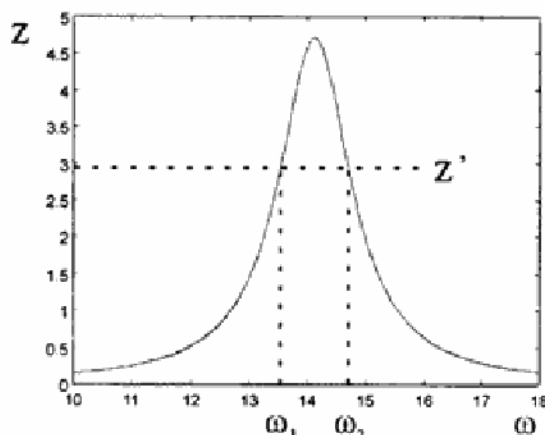
-14.1223 + 1.2107i

-14.1223 - 1.2107i

13.5402

»zd (vrednost izraza z' za stvarne podatke regulatora)

zd = 2.9430



Sl. 3 - Dijagram za konkretne vrednosti

Iz dobijenih vrednosti za nule funkcija samo vrednosti 13,54 i 14,7 rad/s odgovaraju stvarnosti. Za stabilan rad regulatora treba obezbediti područje ugaone brzine koje se kreće oko 13,54 rad/s, što odgovara 129,29 o/min. Dobijena vrednost ugaone brzine odgovara brzini spuštanja tereta 2,7 m/s.

Druga vrednost ugaone brzine, 14,7 rad/s ili 140,4 o/min ukazuje na to da su ove dve brzine vrlo blizu jedna drugoj i da treba biti oprezan u odlučivanju da li takav uređaj može pouzdano da radi. Ukoliko se posumnja u to, mogu se, radi postizanja veće sigurnosti, korigovati zadate veličine uređaja, menjanjem pojedinih konstrukcionih veličina kako bi se dobila veća razlika u brojevima obrtaja, odnosno ugaonih brzina. To se rešava ponovnim proračunom sa izmenjenim podacima. Proces proračuna ponavlja se sve dok se ne dobiju zadovoljavajući rezultati.

Prikazani primer može se i drugačije definisati: zadata je brzina spuštanja tereta koja je u funkciji njegove osetljivosti, pa je potrebno da se na osnovu tog podatka definišu osnovne veličine uređaja koji bi obezbedio stabilno spuštanje. Proces proračuna u tim uslovima rešava se obrnutim redom.

Zaključak

Velike terete često je potrebno spustiti na niži nivo. Za to se koriste različiti

uređaji, ali vrlo često je u upotrebi jednostavan uređaj sastavljen od doboša preko kojeg je namotano užo na čijem jednom kraju visi teret koji treba spuštati. Da bi se obezbedilo ravnomerno spuštanje tereta koristi se regulator Buassa-Sarda. U radu je analiziran rad ovog regulatora i na primeru ukazano na proračun važnijih dimenzija kompletnog uređaja koji bi obezbedio stabilno spuštanje tereta. Postupkom ponavljanja proračuna, za svaku izmenjenu ulaznu veličinu uređaja istražuju se najpovoljnije konstrukcione veličine uređaja koji će stabilno raditi.

Literatura:

- [1] Rašković, D.: Teorija oscilacija, Naučna knjiga, Beograd, 1965.
- [2] Rašković, D.: Otpornost materijala, Naučna knjiga, Beograd, 1965.
- [3] Павовко, Я. Г., Губанова, И. И.: Устойчивость и колебания упругих систем, Наука, Москва, 1967.
- [4] Novacki, V.: Dinamika elastičnih sistema, Građevinska knjiga, Beograd, 1966.

Uvod

Protivminski brodovi i oprema za razminiranje su u većini ratnih mornarica duže vreme bili izvan interesa istraživanja i razvoja novih pristupa i metoda borbe protiv mina. Taj potcenjeni deo pomorskih snaga ponovo je privukao pažnju kada su mine prekinule pomorski saobraćaj u lokalnim ratovima, vođenim u poslednjih desetak godina.

Kašnjenje u modernizaciji protivminskog naoružanja i opreme zateklo je mnoge zemlje u kriznim situacijama, bez adekvatne protivminske odbrane i bez savremenih rešenja. Preimenovanje civilnih brodova (ribarskih) u minolovce iz popisa, kao dodatak postojećim snagama protivminske odbrane (PMO), nije bilo valjano rešenje ovog problema.

Primena novih tehnologija i mikroprocesorske tehnike omogućila je programiranje minskih uređaja, tako da senzori postaju selektivni za određene amplitude i frekvencije, odnosno vrše izbor cilja (vrstu broda) pod kojim će se aktivirati. S druge strane, ostvaren je znatan napredak u zaštiti mina od veštački stvorenog polja nekontaktnih minolovki, kao i zaštita na dnu ležećih mina od detekcije pomoću akustički niskoreflektujućih omotača, i samoukopavanjem u muljevito ili peskovito dno. U oba slučaja znatno

teže ih je otkriti pomoću sonara. Zbog toga mnoge savremene RM uvode u naoružanje i druga sredstva u protivminsku borbu, osim klasičnih minolovki, težeći većoj efikasnosti i bezbednosti angažovanih ljudi. Osavremenjavanje i traženje novih rešenja odvijaju se u dva pravca. Prvi je razvoj novih antimagnetskih brodova minolovaca, lovaca mina i upotreba helikoptera i brodova na vazdušnom jaštuku u protivminskoj borbi. Drugi pravac čini razvoj nove protivminske opreme i uređaja koji se ugrađuju na nove brodove, ili se sprovodi modernizacija postojećih minolovaca, gde se, pored klasične opreme, ugrađuje i nova oprema za lov mina.

Snage za protivminsku borbu

Razvoju novih protivminskih brodova, u poslednjem periodu pristupile su mnoge RM, a glavna tendencija je u gradnji:

- kombinovanih brodova lovaca mina - minolovaca, opremljenih za obavljanje klasične funkcije minolovca i savremene funkcije lovca mina;

- brodova opremljenih za obavljanje funkcije lovca mina uz mehaničku minolovku za borbu protiv sidrenih mina;

- brodova opremljenih tako da je obavljanje obe funkcije moguće zameonom opreme.

Pri gradnji svih ovih brodova korišćen je antimagnetski materijal za trup (stakloplastika) i instaliranu velikogabaritnu opremu, kao i uređaji za kompenzaciju broskog magnetizma. U svim varijantama primenjuje se pomoćna propulzija, uglavnom aktivna kormila sa električnim ili hidrauličnim pogonom, a za otkrivanje na dnu ležećih mina različiti hidroakustički sonari.

Protivminska borba je taktički i tehnički vrlo složena, spora i izuzetno skupa. Ni jedno protivminsko sredstvo nije dalo potpuni odgovor na izazove minske opasnosti, ma kako se smatralo savremenim. Sve protivminske snage u protivminskoj borbi (PMB), izvršavaju i dopunjavaju protivminska dejstva osnovnih protivminskih snaga. Osnovne protivminske snage sve više postaju lovci mina, kao platforma za nošenje savremene protivminske opreme i sredstava. Specifičnost gradnje, visoki zahtevi u opremanju i visoka cena korišćenja ipak su opravdali očekivanja primene novih protivminskih sredstava koja se pojavljuju u sukobima poslednjih deset godina.

Zadaci protivminskih snaga angažovanih u borbi su:

- protivminsko pretraživanje,
- traženje mina,
- razminiranje-uništavanje mina pomoću klasičnih minolovki,
- traženje i uništavanje mina pomoću protivminskih ronilaca,
- sprovođenje brodova (podmornica) kroz određene zone.

Minolovci i lovci mina

Za protivminsku borbu na moru i rekama neophodne su specifične snage i sredstva koje će omogućiti nesmetani manevar i slobodu prolaska, kako ratnih,

tako i trgovačkih brodova. Savremene mine nameću potrebu modernizacije i izgradnje adekvatnih i efikasnih snaga i sredstava za protivminsku borbu.

Razvojni put minolovaca usko je povezan sa razvojem minskog oružja. Da bi uspešno izvršavali zadatke savremeni minolovci moraju imati potrebnu brzinu, dobra maritimna svojstva i veliku daljinu plovljenja, plitak gaz (zbog opasnosti od sidrenih mina), dobru navigacijsku opremu, a sredstva za borbu protiv mina moraju imati potrebnu radnu širinu i dubinu. Neophodno je da poseduju opremu za smanjenje broskog magnetskog polja, i da budu građeni od materijala koji smanjuju ostala fizička polja broda. Takođe, moraju imati artiljerijsko naoružanje (najčešće kalibra od 20 mm do 57 mm) za protivvazдушnu odbranu, odbijanje napada lakih pomorskih snaga i uništavanje plutajućih i isplivalih mina. Teško je ispuniti sve ove zahteve, pa se radi toga grade razne klase i tipovi minolovaca.

Trup savremenih minolovaca danas se gradi od plastične mase, legura aluminijuma ili drveta. Obično se kombinuju drvo i plastična masa ili drvo i legura aluminijuma. Najčešće se primenjuje stakloplastika (staklom ojačani poliester) koja poseduje dobre karakteristike za gradnju minolovaca.

Savremeni minolovci i lovci mina najčešće imaju deplasman od 300 do 1100 tona, a troškovi opremanja su znatno viši. Na primer, klasa lovaca mina *HUNT* (građena od stakloplastike u periodu od 1980. do 1989) košta 40 puta više od drveta građenog minolovca klase *TON*. Kao posledica povećanih troškova broj protivminskih brodova u mnogim mornaricama je znatno smanjen. Tako je 1960. godine u Velikoj Britaniji bilo u upotrebi

oko 200 protivminskih brodova, dok ih je danas svega 38.

Prva operativna upotreba uređaja za lov mina vezana je za britanski projekat MK-1, koji je završen 1961. godine, a 1965. godine ugrađen je na britanski minolovac klase *TON*. U početku su lovci mina imali i minolovnu opremu. Danas se zbog prostora koji zauzima minolovna oprema i mase broda, u većini slučajeva protivminske aktivnosti obavljaju oslanjajući se isključivo na protivminske sonare, odnosno, podvodne električne lokatore (PEL) i protivminsku ronilicu. Svoju upotrebnu vrednost ovi brodovi su pokazali u protivminskim dejstvima u kanalu La Manš, kada su uništili 150 mina zaostalih iz Drugog svetskog rata, što se do tada smatralo nemogućim. Za razliku od svojih prethodnika koji su imali dvojnu namenu, lovci mina predstavljaju kvalitetno novi tip brodova, koji su konstruisani kao platforme za nove protivminske sisteme namenjene za individualno (pojedinačno) uništavanje mina.

Sva svojstva broda projektovana su tako da se u što većoj meri omogući iskoristivost protivminskih sistema namenjenih za otkrivanje i uništavanje na dnu ležećih i sidrenih mina. Problemi tačnog i preciznog zadržavanja pozicije na moru uspešno su rešeni preko pomoćnih pogona (propulzionih sistema: Voith-Schneider, Bow traster, aktivna kormila ACEC ruder, Schottel Rudderpropeller i dr.). Sa istim sistemima rešen je i problem smanjenja akustičkog polja, što je veoma bitno kod ove vrste brodova (mogućnost aktiviranja mine sa akustičkim upaljačem svodi se na minimum). Da bi u toku izvođenja protivminskih radnji minolovci i lovci mina bili bezbedni, njihovo magnetsko polje mora se svesti na minimum. U tu svrhu gotovo sve RM

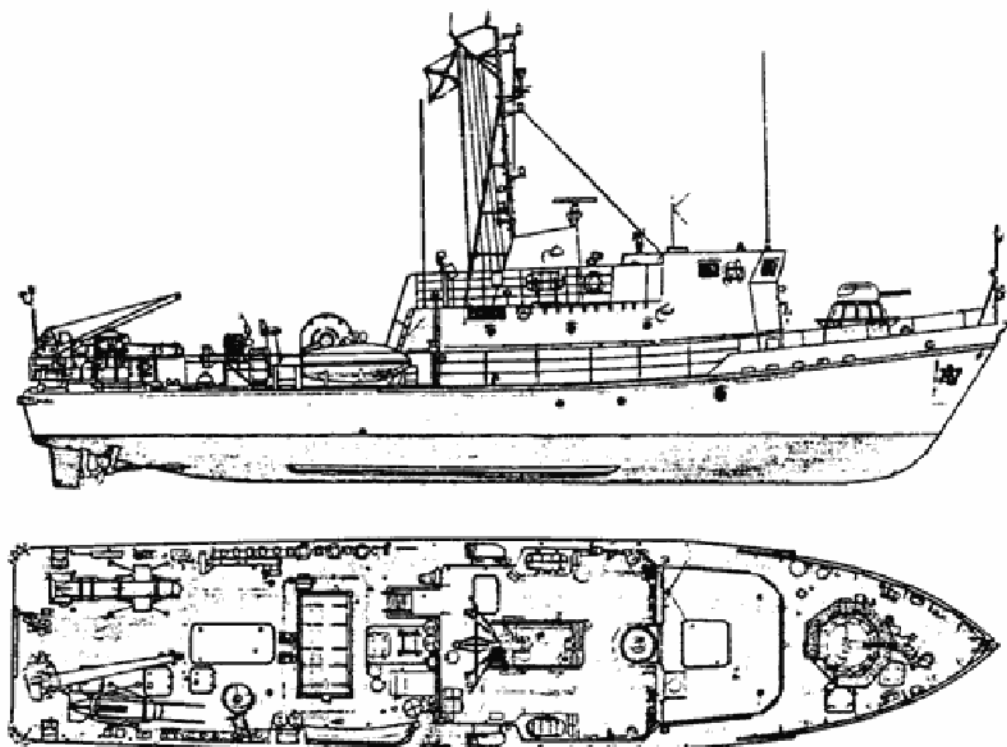
koriste uređaje za kontrolu i smanjenje broskog magnetizma.

Minolovac za unutrašnje vode PROJECT 10750

Minolovac PROJECT 10750 je u operativnoj upotrebi od 1989. godine, a do sada je izgrađeno ukupno 17 brodova. Namenjen je za borbu protiv sidrenih i na dnu ležećih mina, a istovremeno ima kapacitet za lov mina i protivminsko pretraživanje. Prema zapadnom označavanju brod se vodi kao klasa minolovaca LYDA.

Najvažnije karakteristike:

- zemlja proizvođač: Rusija;
- deplasman standardni/puni: 131/135 t;
- materijal gradnje: stakloplastika;
- pogon (kW) : 3×220 , 3 osovine sa 3 propelera sa fiksnim listovima;
- pomoćni pogon : pomoću električnog pokretanja istih osovina;
- dimenzije dužina/širina/gaz (m): 31,45 / 6 / 1,58;
- maksimalna brzina / ekonomična (čv): 12,5 / 10;
- autonomija kretanja: 210 milja pri 12 čvorova, 400 milja pri 10 čv;
- autonomija na moru: 5 dana;
- broj članova posade: 14;
- artiljerijsko naoružanje: protivavionski artiljerijski sistem AK-630, 30 mm (1000 granata);
- raketno naoružanje: IGLA -1, (5 kompleta);
- mogućnost krcanja i polaganja mina: do 8 komada;
- radar: navigacioni;
- protivminski sonar: ugrađen na trupu broda, može biti tipa MG-991 ili zapadne tehnologije TMS 2022;



Sl. 1 – Minolovac za unutrašnje vode PROJEKT 10750

– minolovke: mehaničke, širine zahvata do 120 m i dubine zahvata od 3 do 120 m, akustičke tipa AT i magnetske tipa SEMT;

– protivminske ronilice: tipa KIU-1 ili KIU-2M za rusku tehnologiju, tipa Double Eagle za zapadnu tehnologiju sonara.

Sa novim mogućnostima ruski brodovi postaju interesantni za korisnike, jer je njihova cena gradnje znatno niža od cene zapadnih brodova, a sada imaju i mogućnosti povezivanja sa zapadnom tehnologijom sonara i protivminskih ronilica.

Minolovac–lovac mina klase HUNT

Minolovac klase HUNT je u operativnoj upotrebi od 1980. godine. Do 1990.

godine, kada je prestao da se proizvodi, mada je moguća dalja proizvodnja prema zahtevima, izgrađeno je 13 brodova.

Ovi brodovi namenjeni su za borbu protiv sidrenih i na dnu ležećih mina kao minolovci, opremljeni klasičnim minolovkama, i kao lovci mina opremljeni savremenim protivminskim sonarima i protivminskim ronilicama, prvenstveno za operativna dejstva u obalskim vodama.

Najvažnije karakteristike:

- zemlja proizvođač: Velika Britanija;
- deplasman standardni/puni: 615/750 t;
- materijal gradnje: stakloplastika;
- pogon (kW) : 2 Ruston-Paxman 9-59K Deltic diesel 1396 kW, Deltic type 9-55B 550 kW za napajanje magnetske minolovke, 2 pogonska propelera;

- pomoćni pogon: gasna turbina-generator 60 kW, bow thruster;
- dimenzije dužina/širina/gaz (m): 57-60 / 10 / 2,9-3,4;
- maksimalna brzina (čv): 15 dizel pogon / 8 hidraulični pogon;
- autonomija kretanja: 1500 milja pri 12 čv;
- broj članova posade: 45 (6 oficira);
- artiljerijsko naoružanje: 1 top Oerlikon/BMARC 30 mm/75DS30B, 65° elevacija, brzina gađanja 650 metaka u minuti; domet do 10 km protiv brodova, 3 km protiv aviona (zamenjivan je sa Bofors 40 mm), i 2 topa Oerlikon / BMARC 20 mm;
- radar: navigacioni Kelvin Hughes Type 1006, I band;
- protivminski sonari: tipa Plessey Type 193M, montiran na trupu broda, 100/300 kHz, Type 2059 dodat za praćenje PAP-104 protivminske ronilice;
- minolovke: akustička minolovka tipa Sperry TAG-3, konvencionalna mehanička minolovka Mk8 Oropesa i magnetska petljasta minolovka MS14;
- protivminske ronilice: 2 × PAP-104 Mk3.

Lovac mina SANDOWN

Predviđeno je da SANDOWN zameni klasu minolovaca HUNT i RIVER u zadacima lova mina i njihovog uništenja u dubokim vodama. U operativnoj upotrebi je od 1989. godine, i od tada spada u najskuplje ali najsavremenije i najbolje opremljene lovce mina. Poseduju ga Velika Britanija i Saudijska Arabija (6 brodova).

Namenjen je za izvršavanje zadataka održavanja čistih plovniha ruta, kontrolu plovniha ruta, protivminsko pretraživanje i uništavanje otkrivenih mina i minskih polja.

- Najvažnije karakteristike:
- zemlja proizvođač: Velika Britanija;
- deplasman standardni/puni: 390/480 t;
- materijal gradnje: stakloplastika;
- pogon (kW) : 2 dizel motora Paxman Valenta 6-RP 200E, 500 kW svaki pri 1200/1800 o/min, Voith - Schneider propulzija 2205 kW cikloidalni propeler sa pet listova, 2 pogonske osovine;
- pomoćni pogon: 2 motora tipa Schottel elektrik kao pogon za bow thruster;
- dimenzije dužina/širina/gaz (m): 52,7 / 10,5 / 2,1;
- maksimalna brzina (čv): 14 dizel; 0-6,5 električni pogon;
- autonomija kretanja (milja): 3000 pri 12 čvorova;
- broj članova posade: 34 (7 oficira);
- artiljerijsko naoružanje: 1 top Oerlikon/DES30 mm/75DS30B, 65° elevacija; brzina 650 metaka u minuti; domet do 10 km protiv brodova i 3 km protiv aviona;
- oružni sistem: British Aerospace VEMS, Defence Equipment Systems 30 mm;
- radar: navigacioni Kelvin Hughes Type 1007, I band, Racal HYPERFIX, Decca NAVIGATOR MK21;
- protivminski sonari: Plessey Type 2093 ili 2059, VDS, dvostruke visoke frekvencije za traženje i klasifikaciju mina, postoji verzija sonara montiranog na trupu broda i verzija sonara koji se tegli na određenoj dubini tako da se mine mogu osmatrati sa manjeg rastojanja;
- komandni protivminski sistem: Plessey Nautis M;
- protivminske ronilice: ECA sistem za uništavanje mina sa dve protivminske ronilice tipa PAP-104 Mk 5.

Protivminski brodovi klase AVENGER

Ugovor o prototipu broda klase AVENGER sklopljen je 1982. godine, a planirani rokovi isporuke nisu poštovani sve do 1987. godine. Od tada su ovi brodovi postepeno uvedeni u naoružanje i do sada ih je u floti SAD ukupno 14. AVENGER je jedan od najsavremenijih brodova namenjen za sve vrste protivminskih dejstava. Na brodu oznake MCM-1 bilo je oko 600 izmena prvobitnog projekta, dok je na brodu MCM-2 bilo oko 400 izmena u toku gradnje. Takođe, zamenjeni su i prvobitno predviđeni glavni motori sa italijanskim motorima Isotta-Fraschini iz Milana.

Brod je namenjen za izvođenje svih vrsta protivminskih dejstava od protivminskog pretraživanja, održavanja slobodnih plovnih ruta, razminiranja minskih polja do uništavanja mina. Jednako je uspešan u borbi protiv sidrenih kao i na dnu ležećih mina.

Najvažnije karakteristike:

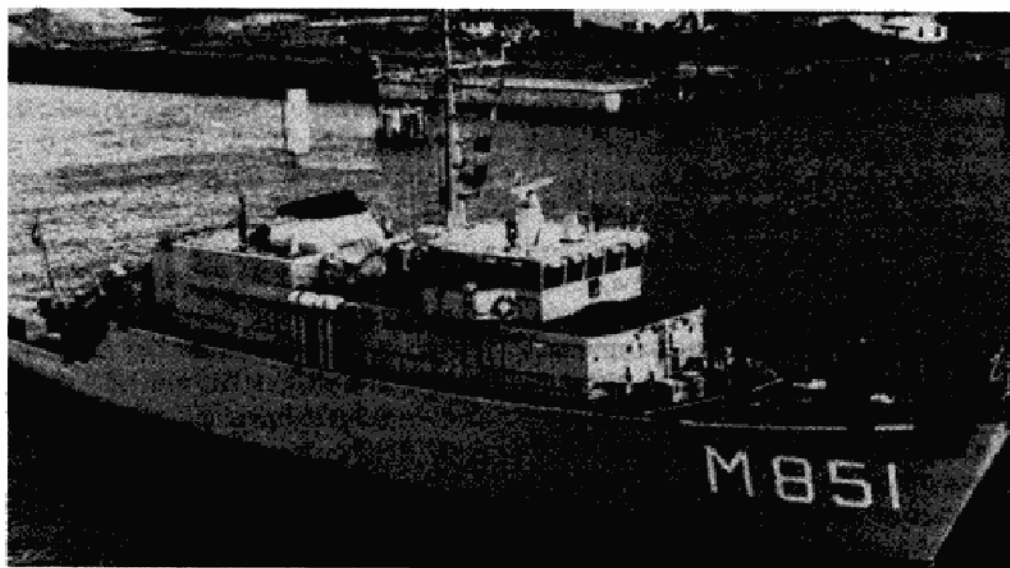
- zemlja proizvođač: SAD;
- deplasman standardni/puni: 1145/1312 t;
- materijal gradnje: drvo sa oblogom prema morskoj vodi od stakloplastike;
- pogon (kW): 4 motora Waukesha LN-1616 dizel 1764 kW, 2 shafts, 2 bow thruster;
- pomoćni pogon: 4 motora Issotta-Fraschini IFD36, 2 električna motora 294 kW za minsko pretraživanje, 1 solar gas turbine generator;
- dimenzije dužina/širina/gaz (m): 68,3/11,9/3,5;
- maksimalna brzina (čv): 14;
- autonomija kretanja (milja): oko 4000;

- broj članova posade: 81 (6 oficira, 5 podoficira);
- artiljerijsko naoružanje: mitraljezi $2 \times 12,7$ mm MGs;
- radar: za površinsko pretraživanje ISC Caridon SPS 55, I/J band, $1 \times$ SPS-55 radar, $1 \times$ AN/SSN-2PINS;
- protivminski sonari: tipa General electric SQQ30 ili SQQ 32;
- protivminski navigacioni sistem: tipa SATCOM SRR-1, WSC-3(UHF);
- minolovke: magnetske i akustičke Oropessa Type O Size 1, mehanička $1 \times$ AN SLQ-37(V)2 ili modifikovana verzija AN/SLQ-53, EDO ALQ166 magnetska tegleća helikopterska minolovka preuređena za brodove;
- protivminske ronilice: $2 \times$ MNS/SLQ-48.

Lovac mina ERIDAN

ERIDAN predstavlja zajednički projekat Francuske (rešavani problemi gradnje trupa od stakloplastike), Holandije (rešavana propulzija broda) i Belgije (rešavani problemi elektroinstalacije), a u operativnoj upotrebi je od 1977. godine. Do 1988. godine izgrađeno je 15 brodova za RM Holandije, 10 brodova za RM Belgije i 10 brodova za RM Francuske.

Lovac mina ERIDAN (poznat i kao TRIPARTITE) jedan je od najsavremenijih klasičnih jednotrupnih brodova. Može da otkriva i uništava na dnu ležeće mine do dubina od 100 metara. Pored visokih rezultata u borbi protiv ove vrste mina, odlične rezultate postiže i u borbi protiv sidrenih mina uz pomoć kvalitetnih mehaničkih minolovki. Pored ovih zadataka namenjen je i za patroliranje, protivminsko pretraživanje i obezbeđenje plovnih ruta.



Sl. 2 – Lovac mina klase ERIDAN (Tripartite)

Najvažnije karakteristike:

- zemlje proizvođači: Francuska, Holandija i Belgija;
- deplasman standardni/puni: 562/595 t;
- materijal gradnje: stakloplastika;
- pogon (kW): 1 dizel motor Brons Werkspoor A-RUB 215/V12, 1675 kW sa cp propelerom, 2 × 88kW ACEC active ruder + twin Schottel bow thruster;
- pomoćni pogon: 3 × 250 kW Astazou IVB, dizel generator snage DAF DKT 1160;
- dimenzije dužina/širina/gaz (m): 51,5/8,9/2,45 (2,47);
- maksimalna brzina (čv): 15 (15,5), a sa električnim pogonom 7;
- autonomija kretanja: 3000 milja pri 12 čvorova;
- autonomnost na moru: 15 dana (15 + 5 dana rezerve);
- broj članova posade: 46 (5 oficira);
- artiljerijsko naoružanje: 1 top G/AT 20 mm French F2, mitraljez 1 × 12,7

mm MG ili top 2 × Rheinmetall 20 mm 520;

- radar: navigacioni Racal Decca 1229, I band;
- autopilot: tipa Alcatel CGA PACT;
- žirokompas: Sagem GGM4, (Plath Navigat V system);
- radio lokacioni sistem: Decca Hifix, (Thomson TMV628 Trident III);
- protivminski sonari: Thomson Sintra DUBM-21, (Thomson CSF TSM2022, Ibis V), montirani na trupu broda, aktivni, visokofrekvencijski, 100 ± 10 kHz;
- ehosonder: Safere Crouzet NUBS 8A + 14A, (Safere Crouzet NUBS 8A + 14 A);
- minolovke: mehaničke OD3 single Oropesa, akustičke AP-4 (AS 203 SA Marine), magnetske (Fiskar M82);
- protivminske ronilice: 2 × PAP 104;
- degausing sistem: ENI/Thomson TSM.3316. Ima funkciju da magnetsko

polje broda svede na minimum, i na taj način ga zaštititi od magnetskih, odnosno indukcionih mina.

Lovac mina LERICCI (GAETA)

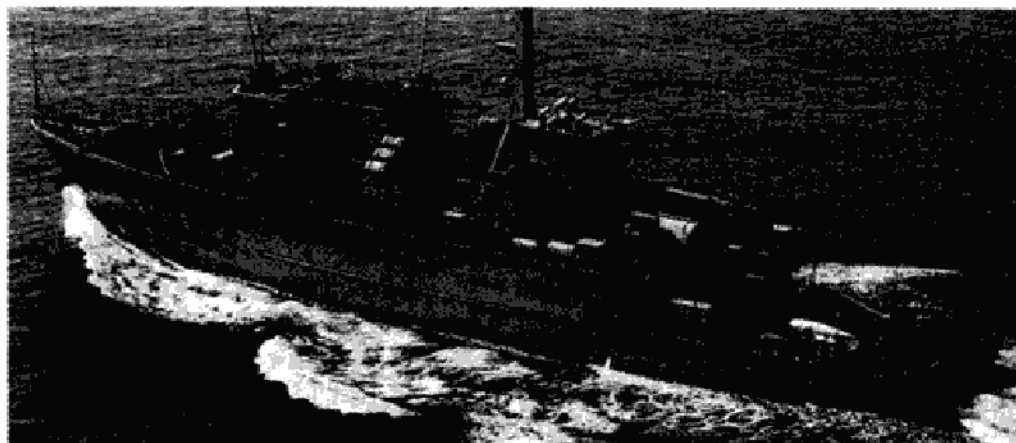
Od 1983. godine u operativnoj upotrebi nalazi se lovac mina LERICCI. Namenjen je za izvršavanje protivminskog pretraživanja, držanje otvorenih plovniha ruta, kao i za periodičnu kontrolu prilaza i ulaza u luke. U protivminskoj borbi predviđen je za lov mina i uništavanje pomoću klasičnih mehaničkih minolovki, a spada u najsavremenije i najefikasnije brodove.

Najvažnije karakteristike:

- zemlja proizvođač: Italija;
- deplasman standardni/puni: 470 (500)/502 (560) t;
- materijal gradnje: staklom ojačana plastika, visoko otporna na podvodne eksplozije, zadovoljava standarde NATO;
- pogon (kW): 1 dizel motor Fincantieri GMT B230 8M, 1352 kW, 1 vp propeler, (KaMeWa CP propeler);
- pomoćni pogon: 3 dizel motora Isotto - Fraschini ID 36 SS6V, 323kW koja pogone 3 hidraulične Thruster pro-

pelera (1 na pramcu i 2 na krmi) u toku lova mina;

- dimenzije dužina/širina/gaz (m): 50 (51) / 9,0 (9,6) / 2,6 (2,75);
- maksimalna brzina (čv): 14,5 (16);
- autonomija kretanja: 2500 milja pri 12 čvorova;
- broj članova posade: 42 do 50 (3 oficira);
- artiljerijsko naoružanje: 1 top Oerlikon 20 mm/70 ili 2 Oerlikon 20 mm/70, II cevi, (2 × 30 mm ili 2 × 20 mm ili 2 × 12,7 mm ili 1 × 40 mm);
- radar: navigacioni SMA SPN 728V(3), I band, opsega 73 km;
- sistemi pozicioniranja: Motorola MRSIII/GPS Eagle precision navigation system with Datamat SMA SSN-714V(2), automatski zapis i radarska indikacija IP-7113;
- protivminski sistem: IBIS V i IBIS V/TSM.2060;
- protivminski sonari: CGE-FAIR SQQ14VDS ili FAIR SQQ14(IT) VDS, za klasifikaciju ili pretraživanje ruta;
- minolovke: mehanička Oropesa Mk 4;
- protivminske ronilice: za otkrivanje i identifikaciju i klasifikaciju mina 1



Sl. 3 - Lovac mina klase LERICCI

MIN 77 Mk2 i za uništavanje mina 1 Pluto plus.

Lovac mina MJ 332

Program razvoja broda MJ 332 započet je u septembru 1988. godine, po završetku gradnje, odnosno projektovanja minolovaca tipa 343. Prvi brod je primljen u sastav flote 1992. godine, a građen je od istih materijala kao i tip 343. Prvenstveno je namenjen za lov mina, protivmiska pretraživanja i kontrolu plovnih ruta, kao i obezbeđivanje ulaza luka i uvala od minske opasnosti.

Najvažnije karakteristike:

- zemlja proizvođač: Nemačka;
- deplasman puni: 650 t;
- materijal gradnje: amagnetski čelici koji su korišćeni za podmornice tipa 206. Osnovni razlog za to jeste što je vreme gradnje broda od čelika kraće, jednostavnija gradnja i cena je niža;

- pogon (kW): 2 dizel motora MTU 16V-538-TB91, 4512 kW, 2 pogonske osovine sa 2 VP propelera;

- pomoćni pogon: 1 motor na električni pogon za lov mina za pogonjenje Voith - Schneider cikloidnih propelera;

- dimenzije dužina/širina/gaz (m): 54,5/9,2/2,6;

- maksimalna brzina (čv): 18;

- autonomija kretanja: oko 2500 milja;

- broj članova posade: 40;

- artiljerijsko naoružanje: 2 topa Bofors 40 mm/70, 90° elevacije, brzina gađanja 330 granata u minuti, domet do 12 km protiv brodova, do 4 km protiv aviona;

- raketno naoružanje: SAM 2 Stinger AA;

- radar: navigacioni Raytheon, I band;

- protivmiski sonari: Krupp Atlas DSQS-11M (prve verzije lovaca mina

imale su MWS 80-4), visoke frekvencije, čvrsto montirani na trup broda;

- sistem za lov mina: SATAM;

- protivmiska ronilice: 2 × PI-GUIN B3 sa sonarom DDSX 11A, za identifikaciju, klasifikaciju i uništavanje mina. Ima mogućnost polaganja do dva eksplozivna punjenja u toku jednog manevra spuštanja u vodu.

Lovac mina - minolovac LANDSORT

Razvoj broda započet je 1981. godine, a u operativnoj upotrebi je od 1984. godine. Poslednji iz ove generacije brodova uveden je u upotrebu 1991. godine u sastav flote RM Švedske. Namenjen je za razminiranje minskih polja bilo minolovkama kao minolovac ili protivmiskom ronilicom kao lovac mina. Pored toga, izvršava i zadatke protivmiskog pretraživanja i obezbeđivanja plovnih ruta.

Najvažnije karakteristike:

- deplasman standardni/puni: 270/360 t;

- materijal gradnje: staklom ojačana plastika, posebna višeslojna konstrukcija;

- pogon (kW) : 4 dizel motora Saab - Scania DSI 14, 1058 kW, spojenih u par sa 2 Voith Schneider propellers;

- pomoćni pogon: rešen pomoću 2 Voith Schneider propelera;

- dimenzije dužina/širina/gaz (m): 47,5/9,6/2,2;

- maksimalna brzina (čv): 15;

- autonomija kretanja: 2000 milja pri 12 čvorova;

- broj članova posade: 26 (12 oficira) plus 13 slobodnih mesta;

- artiljerijsko naoružanje: 1 top Bofors 40 mm/70 Mod 48/85° elevacije, brzina gađanja 300 granata u minuti, domet do 12,5 km, 2 puškomitraljeza 7,62 mm MG;

- kontrola vatre: Philips 9LV 100;

- dimne zavese: 4 Saab Elma 9, opseg 300 m, glava 4,2 kg;
- radar: navigacioni Thomson CSF Terma, I band;
- protivminski sonari: Thomson CSF TSM-2022;
- kontrolni sistem: Racal Decca Mains;
- minolovni sistem: Philips 9MJ 400;
- minolovke: veoma kvalitetne mehaničke i akustičke minolovke tipa Oropesa;
- protivminske ronilice: 2 × Sea Eagle;

Lovac mina LM 151

Brodovi minolovci klase LM 151 kupljeni su u Francuskoj 1955/57. godine i od tada se nalaze u sastavu flote RM Jugoslavije. U toku 1985/88. rekonstruirani su i pretvoreni u lovce mina – minolovce. Ugrađeni su im protivminski sonari i protivminske ronilice, a zadržali su na sebi klasične minolovne sisteme. Sada se u sastavu RM VJ nalaze dva broda ove klase.

Brod je namenjen za izvršenje zadataka protivminskog pretraživanja, uništavanja otkrivenih mina kao lovac mina i razminiranja otkrivenih minskih polja minolovkama. Pored ovih zadataka brod je namenjen i za provođenje brodova kroz opasne zone.

Najvažnije karakteristike:

- deplasman puni/standardni: 383/323 t;
- materijal gradnje: drvo-aluminijska konstrukcija;
- pogon (kW): dva motora dizel SEMT-Pielstic 16PA1-175, snage 1400 kW, sa dve pogonske osovine;
- pomoćni pogon: rešen pomoću električnog pogona istih osovina sa propelerima;

- dimenzije dužina/širina/gaz (m): 46,65/8,72/2,41;
- maksimalna brzina (čv): 15;
- autonomija kretanja (milja): pri 13,5 čvorova 2548, pri 10 čvorova 3000;
- autonomnost na moru (dana): 7;
- broj članova posade: 35 (2 oficira);
- artiljerijsko naoružanje: top Hispano M71 20 mm, bojevi komplet granata 4200;
- raketno naoružanje: rakete kratkog dometa tipa STRELA;
- radar: DECCA RM-1226, navigacioni Thomson-CSF DRBN30, uređaj za legitimisanje HROM-K;
- radiološki detektor: DRB-M81;
- radio-primopredajnik: AN/ARC-3;
- radio-prijemnik: SIEMENS 309;
- radio-teleprinterski uređaj: RTU-100/M;
- protivminski sonar: Plessey 193M montiran na trupu broda;
- dubinomer: ATLAS-470;
- uređaj za kompenzaciju broskog magnetizma: tipa ADS-3;
- prenosna rekompresiona komora: tipa GALEAZZI;
- minolovke: mehanička MDL-4, petljasta elektromagnetska PEML-1, eksplozivna akustička AEL-2, akustička AT-2 i ABL-1;
- protivminske ronilice: 2 × PAP 104.

Rečni minolovac 341 Novi Sad

Razvoj minolovca klase NEŠTIN započeo je 1972. godine, a prvi brod je ušao u sastav Rečne ratne flotile RM Jugoslavije 1975. godine. Ukupno je izgrađeno sedam minolovaca ove klase, kao i jedan modernizovani brod Novi Sad. Građen je i predviđena je dalja gradnja kako za RM VJ tako i za druge naručioce. Zemlje korisnice su Jugoslavija, Mađarska i Irak.

Brod je namenjen za borbu protiv položenih mina na unutrašnjim plovim putevima, polaganje osnovnih i dopunskih minskih prepreka, prevoženje ljudstva i opreme, patroliranje i izviđanje, tegljenje plovnih objekata, kao i podršku snaga u priobalnom području.

Najvažnije karakteristike:

- zemlja proizvođač: SR Jugoslavija;
- deplasman puni/standardni: 79,6/57,3 t;

- materijal gradnje: legura aluminijuma AIMg4.5Mn;

- pogon (kW): 2 dizel motora TORPEDO B 539RM, snage 191 kW, dve pogonske osovine sa propelerima;

- dimenzije broda dužina/širina/gaz (m): 27,00/6,50/0,77-1,08;

- maksimalna brzina (km/h): uzvodno 18, nizvodno 26, ekonomska 22;

- autonomija kretanja ekonomskom brzinom (km): 3186;

- autonomnost na vodi (dana): 15;

- broj članova posade: 17 (1-2 oficira);

- potrošnja goriva (kg/čas): 68-75;

- brodske zalihe vode (t): 2;

- brodske zalihe goriva (t): 10,7;

- artiljerijsko naoružanje: dva četvorocevna topa Hispano M75, kalibar 20 mm, bojni komplet granata 7200 kom, domet 2000 m;

- raketno naoružanje: rakete kratkog dometa STRELA 2-M;

- mogućnost krcanja i polaganja mina (kom): 24 mine R-1; 18 mina AIM-M82, 24 mine ROKAN, 36-48 mina PLRM-1A;

- radar rečni navigacioni: RR 205 DMT;

- teleprinterski uređaj: T-100;

- žiro kompas: Anšic standard 12;

- sonar panoramski: PP-10M;

- dubinomer ultrazvučni: RIZ-D15;

- uređaj za kompenzaciju broskog magnetizma: ADS-3 M;

- minolovke: mehanička MDL-2R, pontonska (akustičko-elektromagnetska) PEAM-1, akustička eksplozivna AEL-1;

- mogućnost krcanja vojnika sa naoružanjem i opremom (kom): 100.

Umesto zaključka

Protivminsko ratovanje postaje sve složenije, što nameće sve veća istraživanja i traženje novih mogućnosti borbe protiv mina. Zbog toga se može očekivati primena novih sistema za neutralizaciju mina, kako brodovima, tako i iz vazdušnog prostora, napravama koje podsećaju na torpeda, a ispaljuju se iz helikoptera koji ga navodi na usidrene ili na dnu ležeće mine. Istraživački naponi se nastavljaju u razvoju termovizijskog sistema za izbegavanje mina, koji je zasnovan na uređaju za osmatranje postavljenom na jarbolu. Dva razvojna modela laserskog sistema za otkrivanje mina izrađena su i već se testiraju. Ukoliko bi model „MAGIC LANTERN - 90“ mogao da se postavi na avion „F/A - 18 HORNET“, avionom bi moglo da se izvrši pretraživanje zone za potrebe izvršenja pomorskog desanta, i da se otkrije prisustvo mina.

Osnova protivminske odbrane nalazi se u mogućnosti definisanja opasnosti koju predstavljaju mine. Što su mogućnosti poznavanja opasnosti veće, veće su i mogućnosti njihovog neutralisanja.

Literatura:

[1] Sea power, januar 1997.

[2] Military parade Ltd, Russia ARMS catalog volume II Navy, 1996-1997.

[3] Jane's fighting ships, 1996-1997.

[4] Maritime defence, 5/1994.

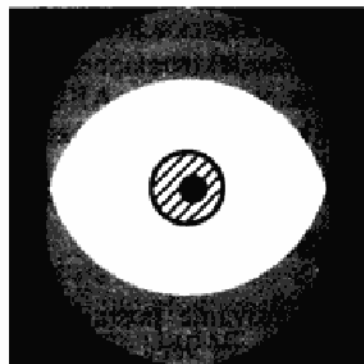
[5] Naval forces, III/1996.

[6] Naval forces special issue 5/1996.

[7] Defendory 96, Izložba naoružanja i vojne opreme, Atina (prospektni materijali).

[8] Naval forces, VI/1995.

[9] Naval forces, I/1995.



prikazi iz inostranih časopisa

PERSPEKTIVE RAZVOJA RAKETA VAZDUH-VAZDUH*

Osnovni zadatak borbenih aviona lovačke avijacije je ostvarenje prevlasti u vazдушnom prostoru, tj. onemogućavanje protivnika da primeni svoju avijaciju u određenoj oblasti u toku zadatog vremena.

Među pokazatelje efikasnosti, koji se koriste za ocenu kvaliteta izvršenja borbenih zadataka spadaju: verovatnoća pobeđe lovaca presretača, u vazdušnoj borbi jedan protiv drugog, matematičko očekivanje poraza učesnika u grupnoj borbi, i slično. Ti pokazatelji u znatnoj meri zavise od letno-tehničkih karakteristika raketa. Kako se raketa sastoji od bojne glave i dinamičkog sistema koji je donosi do cilja, njene karakteristike treba da odražavaju sposobnost izvršenja manevra i oštećenja cilja. Zbog toga se kao osnovne letno-tehničke karakteristike, razmatraju verovatnoća uništenja cilja i veličina zone uništenja.

Oblasti primene letelica na čijem se usavršavanju intenzivno radi predstavljaju nosioce vođenih raketa, i ciljeve za protivnika. To su sledeće vrste letelica: masovna (savremena avijacija čija brzina leta iznosi 0,35–2,36 M, helikopteri br-

zine do 0,3 M i visine leta do 4 km, avioni nadzvučnih brzina brzine do 3 M i visine leta do 25 km, avioni visokih nadzvučnih brzina do 4 M i visine leta do 30 km s tendencijom da do 2005. godine brzina naraste do 6 M a visina leta bude veća od 35 km.

Osnovni problemi koji utiču na borbenu efikasnost aviona, kao borbenog sistema, su: razvoj raketa za dejstvo protiv „stelt“ aviona, odbrana aviona nosača rakete iz zadnje polusfere, projektovanje raketa modularne konstrukcije, povećanje visine dejstva, povećanje daljine dejstva, povećanje manevrabilnosti rakete, algoritmi upravljanja, efektivna refleksna površina rakete, usavršavanja uređaja na savremenim raketama.

Razvoj raketa za dejstvo protiv „stelt“ aviona

Osnovne tendencije razvoja raketa vazduh-vazduh su: proširenje oblasti primene s obzirom na vrstu aviona koji ih nose; primena za dejstvo po ciljevima koji su projektovani na principu „stelt“ tehnologije; povećanje nivoa sopstvene „steltosti“ (smanjenje vidljivosti rakete u raznim delovima elektromagnetnog spektra); smanjenje čeonog otpora aviona koji nosi rakete.

Prema raspoloživim informacijama, eksperimentalna američka raketa HEV

* Prema podacima iz časopisa VOENNIJ PARAD, jul-avgust 1998.

DEŠ-2 odgovara navedenim tendencijama razvoja perspektivnih raketa.

Visoka eksploataciona univerzalnost rakete (mogućnost smeštaja unutar trupa aviona koji je nosi, kao i spolja) postiže se asimetričnom konfiguracijom tela rakete (trougaoni bokovi) sa ravnom površinom trupa.

Raketa HEV DEŠ-2 prvobitno je bila namenjena za naoružanje perspektivnih „stelt“ aviona i za zamenu američke rakete AMRAAM (Advanced Medium Range Air-to-Air Missile – savremena raketa vazduh-vazduh srednjeg dometa). Asimetrična konfiguracija joj obezbeđuje: smeštanje unutar trupa aviona, kao i spolja; manevrisanje s preopterećenjima do 50 g u bočnom zaokretu.

Raketa ima sledeće karakteristike:

- poletnu masu 180 kg;
- čeon otpor joj nije veći od 1% od čeonog otpora aviona F-15;
- vreme sklapanja prstenova i otvaranja kormila iznosi 75 milisekundi.

Pojava informacija o raketi HEV DEŠ-2 postavila je pred ruske konstruktore problem kritičkog preispitivanja novih tehničkih rešenja, koja se koriste kod ove rakete, a posebno napuštanje klasičnih osnosimetričnih konstrukcija kružnog poprečnog preseka kao i klasičnih metoda upravljanja u Dekartovom koordinatnom sistemu.

Odbrana aviona nosača rakete iz zadnje polusfere

Do sada je više puta pokušavano da se reši ovaj problem, ali do danas nije nađeno potpuno rešenje. Osnovna prepreka je bila što lovački avioni nisu imali radar za zadnju polusferu, što je do sada na više aviona otklonjeno.

U principu, moguće su sledeće varijante projektovanja rakete za odbranu

aviona iz zadnje polusfere (odbranu repa aviona):

– raketa koja se lansira direktno (raketa se lansira u smeru leta aviona – ugao između smera lansiranja rakete i smera leta aviona jednak je nuli), koristeći obilaznu trajektoriju minimalnog poluprečnika sa zaokretom vektora brzine za ugao od 180°, takozvana svesmernost;

– raketa koja se lansira suprotno (ugao između smera lansiranja rakete i smera leta aviona jednak je 180°). U ovom slučaju dopunska brzina rakete koju joj daje njen pogonski motor suprotnog je smera od brzine aviona naoružanog raketom, što dovodi do potrebe da raketa prođe kroz nultu apsolutnu brzinu.

Projektovanje raketa modularne konstrukcije

Različiti zahtevi koji se postavljaju pred savremene rakete, kao i značajan uticaj uslova vazdušne borbe, zahtevaju primenu modularnog principa u konstrukciji raketa, koji se zasniva na zamenjivim glavama za samonavodeње (GSN) različitih tipova: radarsko samonavodeње (aktivno, poluaktivno, pasivno), toplotno, itd., kao i zamenjivih raketnih motora različitih tipova. Provera principa modularnosti kod rakete R-27 dala je pozitivne rezultate. Ovim rešenjem povećava se univerzalnost konstrukcije i stepen njene prilagodljivosti na uslove upotrebe, ali i stvara mogućnost upravljanja sistemima naoružanja aviona, kako na jednom avionu, tako i u okviru grupe aviona (raspodela borbenih zadataka između aviona u grupi).

Povećanje visine dejstva

Maksimalna visina dejstva savremenih raketa srednjeg i velikog dometa

iznosi oko 25 do 30 km. Povećanje te visine, kod raketa savremenih konstrukcija, povezano je sa poteškoćama aerodinamičke prirode (ograničenja vezana za preopterećenja), i oko obezbeđenja potrebne tačnosti navođenja (ograničenja, kod raketa sa radarskim GSN, povezana sa greškama goniometrisanja).

U današnje vreme javlja se potreba za dejstvom raketama vazduh-vazduh po hiperzvučnim ciljevima koji lete na velikim visinama, kao i ciljevima tipa balističkih raketa i njihovim bojnim glavama. Zbog toga su potrebne rakete vazduh-vazduh koje će moći dejstvovati i na visinama preko 100 km. Rakete koje mogu da obezbede tu visinu treba da budu dvostepene, pri čemu kod drugog stepena treba da se koristi gasodinamički način formiranja sila upravljanja.

Povećanje daljine dejstva

Problem povećanja daljine dejstva raketa velikog i supervelikog dometa, u poređenju sa dometima postignutim do sada, povezano je sa usavršavanjem balističkih osobina rakete, i sistema upravljanja raketom. Ovo poslednje može se postići primenom kombinovanog sistema upravljanja s inercijalno-korekcionim, poluaktivnim i aktivnim radarskim samonavođenjem.

Rezultati modeliranja vazdušnih borbi lovačkih aviona sa raketama RVV-AE (Rusija) i AMRAAM, pokazuju da lovac presretač sa raketom boljih aerobalističkih karakteristika ima prednost u borbi. Nivo aerobalističkih karakteristika uslovljen je ukupnim uticajem balističkog koeficijenta i energetskeg potencijala rakete.

Kod projektovanja raketa srednjeg i velikog dometa sa veoma visokim aeroba-

lističkim karakteristikama pri ostrim ograničenjima u vezi poletne mase i dimenzija, neophodno je primeniti nova tehnička rešenja, među koja spadaju: opremanje savremenih raketa sa kombinovanim raketnim motorima i dvostepena konstrukcija raketa s posebnim motorom za njen start.

Rad na projektima koji se odnose na prvo rešenje je u toku i u Rusiji i u svetu. Veći specifični impuls kod raketa sa kombinovanim raketnim motorom, u odnosu na rakete sa raketnim motorom na čvrsto gorivo, omogućava bitno povećanje maksimalne balističke daljine leta. Ispitivanja pokazuju da je maksimalni domet, u prednjoj polusferi, raketa sa kombinovanim raketnim motorom za 1,5 puta veći od odgovarajuće rakete sa raketnim motorom na čvrsto gorivo.

Povećanje manevribilnosti rakete

Pred savremene rakete se postavljaju veći zahtevi u pogledu manevribilnosti: raspoloživa preopterećenja 40 do 50 g i ravnotežni napadni uglovi 40 do 50°. Takvo povećanje napadnih uglova dovodi do neželjenih uticaja nelinearnosti aerodinamičkih karakteristika rakete i unakrsnih veza između kanala, što znatno uslovljava aerodinamičko projektovanje ovih raketa kao letelica u odnosu na rakete prethodnih generacija. Do sada su u značajnoj meri razvijene i proverene tehničke metode kompenzacije navedenih nedostataka.

Algoritam upravljanja

Sistemi upravljanja savremenih raketa, počev od raketa četvrte generacije, koriste digitalne računare na raketi, koji ovim sistemima daju niz novih osobina,

kao što su: bitno povećanje daljine dejstva (do nekoliko stotina km); potpuna ili delimična autonomnost; višekanalnost, tj. mogućnost istovremenog dejstva po nekoliko ciljeva. U vezi s tim, povećanje daljine dejstva zahteva upotrebu kombinovanih sistema upravljanja, koji na različitim delovima putanje koriste različite vrste navođenja. Danas poznati sistemi upravljanja imaju tri režima: inercijalni s korekcijom od aviona nosača rakete, poluaktivno samonavođenje i aktivno samonavođenje.

Inercijalno navođenje, koje se koristi u toku većeg dela leta rakete, 60 do 70%, zahteva veoma preciznu inercijalnu osnovu na raketi, koja se realizuje inercijalnim sistemom upravljanja. U takvom sistemu digitalni računar obavlja funkciju centralnog računara rakete. Pored njega u sistemu upravljanja koristi se digitalni računar u glavi za samonavođenje rakete i digitalni računar na avionu koji nosi raketu. Takvi sistemi upravljanja, zasnovani na tri računara, uvedeni na više raketa četvrte generacije, smatraju se danas necelishodnim. Naime, zbog toga što svaki od podsistema sistema upravljanja koristi različite davače (radar aviona koji nosi raketu, poluaktivni i aktivni kanal glave za samonavođenje) postoji problem formiranja univerzalnog sistema algoritama.

Efektivna refleksna površina

Problem utvrđivanja efektivne refleksne površine savremenih raketa nastao je radi potrebe smanjenja njihove vidljivosti (povećanja „steltnosti“). Taj problem postojao je i pri razvoju klasičnih raketa. Kod razvoja rakete RVV-AE bilo je predviđeno da se koriste rešetkasta kormila, čija je osnovna prednost mali

zglobni moment. Na primer, kod rakete mase 170 kg može se obezbediti zglobni moment reda veličine 1,5 do 2,0 kg. Osim toga, rešetkasta kormila se lako sklapaju, što, uz krilo veoma male dužine, daje veoma male poprečne dimenzije rakete u transportnom položaju.

Sprovedena ispitivanja pokazala su da u razvijenom položaju kormila povećavaju čeonu otpor i efektivnu refleksnu površinu.

Problem usavršavanja uređaja na savremenim raketama

Kako pokazuju analize, razvoj savremenih raketa zahteva usavršavanje uređaja na raketama, u sledećim osnovnim pravcima:

- ugradnju radio-visinomera u sistem upravljanja raketom, što je posebno važno za male visine dejstva;
- razvoj glava za samonavođenje sa više režima rada u centimetarskom i milimetarskom opsegu, kao i kombinovanih glava za samonavođenje;
- razvoj antenskih sistema sa niskim nivoom bočnih snopova i kružnom polarizacijom, koje rade u dva opsega, kao i nepokretnih antena;
- razvoj termootpornih antena aerodinamičkog oblika koje rade u veoma širokom opsegu i imaju mali koeficijent apsorpcije i male pelengacione (goniometarske) greške;
- razvoj digitalnih računara brzine do 10^6 operacija/s, za ugradnju na rakete;
- razvoj GSN malih dimenzija na bazi matričnog fotoprijemnika sa brzim sistemom hlađenja;
- razvoj inercijalnih sistema na bazi laserskih žirometara i akcelorometara velike tačnosti;

– razvoj NDC na bazi radarskih i laserskih modula, adaptivnih za niskoteleće ciljeve;

– razvoj izvora napajanja i napojnih vodova koji imaju duže vreme rada.

Zbog mnogobrojnih uzajamnih veza koje postoje između rakete i letelice (aviona) koja nosi raketu, objektivna ocena borbenih mogućnosti rakete i određivanje optimalnih parametara njenog oblika veoma je složeno. Da bi se to rešilo potreban je složen, sistemski pristup, koji omogućava da se pravovremeno, u prvim fazama razvoja rakete uzmu u obzir protivrečni zahtevi koji značajnije (na višem nivou hijerarhije) utiču na njene parametre.

S. Pokorni



PROTIVRAKETNI SISTEM THAAD*

Američki mobilni protivraketni sistem (PRS) za presretanje na velikim daljinama i visinama THAAD (Theater High Altitude Area Defense), namenjen je za uništavanje operativno-taktičkih raketa (OTR, dometa do 1 000 km) i balističkih raketa srednjeg dometa (BRSD, dometa do 3 500 km), na visinama 40 do 150 km i daljinama do 200 km. Naučnoistraživački i razvojni rad na ovom sistemu, prema dostupnim podacima, započela je 1992. godine firma Lokid (sada deo korporacije Lokid-Martin). Uvršten je među sisteme sa najvišim prioritetom u projektima protivraketne odbrane na bojištu, i nalazi se u fazi provere tehničke izvodljivosti odabrane koncepcije. Početkom 1995. godine na poligonu Vajt Sends u Nju Meksiku postavljeni su ispitni primerci lansirnog oruđa, višenamenskog

radara GBR-T i komandne stanice, i započeta letna ispitivanja eksperimentalnih primeraka rakete ovog sistema.

Raketa sistema THAAD

Raketa sistema THAAD je jednostepena sa čvrstim gorivom (masa 900 kg, dužina 617 cm, maksimalni prečnik tela 37 cm), a sastoji se od prednjeg dela, prelaznog dela i raketnog motora sa repnim stabilizatorom.

Prednji deo rakete izrađen je kao zaseban samonavodeći stepen za presretanje, a namenjen je za uništavanje balističkih ciljeva direktnim pogotkom. Nosni deo stepena za presretanje poseduje: višespektralnu infracrvenu (IC) glavu za samonavođenje (GSN), koja radi u srednjem (3,3 do 3,8 μm) i daljem (7 do 10 μm) IC opsegu, komandno-inercijalni sistem vođenja, računar, izvor napajanja, kao i motore za upravljanje manevrisanjem i za prostornu orijentaciju.

Infracrvena glava za samonavođenje ima neskanirajući matrični fotoprijemnik, koji predstavlja fokalnu rešetku izrađenu od osetljivih elemenata na bazi antimónida indijuma, sa ugaonom rezolucijom manjom od 200 mikroradijana (do 1997. godine osetljivi elementi eksperimentalne GSN rađeni su od silicida platine). U fazama demonstracije i provere tehničke izvodljivosti razmatrana je upotreba raznih vrsta motora u sistemu za upravljanje stepena za presretanje, a planira se ugradnja sistema za upravljanje i prostornu orijentaciju tipa DACS (Divert Attitude Control System) sa motorom na tečno gorivo, koji bi se uključivao na krajnjem delu putanje rakete radi obezbeđenja njenog direktnog pada na balistički cilj. Ovaj motor sastoji se od četiri mikromotora sa četiri upravljačke mlaznice i kori-

* Prema podacima iz časopisa ЗАРУБЕЖНОЕ ВОЕННОЕ ОБОЗРЕНИЕ, 9/1998.

sti dvokomponentno gorivo. Svaki mikromotor ima masu 1 kg. U njihovoj konstrukciji se koriste ugljenični kompozitni materijali, prekriveni slojem niobijuma, što bez prinudnog hlađenja, u komorama za sagorevanje, omogućuje temperature od 2760°C. Maksimalna vrednost potiska u mlaznici postiže se za manje od 5 milisekundi. Mikromotori se uključuju pomoću solenoidnih ventila, a izvor napajanja može da daje struju od 1,5 A.

Prototip uređaja tipa DACS uspešno je ispitivan maja 1994. godine u laboratorijama firme Rokitdajn. Međutim, planira se zamena ovog uređaja minijaturnim motorima tipa DACS firme Aerodžet, koji koriste gorivo tipa želea (dobija se dodavanjem polimera u komponente postojećih tečnih goriva, a dodaju se i metalni materijali radi povećanja specifičnog impulsa), a objedinjuju prednosti raketnih motora sa tečnim gorivom (veliki specifični impuls, mogućnost tačnog regulisanja potiska i višestrukog uključivanja) i dobre osobine raketnih motora na čvrsto gorivo (bezbednost i pogodnost za održavanje). Međutim, i ova varijanta se smatra samo prelaznom, i planira u budućnosti zamena motorima na čvrsto gorivo. Sadašnji tip motora će se iskoristiti da bi se dovršilo ispitivanje konstrukcije rakete i algoritama navođenja na balistički cilj.

Upravljanje raketom na srednjem delu putanje ostvaruje se promenom vektora potiska pomoću pokretljive mlaznice raketnog motora na čvrsto gorivo. Repni stabilizator sastoji se od 16 pokretnih aerodinamičkih površi, specifično postavljenih, radi povećanja stabilnosti kada na raketu deluju bočne aerodinamičke sile.

Na lansirnom oruđu se smešta 10 raketa u transportno-lansirnim kontejnerima, koji su smešteni u jednom modulu na šasiji tegljača M1075 čija je masa 10 t.

Ukupna masa lansirnog oruđa iznosi 40 tona, dužina 12 m, a visina 3,25 m. Za ponovno punjenje raketama potrebno je 30 minuta.

Radari i komandni centar

Višenamenski pokretni radar GBR-T ili GBR, firme Rajteon (radna učestalost oko 10 GHz), ima domet oko 1000 km. U sastav radara ulaze komandna stanica sa tri radna mesta za operatore na šasiji vozila M998, furgon sa opremom za upravljanje faziranom antenskom rešetkom (FAR) i obradu signala, antena na pokretnoj platformi, poluprikolica sa uređajima za tečno hlađenje FAR i mobilni izvori za napajanje.

Veza komandne stanice sa furgonom i komandnim mestom protivraketnog sistema THAAD ostvaruje se optičkim kablom, a rastojanje između radara i komandnog mesta može biti do 14 km.

Površina otvora FAR je oko 9 m². Elektromehanički se pokreće po elevaciji u opsegu od 10 do 60°. Pri borbenom radu ugao elevacije se fiksira u položaju optimalnom za konkretan slučaj gađanja cilja. Donja granica elektronskog skeniranja dijagrama zračenja FAR je 4° iznad linije horizonta.

Autonomni izvor električne energije je trofazni agregat snage veće od 1 MW. Kao varijante izvora razmatrani su i dizel ili gasoturbinski motor i električni generator. Motori oba tipa proračunati su za dugotrajan neprekidni rad na nadmorskim visinama od 2400 m i za snagu 0,9 do 1,3 MW, pri temperaturi 25°C. Kod trofaznog električnog generatora izlazna snaga je ograničena na 0,3 MW pri radnom naponu od 2,4 do 4,16 kV.

U skladu sa ugovorom bila su urađena tri primerka radara GBR-T: jedan

eksperimentalni (korišćen kod lansiranja prve četiri rakete sistema THAAD prilikom realizacije završne faze demonstracije i potvrđivanja tehničke izvodljivosti projekta) i dva ispitno-borbena primerka, koji su dobili oznaku UOES (User Operational Evaluation System), a namenjeni su za uvođenje u sastav ispitno-borbenog raketnog sistema. Taj se sistem, u slučaju potrebe, može instalirati u stvarnim borbenim dejstvima.

Komandno mesto sistema sa radarom GBR-T predstavlja sistem borbenog upravljanja raketnim sistemom THAAD. Istovremeno, to je taktički komandni centar za upravljanje borbenim dejstvima snagama i sredstvima protivraketne odbrane na bojištu, i rešava zadatke borbenog upravljanja na nivou divizion-baterija. Uporedo sa navođenjem raketa na balističke ciljeve može davati informaciju o ciljevima za sistem manjeg dometa tipa PATRIOT PAK-3, MEADS ili višenamenskom sistemu oružja IDŽIS.

U komandno mesto baterije (najmanja autonomna jedinica PRS, koja se sastoji od komandnog mesta, radara GBR-T i 3 do 9 lansirnih oruđa) ulaze dva para kabina – borbenog upravljanja (KBU) i upravljanja lansiranjem raketa (KULR). Osim toga, u svakoj bateriji se razvija jedna KULR za obezbeđenje međusobne veze između njenog lansirnog oruđa i komandnog mesta. Još dve kabine oba tipa mogu se uključiti u sastav baterija radi obezbeđenja prijema i prethodne obrade informacija koje se dobijaju od drugog radara GBR-T (na primer, iz susedne baterije ili divizona).

KBU, odnosno KULR, koje je razvila firma Liton dejta systems, smeštene su na šasiji vozila visoke prohodnosti čija je masa 1,25 t. U prvoj je predviđeno jedno, a u drugoj kabini dva automatizo-

vana radna mesta operatora, kao i sredstva veze. U KBU se nalaze tri (u KULR jedan) moćna računara HP-735 Hjuli Pakard. To su 32-bitni računari, sa taktinom učestanošću 125 MHz.

Pri dodeljivanju ciljeva komandna stanica koristi spoljnje podatke od različitih informaciono-izviđačkih sredstava instaliranih u kosmosu (BRILIJANT AJS, IMEJUS), u vazдушnom prostoru (A-VAKS, HOKAJ, JSTARS), na moru (ASU SES) i kopnu (radari za rano otkrivanje BIMJUS i drugi). Pri tome mogu da se navode do dve rakete na svaki odabrani balistički cilj, po principu „lansiraj-prekontroliši-uništi“. Takođe, koristeći podatke kosmičkog radio-navigacionog sistema, NAVSTAR može slati neophodne informacije o situaciji u vazдушnom prostoru na stanice za upravljanje sistemima manjeg dometa, npr. raketnom sistemu PVO PATRIOT. Osim toga, ta informacija, pomoću sredstava veze i distribucije podataka JTIDS, UKT radio-stanica zaštićenih od ometanja tipa SINCGARS i automatizovanog sistema mobilnih komutacionih veza korpusa KoV (Mobile Sub-scriber Equipment) preko sprežnih uređaja za mrežu sa optičkim kablovima, može biti dostupna i drugim korisnicima, uključujući i komandni centar sadejstvjujućih snaga taktičke avijacije RV SAD. Predviđa se mogućnost korišćenja te informacije i za prethodno upozoravanje snaga i sredstava protivraketne odbrane, odnosno protivvazdušne odbrane saveznika.

Tok ispitivanja

Prvobitno je predlagano da se obavi serija letnih ispitivanja rakete sistema THAAD sa 20 lansiranja eksperimentalnih primeraka. Međutim, zbog neophod-

nosti unošenja izmena (radi obezbeđenja otpornosti na dejstvo nuklearnog udara) u konstrukciju osnovnih elemenata sistema, za šta je utrošeno više od 80 miliona dolara, taj broj je smanjen na 14 lansiranja (ostalih 6 se planira kao rezerva).

Do aprila 1998. godine lansirano je 7 raketa, (1995. 4, 1996. 2, i 1997. 1). Ciljevi prvog letnog ispitivanja bili su provera letno-tehničkih karakteristika i ocena tačnosti dovođenja rakete u zadatu tačku prostora. Jedan minut nakon lansiranja raketa je prošla proračunatu tačku na visini 115 km, nakon čega je bila uništena komandom sa zemlje. Drugo letno ispitivanje je, po scenariju, bilo analogno prvom. U toku leta raketa je izvršila specijalan manevar pod nazivom TEMS (THAAD Energy Management Steering), koji se sastojao u tome da se raketa prvo kreće po putanji bliskoj horizontalnoj, a zatim prelazi u režim vertikalnog leta sa dovođenjem u zonu zahvata cilja glavom za samonavođenje. Međutim, zbog neispravnosti (kratak spoj u sistemu upravljanja na raketi) nije došlo do otvaranja repnih stabilizatora, zbog čega je raketa na srednjem delu putanje postigla brzinu veću od zadate. Da raketa ne bi izašla van granica zone ispitivanja, na kraju prvog minuta leta je uništena.

U skladu sa prvobitnim planom, kod trećeg ispitivanja se predviđalo izvršenje presretanja rakete-mete. Međutim, zbog neispravnosti koja se javila kod prethodnog ispitivanja, a iz bojazni da raketa ne izađe izvan zone ispitivanja, izostavljeno je presretanje. Nakon lansiranja došlo je do pravilnog otvaranja aerodinamičkih površi repnog stabilizatora i raketa je, u skladu s programom leta, obavila planirani manevar TEMS. IC GSN je normalno odradila algoritam navođenja na zamišljeni cilj, posle čega je, u zadatoj

tački prostora, došlo do samolikvidacije rakete. Time je glavni zadatak trećeg ispitivanja (ocena funkcionisanja IC GSN) uspešno izvršen. Dobijeni rezultati poslužili su kao osnova za usavršavanje softvera računara na raketi. Osim toga, u toku ispitivanja prvi put su korišćeni elementi pripadajućeg automatizovanog komandnog centra i višenamenskog radara GBR-T. Radar je, u ovom slučaju, korišćen samo za otkrivanje mete. Praćenje rakete i cilja obavljano je specijalnim radarom poligona Vajt-Sends.

Cilj narednih ispitivanja bila je demonstracija presretanja prave balističke rakete. Za te potrebe iskorišćena je dvo-stepena meta ŠTORM (kao prvi stepen korišćen je modernizovani motor operativno-taktičke rakete SERŽANT, a kao drugi korišćen je treći stepen balističke rakete MINITMEN-1) i GERA (na bazi drugog i trećeg stepena balističke rakete MINITMEN-2). Prema dostupnim podacima rezultati su bili slabi, jer ni jedna raketa nije uništila cilj.

U toku četvrtog ispitivanja lansiranje rakete je izvedeno 5 minuta nakon starta mete. Raketa je uspešno izvršila sve potrebne manevre. Njena GSN je pravovremeno zahvatila i stabilno pratila cilj, koji ipak nije uništen. Kasnija analiza telemetrijskih podataka, dobijenih sa rakete, pokazala je da je, pri unošenju podataka o cilju u sistem navođenja, napravljena greška. Zbog toga je raketi, sa zemlje, zadat niz nepredviđenih komandi za korekciju putanje, pa nije došlo do odvajanja stepena za presretanje u proračunatoj tački i njegov motor za manevrisanje nije imao dovoljno goriva da završi manevar. Upravljanje letom rakete, kao i u prethodnom ispitivanju, obavljano je pomoću specijalnog poligonskog radara, a radar GBR-T je obavljao dubliranje.

Za peto lansiranje angažovana je posebno formirana baterija raketnog sistema THAAD. Osnovni zadatak baterije bio je priprema borbenog proračuna (angažovano 81 lice) ispitno-borbenog sistema THAAD, izvođenje svestranih ispitivanja i definisanje potrebnih korekcija u izradi kompletnog protivraketnog sistema. Ovo ispitivanje se razlikovalo od ostalih po tome što se lansiranje rakete obavljalo prvi put sa pripadajućeg lansirnog uređaja. Početni i srednji deo putanje leta rakete prošao je bez odstupanja. Međutim, posle odvajanja stepen za presretanje je, zbog otkaza elektronike GSN, nastavio kretanje po balističkoj putanji. Zbog toga je izvršeno njegovo uništenje, komandom sa poligona.

Osnovni cilj šestog ispitivanja raketa THAAD (uništenje mete) nije postignut. Njen stepen za presretanje proleteo je nekoliko metara od cilja, nakon čega je samolikvidiran. Prema zapažanju stručnjaka uzrok je opet bio otkaz elektronike GSN. Radar i lansirno oruđe su radili normalno. U toku sedmog lansiranja rakete cilj opet nije bio uništen zbog kvara u sistemu upravljanja raketom, koji nije primao komande za korekciju putanje. Radar i lansirno oruđe su funkcionisali korektno.

Raketa THAAD na brodu

Tokom četiri letna ispitivanja rakete sistema THAAD nijednom nije uspjelo presretanje mete. Bez obzira na to, kongres SAD je, zbog važnosti ovog projekta za realizaciju programa protivraketne odbrane, odobrio produženje rada. U toku 1998–1999. godine predviđeno je da se obavi još 8 lansiranja eksperimentalnih raketa. Potpuna razrada raketa treba da otpočne u 1999. godini, a uvođenje u

naoružanje KoV SAD u 2006. godini. Istovremeno, izučava se mogućnost upotrebe rakete sistema THAAD na brodskom protivraketnom sistemu velikog dometa. Da bi se to ostvarilo potrebno je:

- prilagoditi raketu za vertikalno lansiranje iz lansera Mk41 i integrisati ga sa brodskim višenamenskim oružnim sistemom IDŽIS;

- raketi dodati ubrzivač starta Mk72 brodske vođene rakete STANDARD-2 mod 4;

- ugraditi modul sa raketnim motorom na čvrsto gorivo između stepena za presretanje i marševskog motora;

- postojeći motor za manevrisanje i prostornu orijentaciju na tečno gorivo, u stepenu za presretanje, zameniti motorom na čvrsto gorivo.

Osim toga, razmatra se i varijanta opremanja rakete novim stepenom za presretanje, tipa KKV, koji razvija firma Lokid-Martin, za rakete koje se koriste u protivraketnom sistemu baziranom u vazдушnom prostoru na sistemu GLOBAL HOK. Prema oceni američkih eksperata, raketa THAAD, istoimenog protivraketnog sistema, postaće jedno od osnovnih sredstava borbe sa balističkim ciljevima u sistemima protivraketne odbrane.

S. Pokorni

<<<◇>>>

KONCEPCIJA TREĆE GENERACIJE PROTIVTENKOVSKIH VOĐENIH RAKETNIH SISTEMA*

Mogućnosti nastale stalnom modernizacijom oklopnih sredstava, usmerene na povećanje zaštitnih kvaliteta (povećanje debljine oklopa, opremanje dinamičkom zaštitom i eksplozivnim reaktivnim

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar–februar, 1999.

oklopom, pasivni i aktivni optički i elektronski ometači, noćni nišani), kao i povećanje vatrenih sposobnosti tenka, postavilo je pred projektante protivtenkovskih vođenih raketa nove zadatke usmerene na smanjenje vremena potrebnog za otkrivanje cilja, brzo otvaranje vatre, povećanje vatrene dometa, postizanje visoke tačnosti, povećanje snage bojne glave, povećanje broja zahvaćenih ciljeva u jedinici vremena, obezbeđenje otpornosti na ometanje, postizanje sposobnosti gađanja iz ograničenih prostora, kao i obezbeđenje upotrebe u bilo koje doba dana i noći u svim vremenskim uslovima.

Navedeni zadaci delimično su rešeni modernizacijom druge generacije sistema protivtenkovskih vođenih raketa (PTVR), kao što su: opremanje rakete sa tandem-kumulativnim bojnim glavama koje probijaju eksplozivni reaktivni oklop debljine do 800 mm i postavljanje termičkog nišana za izvođenje borbenih dejstava noću i u nepovoljnim uslovima.

Međutim, opremanje tenka optičkim ometačima (MIDAS u Velikoj Britaniji, Pomas Violin Mkl u Izraelu) bitno je smanjilo otpornost na ometanje kod druge generacije raketa, u momentu kada je njihov upravni kanal zahvaćen ometačima. Modernizacija ne ukida žične veze koje ograničavaju brzinu, maksimalni vatrene domet i ukupnu brzinu gađanja raketom.

Da bi se savladali nedostaci modernizacije raketnih sistema potrebno je napustiti stare projektne pristupe i stvoriti sisteme koji poseduju visoku sposobnost proboja oklopa i efikasnost u uslovima ometanja, kako danju, tako i noću, povećan vatrene domet i režim paljbe, što, međutim, zahteva velike troškove preoružavanja. Ovaj zadatak mora se rešiti

uz nisku cenu i masovnu proizvodnju protivtenkovskih vođenih raketa i njihovih sistema.

Navedeni zahtevi odnose se na savremeno protivtenkovsko vođeno oružje motorizovane pešadije KoV. Evidentno je da jedan model PTVR ne može sadržati sve navedene zahteve. Prikladno je imati jednu vrstu modela koji su suplementarni za vreme izvršavanja borbenih zadataka. Uprkos činjenici da različiti organski sistemi imaju sopstvene prednosti i razlike u masi, dimenzijama, vatrene dometu i ubojitosti bojnih glava, svi oni imaju jednu zajedničku osobinu – univerzalnu prirodu efekta na borbenim ciljevima, tj. sposobnost otkrivanja i zahvata bilo kojeg vojnog objekta koji predstavlja opasnost.

U vezi s tim projektanti su se delimično odrekli implementacije principa „opali i zaboravi“, koji je predstavljao obaveznu karakteristiku treće generacije vođenog oružja, a stvoren je kombinovani sistem, uključujući modele sa primenom principa „vidi i opali“ i „opali i zaboravi“.

Razvoj treće generacije sistema PTVR, u skladu sa zahtevima optimalnog odnosa efikasnost–cena, predviđa obezbeđenje protivtenkovske odbrane na dubinu do 15 km u protivničkim položajima, uz korišćenje tri različite vrste PTVR:

- lakog prenosnog sistema PTVR KORNET, sa srednjim vatrene dometom do 2500 km (KORNET-MR);

- samohodnog i prenosnog sistema PTVR KORNET, sa velikim vatrene dometom do 5 500 m (KORNET-LR);

- samohodnog sistema PTVR GERMES, sa velikim vatrene dometom do 15 km.

Osnovne karakteristike treće generacije sistema PTVR prikazane su u tabeli.

Vrsta Karakteristika	KORNET- -MR	KORNET- -LR	GERMES
Tip	prenosni –	prenosni samohodni	– samohodni
Sistem vođenja	poluautomatski, laserski vođeni		inercijalni + samonavođenje
Bojna glava	tandem kumulativna, trenutnofugasna, termobarička		trenutnofugasna
Vatreni domet (dan/noć), m	2 500/2 500	5 500/4 000	15 000/7 000
Probojnost oklopa, mm	1 000	1 200	–
Trotilekvivalent, kg	8	10	33

Glavni projektni principi i karakteristike sistema KORNET-LR i KORNET-MR

Efikasno uništenje današnjih i budućih tenkova, opremljenih eksplozivnim reaktivnim oklopom postiže se direktnim frontalnim udarom moćnih tandem-kumulativnih bojnih glava sa probojnošću od 1 000 do 1 200 mm. Opremanje raketa trenutnofugasnim termobaričnim bojnim glavama, koje poseduju eksplozivne i zapaljive efekte artiljerijskih projektila velikog kalibra, omogućava uništenje lakih oklopnih sredstava bunkera, mitraljeskih položaja sa živom silom, kao i lakih čamaca, manjih brodova i drugih sredstava u zoni obalske odbrane. Ti sistemi koriste princip „vidi i opali“ za vreme osmatranja bojnog polja kroz optički i termički nišan, omogućavajući otkrivanje cilja u infracrvenom i optičkom spektru elektromagnetskih talasa. Upotreba laserskog sistema upravljanja sa velikim energetske potencijalom i termičkim nišanom obezbeđuje praktično potpunu zaštitu od aktivnog i pasivnog zračenja (kao

što su dimne zavese). Velika otpornost na aktivno optičko ometanje sa protivničke strane postignuto je činjenicom da raketni fotodetektor otkriva onog koji gađa. U uslovima zadimljavanja operator posmatra bojno polje kroz termički nišan, dok je princip „vidi i opali“ primenjen zbog velikog energetske potencijala laserskog kanala za upravljanje. Laserski sistem omogućava, obližnjim sistemima, otvaranje unakrsne vatre po različitim ciljevima ili na jedan cilj istovremeno.

Sistemi se mogu ugraditi na vozila točkaše ili guseničare, koji su ranije korišćeni za sisteme KONKURS (UAZ-469, BMD-1 i BMP-2). Opremanje sistema KORNET-LR jednim automatskim okvirom sa 12 projektila omogućava uspešnu vatru sa svakog od dva lansera i plotun od dve vođene rakete na specijalno odabrani cilj.

Dodatna posada automatizovanog sistema za upravljanje vatrom samohodnog sistema PTVR, sa dvokanalnom automatskom jedinicom za praćenje cilja, povećava režim vatre skoro dva puta. Ugradnja radara tipa KREDO, na vozilu, znatno smanjuje vreme potrebno za otkrivanje ciljeva na zemlji i omogućava njihovo brzo uništenje kao i prenos podataka o cilju na druge sisteme PTVR.

Sistemi KORNET-MR i KORNET-LR slične su kompozicije, a čine ih: lanser sa nišanom-tragačem i mehaničkim praćenjem cilja, termički nišan i vođene rakete u transportnim lansernim kontejnerima. Oni su prilagođeni za korisnike, imaju dobre ekonomske pokazatelje, jednostavni su za proizvodnju i borbenu upotrebu. Na primer, sistem KORNET-MR, smešten u dva sanduka, kao i sistem METIS-M, mogu da prenose dva člana posade na teško pristupačnom terenu. Lanser i toplotni nišan su u jednom, a

dva kontejnera sa raketama u drugom sanduku.

Smanjena početna brzina raketa omogućava da se koriste u ograničenom prostoru za vreme borbe u naseljenim mestima.

Sistem velikog dometa GERMES

Pojava treće generacije sistema PTVR GERMES, pokazuje nove mogućnosti u borbenoj upotrebi protivtenkovskog oružja, tj. prenos vatre na dubinu protivničkih položaja, i odbijanje prodora u bilo kojoj zoni odbrane bez promene vatrenih pozicija. To će sprečiti razvoj protivničkih jedinica iz pokreta na liniji napada (čak i njihovo slamanje), smanjujući sopstvene gubitke i obezbeđujući premoć u vatri na prednjoj liniji odbrane. Upotreba ovih taktičkih načela radikalno povećava domet u izvršenju zadataka u izviđanju i borbi oklopnih jedinica sa isturenim PTVR koje bi trebalo da pokrivaju čitavu zonu odgovornosti svojih jedinica na taktičkoj dubini od 10 do 15 km i, u budućnosti, na potpunoj taktičkoj dubini (25 do 30 km). Do sada je grupisanje oklopnih snaga potencijalnog protivnika, kao kompleksnog pokretnog sistema, zahtevalo angažovanje svih snaga za uništenje ciljeva uključenih u grupisane snage, kao i razne druge ciljeve koji su dejstvovali u zoni napada. Istureni savremeni sistemi PTVR danas su sposobni da izvrše te zadatke.

Sistem velikog dometa GERMES je savremeno precizno vođeno oružje nove generacije za potrebe KoV. To je višenamenski izviđački i vatreni sistem PTVR, koji objedinjava osobine artiljerijskog i protivtenkovskog oružja, namenjen za borbu sa sadašnjim i budućim tenkovima,

lakooklopljenim sredstvima, stacionarnim inženjerskim objektima, plovnim objektima (deplasmana do 500 t) i utvrđenom živom silom.

Sistem sadrži:

- vatrenu jedinicu od vođenih raketa, u transportno-lansirnom kontejneru, sa tri tipa samonavodenih bojnih glava (poluaktivni laser, infracrveni uređaj, radar);

- borbeno vozilo sa kasetnim lanserom i ugrađenom opremom za izviđanje i lasersko označavanje ciljeva;

- komandno i osmatračko vozilo sa uređajima za višekanalno i višespektralno optroničko i radarsko izviđanje.

Sistem GERMES obezbeđuje:

- vatru sa posrednih vatrenih položaja, koristeći se principom „opali i zaboravi“, i plotun sa individualnim vođenjem do elemenata višekratnog cilja (dve rakete sa poluaktivnim laserom navođenim glavama u plotunu i do 12 raketa sa autonomnim navođenjem u plotunu);

- sposobnost upotrebe u svim vremenskim i realnim borbenim uslovima;

- fleksibilno taktičko sadejstvo sa dodeljenim izviđačkim i upravnim objektima, stacioniranim na zemlji ili u vazdušnom prostoru.

Prema tome, koncept razvoja treće generacije sistema PTVR uključuje tri sistema (KORNET-MR, KORNET-LR, GERMES) i obezbeđuje protivtenkovsku odbranu dubine do 15 km u protivničkoj pozadini i čitav front svojih snaga.

Koncept razvoja predviđa:

- veliki domet vatrenog napada na protivničke oklopne jedinice, zbog sprečavanja njihovog manevra i razvoja na liniji napada, smanjenja sopstvenih gubitaka i obezbeđenja superiornosti vatre na prednjoj liniji odbrane;

– uništenje svih značajnijih ciljeva na bojištu, korišćenjem bojnih glava sa raznim principima dejstva;

– veliku otpornost na ometanje sistema za upravljanje PTVR od aktivnih i pasivnih optičkih i elektronskih smetnji;

– upotrebu u svako doba dana i noći i pod svim vremenskim uslovima;

– automatizaciju gađanja i mogućnost simultanog dejstva na dva i više ciljeva;

– ugradnju unificiranih sistema na razne tipove vozila točkaša i guseničara;

– lansiranje iz ograničenog prostora za vreme borbenih dejstava u naseljenim mestima (KORNET-MR);

– lansiranje sa posrednih položaja radi sprečavanja grupisanja protivnika na bilo kojem delu zone odbrane, bez promene vatrenih položaja.

Danas Instrumentalni projektni biro Rusije, sa kooperantskim preduzećima, lansira serijsku proizvodnju prenosnih sistema KORNET-LR. Značajna osobenost sistema KORNET-LR u odnosu na suparnika sa Zapada ATGW-3/LR, koji je razvila asocijacija EMDG, jeste mogućnost višenamenske upotrebe zbog korišćenja principa „vidi i lansiraj“ (umesto „lansiraj i zaboravi“), ostvarenog pomoću IC samonavodene bojne glave sa matričnim fotodetektorom i registracijom slike cilja na lanseru. Sistem ATGW-3/LR ima mogućnost da uništi samo ciljeve s toplotnim kontrastom, kao što su oklopna borbeno vozila. Ne manje važni ciljevi, kao što su bunker, inženjerski objekti, mitraljeski zakloni i oklopna vozila u zonama koncentracije, mogu izostati, jer ne stvaraju kontrast neophodan da budu gađani i uništeni.

Sistem KORNET-LR koristi standardnu opremu na vozilu: radiološki detektor, elektronsku opremu komandi za

upravljanje, jednokanalni starter za upravljanje sa dva položaja, žiroskop i bateriju za napajanje strujom.

Prve procene pokazuju da je cena raketa KORNET-LR tri do četiri puta niža od raketa ATGW-3/LR. Značajna slabost sistema ATGW-3/LR je, svakako, dugo vreme potrebno za prenos slike sa termičkog nišana do glave za samonavođenje (od 30 do 60 sekundi). U tom intervalu uslovi cilja se mogu promeniti, što lansiranje čini beskorisnim.

Tehnološki napredak učinjen u toku razvoja sistema METIS-M i KORNET-LR može se realizovati i u projektnim karakteristikama prenosnog sistema srednjeg dometa KORNET-MR, koji se od ATGW-3/MR razlikuje po svojoj višenamenskoj upotrebi. Njegove rakete su opremljene sa dve vrste bojnih glava, tandem-kumulativnim i trenutnofugasnim termobaričkim. Dimenzije i masa komponenata sistema KORNET-MR omogućavaju smeštaj u dva sanduka koje mogu da nose dva člana posade na teže pristupačnom zemljištu za vreme borbenih dejstava (masa sanduka sa dve rakete u kontejnerima je 28 kg), što je nemoguće za raketne sisteme ATGW-3/MR, jer im je masa jedne rakete u kontejneru 17,6 kg.

Cena raketnog sistema KORNET-MR, kako se očekuje, biće približno 1,5 puta manja od cene sistema ATGW-3/MR.

Značajna vrednost sistema KORNET-MR i KORNET-LR je međusobna zamenljivost lansera i municije, što omogućava potencijalnim korisnicima korektan izbor, uz pridržavanje principa „koliki troškovi tolika i efikasnost odbrane“.

M. Krbavac

<<<◇>>>

SABRA – MODUL ZA NADOGRADNJU TENKA M60*

Na poslednjoj izložbi naoružanja i vojne opreme Eurosatory u Parizu, izraelska vojna industrija (IMI) prikazala je prvi put modul za modifikaciju američkih tenkova M60A1/A3. Pretpostavlja se da u svetu ima nekoliko hiljada ovih tenkova i da se mogu očekivati njihova poboljšanja u budućnosti.

Osnovni nedostaci tenka M60 danas su neefikasna vatrena moć i neadekvatna balistička zaštita od savremene municije na bazi kinetičke energije ili protivtenkovskih raketa. Poboljšanja koja treba uraditi odnose se na poboljšanje vatrene moći, oklopne zaštite i pokretljivosti – osnovnih prerogativa svih oklopnih sredstava.

Paket SABRA zasniva se na modulu za modernizaciju tenkova M60A1/A3 koji su u upotrebi u armiji Izraela (pod oznakom MAGACH-7) i omogućava: unapređenje vatrene moći, poboljšanje balističke zaštite i ukupnog preživljavanja na bojištu, kao i povećanje pokretljivosti.

SABRA se opisuje kao modularni program, a svaka od navedenih karakteristika čini „modul“ koji može biti podeljen u podmodule, tako da se svaki može nezavisno primeniti ili kombinovati sa drugim, i biti na različitim nivoima sofisticiranosti.

Najvažnije svojstvo paketa SABRA je zamena originalnog osnovnog naoružanja (topa 105 mm M68 L7) topom 120 mm MG251 sa velikom početnom brzinom i glatkom cevi. Takav poboljšani top, koji je već ugrađen na najnovije izraelske tenkove MERKAVA Mk3,

obezbeđuje iste balističke performanse kao NATO topovi kalibra 120 mm (A-BRAMS, LEOPARD 2, LECLERC), a koristi standardnu NATO municiju. Njegove performanse se i dalje poboljšavaju, a posebno projektila sa kinetičkom energijom dejstva APFSDS, projektovanim i proizvedenim u izraelskoj vojnoj industriji. Poboljšani top MG251 ima kompaktne dimenzije trzajućeg sistema, koji omogućava da se ugradi u tenkove M60 bez bitnih promena kupole.

U odnosu na sistem za upravljanje vatrom IMI nudi dve opcije modifikacije, zavisno od verzije tenka. Za tenkove M60A1 optimalna solucija je instaliranje KNIGHT sistema za upravljanje vatrom, kao na tenku MERKAVA Mk3. On omogućava visoke performanse dnevno-noćnih termalnih nišana sa ugrađenim laserskim daljinomerom, kao i sposobnost gađanja u pokretu, zasnovanu na jedinstvenom balističkom algoritmu. Druga opcija (za tenkove M60A3 i A3TTS, koji već imaju termalne nišane) jeste zamena originalnog balističkog računara novim digitalnim sredstvom proizvedenim u Izraelu.

Sledeća opcija je hibridni sistem za stabilizaciju i upravljanje kupolom i topom. Sistem pokreće kupolu električnim putem, a elevacija i depresija ostvaruju se hidrauličkim uređajem. To omogućava brzu i tačnu reakciju pri pokretanju kupole i elevaciji oruđa i stabilisanje topa kada je tenk u pokretu.

SABRA sekundarno naoružanje sastoji se od tri mitraljeza – jednog tradicionalnog, koaksijalno spregnutim sa topom i dva dodatna ugrađena na kupoli. Zasnovana na izraelskom borbenom iskustvu, ta dodatna oružja pružaju zaštitu, na maloj daljini od pešadijskih protivtenkov-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY TECHNOLOGY, 10/1998.

Borbena masa tenka	55 t
Dimenzije:	
Dužina bez topa	8,26 m
Dužina ispred topa	9,40 m
Širina	3,63 m
Visina	3,05 m
Klirens	0,45 m
Širina gusenica	0,61 m
Naoružanje:	
Osnovno	top 120 mm glatka cev
Elevacija	+20°
Depresija	-9°
Magacin municije	42 metka
Koaksijalni mitraljez	7,62 mm/5,56 mm
Spoljni mitraljezi	2 × 7,62 mm/5,56 mm
Minobacač	60 mm
Sistem za upravljanje vatrom:	
Nišan nišandžije	periskopski
Tip	dnevno-noćni stabilisan
Povećanje	8 × i 5,3 ×
Nišan komandira	optički relej
Daljinar	N-YAG laser
Pokretanje topa	hidrauličko
Pogonski agregat	
Tip	4-taktni dizel
Konfiguracija	90° V12
Prečnik cilindra i hod klipa	146 mm
Radna zapremina	29,3 dm ³
Sistem punjenja	2 turbopunjača
Maksimalna snaga	668 kW/2 400 o/min
Hlađenje	vazduhom
Performanse:	
Maksimalna brzina po putu	48 km/h
Ubrzanje 0-32 km/h	9,6 s
Uspori	60%
Nagib	30%
Širina rova	2,60 m
Vertikalna prepreka	0,91 m
Akcionni radijus	450 km
Dubina gaza	1,40/2,40 m

skih sredstava. Dodatna vatrena moć može se obezbediti ugradnjom minobacača 60 mm sa dimnom ili osvetljavajućom municijom. Dva višecevnica bacača dimnih granata montiraju se sa svake strane osnovnog oruđa.

Imajući u vidu sve moćnija, efikasnija i pouzdanija oruđa sa glatkom cevi, koja gađaju sa KE municijom veće početne brzine i znatno bolje probojnosti

oklopa i, s druge strane, postojanje pešačkih protivtenkovskih sredstava koja svakim danom postaju sve ubojitija i opremaju se kumulativnim bojnim glavama velike efikasnosti, IMI je razvio dve alternativne opcije za modifikovanu balističku zaštitu tenkova M60: reaktivni oklop i dodatni balistički oklop.

Reaktivni oklop sastoji se od individualnih elemenata koji se ugrađuju spolja na kupoli i omogućavaju zaštitu od dejstva kumulativne municije (projektili, raket). Masa modula nema značajniji uticaj na performanse ili pokretljivost tenka. Dodatni balistički oklop, koji je usvojen u armiji Izraela za tenk MAGACH-7, jeste kompozitna zamenljiva modularna jedinica od pasivnog balističkog materijala visoke otpornosti, instalirana na kupoli i telu tenka. Nivo ukupne zaštite koji će se ostvariti ugrađenim modulom zavisi od zahteva korisnika, a zasnovan je na nivou opasnosti i odnosu masa – pokretljivost.

Da bi se povećala pokretljivost tenka M60 i kompenziralo povećanje mase nastalo ugradnjom topa 120 mm i dodatne balističke zaštite, IMI preporučuje modul za konverziju pogonskog agregata (dizel motor hlađen vazduhom Teledyne Continental AVDS 1790-5A) snage od 552 kW do 668 kW pri 2 400 o/min. Kao dodatna opcija, snaga motora može se povećati do 883 kW, bez zahteva za promenom transmisije i ovešenja koji su već ugrađeni.

SABRA modul je raspoloživ na tržištu, a posebna verzija koja se nudi već je isporučena Turskoj za modifikaciju njihovih oklopnih snaga sa oko 1 000 tenkova M60.

V. Radić



UNOVI VEK SA NOVIM TENKOM*

Jedan od zadataka vojnotehničke politike Rusije je razvoj, proizvodnja i opremanje oružanih snaga tenkovima velike efikasnosti, sposobnim da dejstvuju u svim borbenim uslovima, u različitim klimatskim zonama i da učestvuju u svim vidovima borbenih dejstava, uključujući i lokalne sukobe.

Do sada su se tenkovi izrađivali po principu „posada i svi sistemi tenka u jednom korpusu“. Pri tome se tenk konstruisao kao jedna celina i objedinjavao istovremeno sva borbena i eksploataciona svojstva.

U konstrukciju novih tenkova uveli su se sve složeniji sistemi, povećavao kalibar oruđa, povećavala oklopna zaštita i snaga motora, uz zadržavanje gabaritnih dimenzija tenka. Sve to dovodilo je do smanjenja prostora unutar oklopa i, na osnovu toga, smanjenja komfora posade, a time i efikasnosti njenog dejstva. Drugim rečima, postojeći uslovi ne dozvoljavaju ozbiljnije povećanje borbene efikasnosti.

Istraživanja su pokazala da posada realizuje osnovna borbena svojstva savremenog tenka sa najviše 70% njegovih potencijalnih mogućnosti, i da dalje tehničko usavršavanje praktično ne povećava realnu borbenu efikasnost. Tradicionalna rešenja kompozicije tenka principijelno ne omogućavaju bitno poboljšanje njegovih taktičko-tehničkih karakteristika. Podizanje borbene efektivnosti na novi, viši nivo moguće je uz poštovanje sledećih principa:

- razradu novih tipova treba voditi uzimajući u obzir da se tenkovi, po pravilu, u borbi primenjuju u sastavu jedinica

koje imaju nešto drugačije zadatke nego tenkovi pojedinačno. U opštem slučaju ti zadaci su uništenje protivničke žive sile, naoružanja i opreme, te zauzimanje određene teritorije;

- pri stvaranju novih sistema naoružanja i vojne opreme (NVO) treba koristiti pristup orijentisan na dobijanje maksimalnog rezultata u primeni sistema, a ne samo na dobijanje višeg nivoa tehničkih mogućnosti sredstva ili stvaranje komfortnih uslova posadi;

- pri razvoju perspektivnih oklopnih guseničnih vozila treba uvažavati neophodnost vođenja borbenih dejstava za deo jedinica autonomno, odvojeno od glavnih sastava. Takođe, značajna je unifikacija i standardizacija objekata razne namene. To uslovljava potrebu paralelnog razvoja vozila za potrebe tehničkog obezbeđenja borbenih dejstava, kao i drugih pomoćnih vozila.

Ovi uslovi mogu se ispuniti razradom novih tipova složenih borbenih oklopnih guseničnih vozila (SBOGV).

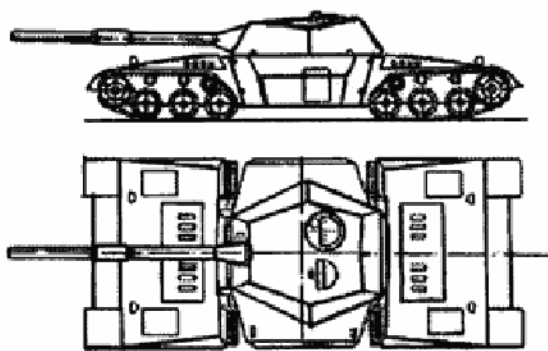
Predlaže se kompozicija oklopnog guseničnog vozila koje ima centralnu i dve sa njom spojene transportno-evakuacione sekcije. Pri tome se sekcije mogu odvajati jedna od druge i upotrebljavati odvojeno.

Osnovne prednosti rešenja ovakve kompozicije su:

- mogućnost razdvajanja osnovnih borbenih svojstava tenka (manevar i vatrena moć) na bojnom polju korišćenjem centralne i transportno-evakuacionih sekcija nezavisno jedne od druge. To može poboljšati kvalitet na račun usmerene konstrukcije svake sekcije posebno. Osim toga, pri upotrebi borbene i transportno-evakuacionih sekcija moguća je promena taktike dejstva jedinice uz odgovarajuće povećanje efikasnosti. To će omogućiti

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, novembar-decembar, 1998.

prilagođavanje taktike jedinica obliku i uslovima borbenih dejstava. Kao primer takve promene taktike mogu poslužiti borbeni dejstva u Bosni, gde su se tenkovi, po pravilu, koristili kao samohodna oruđa, a artiljerijski sistemi, u osnovi, stacionarno;



Primer kompozicije složenog borbenog vozila

– spajanjem standardnih transportno-evakuacionih sekcija sa centralnim sekcijama, koje imaju različitu opremu (borbenu, tehničku podršku, pomoćna), omogućava se dobijanje familije složenih vozila: BMP, BREM, izviđačka, za dotur, evakuaciju ranjenika i sl. Takva potreba zasniva se naročito na tome što se borbeni upotreba tenkovskih jedinica uslovljava velikim brojem transportnih vozila točkaša, koja se koriste za dotur goriva, municije i drugih sredstava, kao i za remont i evakuaciju oštećenih tenkova. Međutim, prohodnost tih sredstava znatno je manja od prohodnosti tenkova;

– povećanje slobodnog prostora unutar oklopa u centralnoj sekciji složenog vozila na račun guseničnog pokretača, što omogućava smeštanje opreme neophodne posadi za rad u dužem periodu, uključujući i mesta za spavanje.

SBOGV se sastoji od tri sekcije: borbene i dve transportno-evakuacione sekcije.

Borbena sekcija je ovešena na šarnirima između transportno-evakuacionih sekcija. Šarniri omogućavaju odvajanje transportno-evakuacionih sekcija u odnosu na centralnu sekciju (borbenu), u vertikalnom i horizontalnom pravcu i obezbeđuju automatsko spajanje i razdvajanje. Hidraulični podizači, smešteni u borbenoj sekciji, podižu ili spuštaju transportno-evakuacionu sekciju koja se spaja ili razdvaja.

Kupola borbene sekcije objedinjava naoružanje i posadu, a transportno-evakuacione sekcije objedinjavaju motore, transmisiju i sedišta vozača za nezavisnu upotrebu sekcija.

Predložena konfiguracija pruža prednosti u odnosu na tradicionalne projekte u smislu poboljšanja nekih od borbenih i eksploatacionih karakteristika.

Veća vatrena moć postiže se:

– menjanjem lokacije većeg dela sredstava za osmatranje i nišanje na račun sredstava hidraulike u borbenoj sekciji kada se ona koristi izdvojeno;

– ugradnjom naoružanja u transportno-evakuacione sekcije kada se koriste izdvojeno;

– stabilizacijom unutrašnjosti borbene sekcije.

Pokretljivost prototipa povećana je na račun:

– principa „povuci i poguraj“ umesto jednosmernog pravolinijskog kretanja;

– mogućnosti kretanja napred i nazad istom brzinom bez okretanja;

– uvećanja prohodnosti zbog mogućnosti promene klirensa;

– mogućnosti promene pravca kretanja na dva načina: na klasični način, kada je brzina jedne gusenice različita u odnosu na drugu, ili tako da se svaka od transportno-evakuacionih sekcija zakreće nezavi-

sno od druge, ili se obe zakreću istovremeno u odnosu na borbenu sekciju.

Bolja zaštita obezbeđena je na račun:

- dve transportno-evakuacione sekcije smeštene ispred ili iza borbene sekcije;

- mogućnosti znatnog smanjenja oklopne zaštite od sekcije do sekcije (razumno povećanje debljine oklopa borbene sekcije i adekvatno smanjenje za obe transportno-evakuacione sekcije);

- mogućnosti smanjenja klirensa vozila.

Upotreba oklopnih vozila povećava borbenu efikasnost tenkovskih jedinica zbog njihovih velikih manevarskih sposobnosti. Jedno borbeno spremno vozilo može se sastaviti od dve ispravne sekcije dva neispravna sredstva. I vazdušni transport po sekcijama je lakši nego sa klasičnim borbenim vozilima.

Prema tome, predložena konfiguracija SBOGV trebalo bi da praktično poboljša sve osnovne karakteristike, posadi pruži bolje uslove rada i omogući projektantima razvoj familije borbenih vozila za podršku i pomoćnih vozila. Sve to bi trebalo da podstakne komandovanje na svim nivoima da razvije nove načine upotrebe tenkovskih jedinica.

Može se reći da se na osnovu predložene konfiguracije složenih borbenih guseničnih vozila može pristupiti razvoju nove generacije oklopnih borbenih vozila.

M. Krbavac

<<<◇>>>

MIĞ-21 SA NOVIM RADAROM*

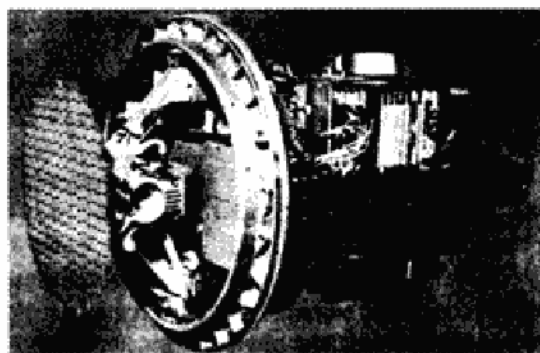
Vreme je pokazalo da je vek konstrukcije aviona mnogo duži od veka elektronike ugrađene u njega. Tako, na primer, radar ugrađen u avion zastareva

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE januar-februar 1998.

mного brže pre svega zbog pojave novih oružnih sistema usled brzog razvoja elektronike, novih zadataka koji se postavljaju pred avion i novih načina borbene upotrebe, odnosno taktike, što zahteva da sistem upravljanja oružnim sistemima bude mnogo „inteligentniji“.

Novi višenamenski radar

Ruska firma Fazotron-NIIR, koja se bavi razvojem avionskih radara i sistema za upravljanje naoružanjem odlučila je,



Radar KOPJE

krajem osamdesetih godina, da se usmeri na razvoj radara, koji će biti takvih karakteristika da može da se upotrebi za modernizaciju više, a ne samo jednog tipa lovačkih i jurišnih aviona. Na osnovu dugogodišnjeg iskustva i saradnje sa projektantima raznih aviona postavljeni su taktičko-tehnički zahtevi za radar. Osnovni zahtevi su bili: mala masa i dimenzije kao i implementacija znatno moćnijeg računara.

Radar KOPJE (Kopyo) razvijan je od 1988. do 1990. godine. U osnovi, to je koherentni višenamenski multimodni avionski radar za upravljanje širokim spektrom naoružanja aviona, počevši od običnih topova, preko nevođenih raketa, do najsavremenijih raketa sa radarskim

vođenjem (uključujući i aktivno vođenje) koje su opremljene i infracrvenim (IC) glavama za samonavođenje, kao i upravljanje bombama opremljenim IC glavama za samonavođenje i televizijskim (TV) sistemom vođenja. Radar se može ugraditi u konstrukciju aviona ili montirati u kontejner.

Prvi predlog da se radar KOPJE (oznaka FK-04) upotrebi kao osnova za modernizaciju najbrojnijeg lovačkog aviona u svetu – MiG-21 nije u Rusiji naišla na odobravanje struktura koje su bile zadužene za izvoz ruskog naoružanja, kao ni proizvođača najsavremenijih ruskih lovačkih aviona. Naime, smatralo se da bi se to moglo negativno odraziti na izvoz savremenih ruskih aviona i podići rejting zastarelog aviona na svetskom tržištu, i tako umanjiti prihod od prodaje oružja.

Promene u svetu i modernizacija aviona MiG-21

Promene koje su se desile u svetu i smanjile mogućnost od izbijanja trećeg svetskog rata, imale su za posledicu bitno smanjenje strategijskih nuklearnih snaga, a znatno povećanje uloge avijacije u odbrani suvereniteta zemalja. Zbog sve veće uloge avijacije u celini, a posebno lovačke, u vođenju borbe u vazдушnom prostoru i odvracanju od vazдушnih napada, borbena efikasnost avijacije izbila je u prvi plan, istovremeno, zbog smanjenja vojnih budžeta, mnogi projekti razvoja novih aviona su obustavljeni, pa je modernizacija aviona, čija je proizvodnja i upotreba u toku, postala osnovna karakteristika u održavanju odbrambene moći. Slična je situacija i sa dobrim delom ostalog vrhunskog naoružanja. To je dovelo i do promene na tržištu. Prodaja

najnovijih tipova aviona je opala, jer je cena modernizovanog aviona, čije su karakteristike i borbena efikasnost bliske novim tipovima aviona, deset puta manja od cene novog tipa aviona.

Posledica toga jeste da su se proizvođači aviona i ostale organizacije vezane za izvoz ruskog naoružanja ponovo okrenule projektu za modernizaciju aviona MiG-21. Ovaj avion je u SSSR-u proizveden od kraja pedesetih do sredine sedamdesetih godina, a u nekim drugim zemljama (Kina, Indija, itd.) proizvodi se i danas (čak i bez licence). Najzastupljeniji je avion u svetu (proizvedeno je 12 000, po nekim izvorima čak i 13 000) sa najdugovečnijom konstrukcijom (dužina veka je čak 40 godina). To je razlog što još i danas oko 5 000 aviona MiG-21 leti u ratnim vazduhoplovstvima preko 40 zemalja; učestvovao je u više vazдушnih borbi nego bilo koji drugi avion, dok se u borbi protiv mnogo težih američkih aviona pokazao kao jedan od nauspešnijih borbenih aviona.

Smatra se da bi MiG-21 mogao da postavi još jedan rekord. Naime, po broju obavljenih modernizacija i ušteda koje su njima postignute za sada je bez premca. Zbog toga nije čudo što je, pored ruske, veliki broj svetskih firmi koje se bave razvojem avionskih radara i sistema upravljanja naoružanjem pokazao veliki interes za programe modernizacije ovog aviona. Smatra se da radar može od frontovskog lovca druge generacije, korišćenog za izvršavanje ograničenog broja zadataka u periodu od šezdesetih do osamdesetih godina stvoriti savremeni višenamenski lovac-bombarder koji je u stanju da obavlja širi spektar zadataka kakvi se postavljaju pred avione krajem devedesetih godina, odnosno da mu da karakteristike aviona četvrte generacije.

Osnovne funkcije i karakteristike avionskih radara za MiG-21-93 (ruska varijanta) i MiG-21 LANCER (izraelska varijanta)

Oprema – karakteristike	Radar KOPJE ruske firme Fazotron-NIIR	Radar EL/M-2032 izra- elske firme Elta	Radarski daljinomer EL/M-2001 izra- elske firme Elta
A. FUNKCIJE			
1. Režim rada radara vazduh-vazduh			
1.1. Otkrivanje ciljeva i merenje daljine:			
– u režimu visoke frekvencije ponavljanja impulsa	+	–	–
– u režimu srednje frekvencije ponavljanja impulsa	+	+	–
1.2. Praćenje pojedinačnog cilja u režimu visoke frekvencije ponavljanja impulsa	+	–	–
1.3. Praćenje u režimu skeniranja:			
– izbor cilja visokog prioriteta	+	–	–
– istovremeno gađanje više ciljeva	+	–	–
1.4. Bliska borba u vazдушnom prostoru	+	+	+
2. Režim rada radara vazduh-zemlja			
2.1. Mapiranje terena:			
– mapiranje sa realnim snopom	+	+	–
– mapiranje sa Doplerovim izoštravanjem snopa	+	+	–
– mapiranje sa visokom rezolucijom (sintetizovana antena)	+	–	–
2.2. Zamrzavanje radarske slike	+	+	–
2.3. Otkrivanje pokretnih ciljeva na zemlji	+	+	–
B. KARAKTERISTIKE			
1. Frekventni opseg radara	x	x	x
2. Antena radara			
– tip	antenska rešetka sa prorezima	antenska rešetka sa prorezima	antenska rešetka sa prorezima
– prečnik (mm)	500	520	380
– ugrađeni kompenzacioni kanal	+	?	–
3. Daljina (domet) otkrivanja ciljeva sa $\sigma = 5 \text{ m}^2$			
3.1. U režimu vazduh-vazduh			
– prednja polusfera (km)	57	46	–
– zadnja polusfera (km)	30	25–30	–
3.2. U režimu vazduh-zemlja			
– prednja polusfera (km)	57	?	–
– zadnja polusfera (km)	25	?	–
4. Broj ciljeva koje istovremeno prati-gađa	10/2	8/1	–
5. Sužavanje snopa u režimu mapiranja terena	20:1; 45:1; 90:1	?	–
C. KARAKTERISTIKE ODRŽAVANJA			
1. Ugrađena test-oprema (kontinualno testiranje na zahtev, u letu i na zemlji)	98%	+	–
2. Srednje vreme između otkaza – MTBF (h)	120	?	–
D. NAORUŽANJE			
	MiG-21-93	MiG-21 LANCER	–
– IC vođene rakete	R-60MK R73E	Python-3 R73E	
– protivradarske rakete	H-25MP	–	–
– radarski vođene rakete velikog dometa	RW-AE R27R1 (T)	–	–
– vođene bombe	MK82, MK83	KAB500KR	MK82, MK83 OPHER

Napomena: ostale funkcije i karakteristike avionskog radara aviona MiG-21-93 i MiG-21 LANCER su približno iste.

Više firmi u svetu ponudilo je projekte za modernizaciju aviona MiG-21, ali su samo dva projekta ostala aktuelna. Prvi projekat, koji nosi oznaku MiG-21-93, zasniva se na radaru KOPJE, a razvila ga je grupa ruskih firmi među kojima je i Fazotron-NIIR. Letni testovi prototipa MiG-21-93 su u toku, a dosadašnji rezultati su pokazali visok nivo karakteristika radara KOPJE, i potvrdili da MiG-21-93 može biti dobar borbeni avion. Zbog dobrih rezultata i povoljnog odnosa cena-performanse, Indija je prihvatila ovaj radar za modernizaciju svojih aviona MiG-21 bis. Indija ima 125 aviona MiG-21 bis proizvedenih po ruskoj licenci.

Drugi projekat je MiG-21 LANCER (kopljanik) koji je ponudila izraelska firma Elbit u kooperaciji sa rumunskom firmom Aerostar. Program se odnosi na modernizaciju 110 aviona MiG-21 u naoružanju snaga ratnog vazduhoplovstva Rumunije. Prema tom programu prvih 85 aviona, od kojih 10 treba da se preprave u dvosede za obuku (MiG-21 UM), treba da se modernizuju radarskim daljinomerom EL/M-2001 (varijanta lovac bombarder). U narednoj fazi 25 aviona bilo bi opremljeno radarom EL/M-2032 izraelske firme Elta (varijanta lovci-presretači).

Prednosti projekta MiG-21-93

Prema ruskim stručnjacima radar KOPJE u poređenju sa radarima izraelske firme, ima sledeće bitne prednosti:

- veći operativni domet, jer koristi predajnik veće snage i ima mogućnost korišćenja režima rada sa većom frekvencijom ponavljanja;

- veći domet upravljanja naoružanjem u prednjoj polusferi, zbog korišćenja raketa opremljenih glavama za radarsko vođenje (poluaktivno kod R27R1 i aktivno kod RW-AE); kod projekta MiG-21 LANCER dejstvo radara u prednjoj polusferi je bitno ograničeno zbog toga što se takve rakete ne koriste;

- visoka rezolucija mapiranja terena koja se postiže sintetizovanom antenom, što omogućuje vrlo precizno vođenje aviona na cilj pri dejstvu po ciljevima na zemlji, uključujući i dejstvo vođenim bombama KAB-500KR; kod aviona MiG-21 LANCER upravljanje laserski vođenim bombama tipa OPHER obezbeđuje se ugradnjom dodatnog lasera u kontejner;

- monoimpulsno praćenje do 10 ciljeva, uz istovremeno dejstvo po dva cilja sa radarski vođenim raketama pri dejstvu na većim udaljenostima;

- superiornost u vazdušnoj borbi u odnosu na avione četvrte generacije koji nisu opremljeni raketama vazduh-vazduh sa radarskim vođenjem;

- efikasno dejstvo sa protivradarskim raketama H-25MP po ciljevima na zemlji koji su štićeni sistemima protivavionske artiljerije upravljanih radarom;

- operativna efikasnost aviona MiG-21-93 u vazdušnoj borbi na većim rastojanjima veća je 10 puta od aviona MiG-21 LANCER, a ukupna efikasnost u svim tipovima borbe u vazdušnom prostoru tri puta.

Procenjuje se da su osnovne razlike u ova dva projekta u različitim ciljevima projekata. Dok je glavni cilj projekta MiG-21-93 maksimalna borbena efikasnost aviona, uz minimalne promene u kabini, projekat MiG-21 LANCER je, uglavnom, usmeren na obezbeđenje komfora pilota, a manje na borbenu efika-

snost aviona. To bi trebalo da omogućiti da avion MiG-21-93, opremljen radarom KOPJE i savremenim naoružanjem, uspešno produži svoj let u 21. vek.

S. Pokorni



RUSKI BORBENI HELIKOPTERI ZA 21. VEK*

Savremena taktika zahteva najintenzivniju primenu borbenih helikoptera protiv neprijateljeve žive sile, oklopnih vozila, protivvazdušne odbrane i protivraketskih sredstava. Ruski borbeni helikopteri, kao što su Mi-28N, Ka-50 i Ka-52 potpuno spremni dočekuju te zahteve savremenog ratovanja.

Mi-28N, poslednji borbeni helikopter priznatog projektnog biroa „Mil“, izrađen je na osnovu iskustava stečenih u toku razvoja borbenog helikoptera Mi-24 (verzije Mi-25 i Mi-35) korišćenog u više od 30 lokalnih ratova i vojnih konflikata u raznim rejonima sveta. Mada Mi-28N pomalo uzmiče helikopteru Ka-50 u armijskoj ponudi, projektni biro „Mil“ neprekidno radi na usavršavanju i posle rekonstrukcije nekih delova i sklopova uspešno je sproveo probna ispitivanja. Nove komponente uključuju reduktor projektovan za prenos veće snage na glavni rotor, efikasnije lopatice glavnog rotora i savremeni sistem elektronskog upravljanja motorom. Međutim, glavno obeležje Mi-28N je potpuno nova avionika koja omogućava izvršavanje borbenih zadataka danju i noću, u svim vremenskim uslovima, kao i sposobnost praćenja reljefa na ekstremno malim visinama, uz izbegavanje prepreka.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, novembar-decembar, 1998.

Sposobnost ovog helikoptera da leti na visini manjoj od 20 metara iznad zemljišta i automatskom režimu čini ga praktično neranjivim za protivničku PVO, a jednodelna konfiguracija glavnog rotora znatno smanjuje njegovu radarsku sliku.

Oprema za osmatranje i nišanje obezbeđuje otkrivanje i identifikaciju ciljeva i u potpunom mraku, kao i lansiranje vođenih raketa i preciznu mitraljesku vatru. Glavno naoružanje helikoptera Mi-28N čini 16 superzvučnih raketa vođenih pomoću uskog radiofara zaštićenog od ometanja. Raketa može da uništava oklopna vozila, uključujući i ona zaštićena reaktivnim oklopom. Helikopter može da nosi 4 kontejnera sa 80 raketa 80 mm (po 20 u svakom kontejneru) ili 20 raketa 130 mm (po 5 u svakom kontejneru). Za sve rakete važi princip dejstva „opali i zaboravi“.

Drugo istaknuto obeležje helikoptera Mi-28N je njegova jedinstvena borbeno izdržljivost. Ispitivanja su pokazala da armirana stakla, koja štite oba sedišta posade, mogu zaustaviti nekoliko hitaca mitraljeza 12,7 mm ispaljenih direktno u staklo. Ona mogu odoleti i parčadima zrna 20 mm.

Pasivna samoodbrana od IC samonavodnih raketa obuhvata motorom stvorenu vazдушnu zavesu koja smanjuje helikoptersku IC sliku 2,5 puta u odnosu na Mi-24. Korisnici potvrđuju da je najvrednije svojstvo helikoptera Mi-28N njegova višenamenska sposobnost, snažna struktura, pouzdanost i pogodnost servisiranja u raznim terenskim uslovima. U odnosu na konkurente Mi-28N je jeftiniji, uz znatno nižu cenu operativne upotrebe.

Uoči 21. veka helikopter Ka-50 „Crni grabljivac“ koji je projektovao projektni biro „Kamov“, postao je koncepcij-

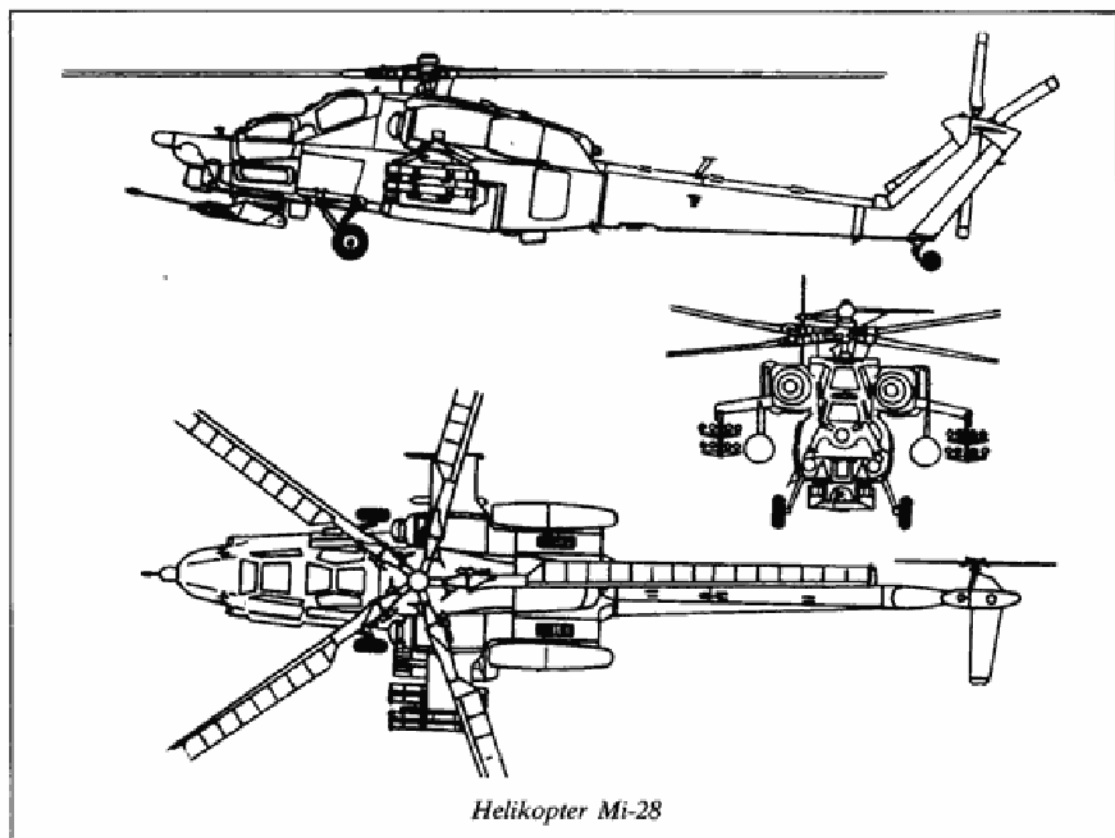
ski borbeni helikopter za rusku odbrambenu industriju. Ideje realizovane u projektu ovog helikoptera nadmašuju sve dosadašnje projekte helikoptera.

„Kamov“ je godinama bio glavni snabdevač brodskih borbenih helikoptera za Rusku flotu. Specifičnosti brodskih helikopterskih operacija ogledaju se u: dugotrajnim, autonomnim brodskim krstarenjima; podizanju i spuštanju na ljuljajuće podloge pod vetrom snage do 6 jedinica, danju i noću; agresivnim uslovima mora i magle; izvršavanju borbenih zadataka stotinama kilometara daleko od broda nosača, često po olujnom vremenu. Druge prednosti su u jednostavnom rukovanju, izvanrednom manevrisanju koje obezbeđuje koaksijalni glavni rotor, jedinstvenoj zaštiti od korozije, visokoj pouzdanosti helikopterskih sistema, itd.

Sva ta svojstva ugrađena su i u najnoviji vojni helikopter Ka-50.

Projekat Ka-50 sadrži unikatna tehnološka i savremena tehnička rešenja. To je prvi jednosedni borbeni helikopter u svetu koji je stalno usavršavan najsavremenijom aviotehnologijom. Mnoga obeležja Ka-50 su jedinstvena i originalna u svetskim razmerama. To su, pre svega, jedinstveni koaksijalni glavni rotor, savremen sistem za izbacivanje sedišta, oružje velike preciznosti koje nadmašuje svoje konkurente u parametrima tačnosti i otpornosti na ometanje i radiofarom vođene protivtenkovske rakete.

Helikopter Ka-50 prošao je sve vrste ispitivanja i sada je u serijskoj proizvodnji. Uveden je u upotrebu OS Rusije za čije potrebe je opremljen ruskom avionikom i naoružanjem, i stalno se moderni-



Helikopter Mi-28

zuje. Pripremljen je i za izvoz. Na izložbi Farnborough '98 prikazana je nova pilotska kabina opremljena savremenom avionikom koju su razvile ruske firme i „Gec Marconi“, uz primenu zapadnih standarda.

Početkom 1997. godine helikopteri Ka-50 i Ka-52 učestvovali su u skoro svim ponudama borbenih helikoptera. Jedna takva je predlagana za Tursku, a avioniku je opremila izraelska firma IAI. Helikopter Ka-50 posebno je uspešan u planinskim, žarkim uslovima i u priobalnim zonama.

„Kamov“ je razvio i verziju dvoseda ovog serijskog sredstva, a to je Ka-52 koji će, zadržavajući sve letne i taktičke prednosti svog prethodnika, služiti kao osnovni model za veliki broj verzija koje će se prilagođavati zahtevima savremenog ratovanja. Ruska armija stvara familiju „Kamovih“ helikoptera kao kičmu svoje borbene avijacije.

Helikopteri Mi-28N, Ka-50 i Ka-52 sigurno će ostati na listi najboljih borbenih helikoptera na početku 21. veka.

M. Krbavac

<<<◇>>>

SAVREMENA INICIJALNA SREDSTVA*

Od ranih devedesetih godina, u uslovima stalnog smanjenja potreba za nuklearnim naoružanjem, Ruski federalni nuklearni centar (ili Sveruski naučnoistraživački institut za eksperimentalnu fiziku, VNIIEF) započeo je aktivnu saradnju sa preduzećima koja se bave razvojem konvencionalnog naoružanja, vojne opreme i municije, posebno sa onim za razvoj preciznog naoružanja. Ta saradnja

zasnivala se na redukciji nuklearnog naoružanja, s jedne strane, i zahtevima za savremenim, efikasnijim naoružanjem na svetskom tržištu, s druge strane.

Naučni pristup, tehnologije i novi materijali koje je akumulirao Ruski federalni nuklearni centar i uveo u strukture konvencionalnog naoružanja, municije i ratnog materijala, često je znatno povećavao efikasnost i davao nova svojstva. Tako je u potpunosti primenjeno iskustvo stečeno u projektovanju inicijalnih sredstava i sistema, i elemenata i sistema automatike eksploziva.

Kao tvorac nuklearnog naoružanja od njegovog početka i proizvođač prvih uzoraka, VNIIEF je postavio zadatak izrade inicijalnih sredstava (električni detonatori) koji dejstvuju u vremenu veličine mikrosekundi i poseduju operativno vreme razlike među delovima u okviru jedne mikrosekunde. Osim toga, visok nivo opasnosti kod nuklearnog oružja uvek je zahtevao veliku sigurnost inicijalnih sredstava u toku njihove ugradnje i obavljanju radnji u vezi s tim, koje su sprovedene u Institutu pri razvoju sigurnosnih električnih detonatora za izazivanje eksplozija, putem dugačkih žičnih veza. Te prednosti još uvek su principijelna pozicija ovog instituta.

Jedno od prvih sredstava, preporučenih za upotrebu u okviru ratnih materijala, industrije i za naučne potrebe, je električni detonator ATED 15, serijski proizveden u Muromskom instrumentalnom preduzeću. Mada jednostavan, ATED 15 je vrlo siguran i poseduje visoke karakteristike: srednje operativno vreme je 2 mikrosekunde, a vreme neusaglašenosti oko 0,5 mikrosekundi. Elektrodetonator je punjen eksplozivom koji zahteva specijalno oblikovan strujni impuls za njegovo iniciranje. Zbog toga

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar-oktobar 1998.

električni detonator ne djeluje u slučaju vatre, povezanosti sa industrijskom strujom 220 V i iznad 50 A, pražnjenja statičkog elektriciteta, itd. Takve sigurnosne karakteristike čine ATED 15 neophodnim kada je u pitanju širok spektar savremenih ratnih dejstava, kao i kada se koristi za eksplozije pri pronalazačkim i spasilačkim operacijama, pri tehnološkim i ekološkim katastrofama, tj. pri ekstremnim uslovima.

U kombinaciji sa eksplozivnim generatorima i eksplozivnim elementima automatike, ovi električni detonatori stvaraju oblik eksplozivnog fronta detonacionog punjenja, koji je obavezan za adaptivne bojne glave, uzimajući u obzir tip, brzinu i pravac leta do cilja.

Izrađena je familija električnih detonatora, sličnih ATED 15, po parametrima principa funkcionisanja i performansama, ali različitih po inicijalnim parametrima, konstrukciji i operativnim karakteristikama.

Razvijena je grupa eksplozivnih generatora koji se široko primenjuju za iniciranje familije električnih detonatora ATED 15. Raspoloživi stacionarni generatori mogu sinhronizovano aktivirati do 250 električnih detonatora na udaljenosti do 50 metara. Ovi generatori mogu se sinhronizovati sa inicijalnom pratećom opremom, koja ih, u kombinaciji sa vremenskim karakteristikama električnih detonatora, čini neophodnim za gasno-dinamička istraživanja, geofiziku i sl.

Uporedne karakteristike generatora za aktiviranje detonatora ATED 15 i električnog detonatora EDV koji se koristi u industriji, prikazane su u tabeli.

Uz tradicionalne generatore kondenzatorskog tipa razvijeni su eksplozivni magneti i pjezogeneratori za sinhronizovano aktiviranje električnih detonatora.

Kada nije bilo potrebe za detonatorima kao što su ATED 15, razvijeni su sigurni niskonaponski električni detonatori AED 3011, čije je vreme aktiviranja do 35 mikrosekundi. Navedene karakteristike električnih detonatora obezbeđuju visok nivo i neophodno vreme dejstva bojne glave, prema uslovima koji pružaju maksimalnu efikasnost.

Širok asortiman električnih detonatora razvijenih u VNIIEF obuhvata i detonatore za industrijske potrebe, uključujući električni detonator povećane sigurnosti EDB-1, sa induktivnim spajanjem električnih veza za aktiviranje eksplozivnog punjenja na zemljištu, rudnicima i majdanima, bez opasnosti od gasa ili prašine.

Električni detonator EDB-1, u zavisnosti od namene, sadrži 23 stepena usporjenja (operativno vreme od 5 mikrosekundi do 10 sekundi). Ovi detonatori su namenjeni za portabl prenosne pripale KVP4-1/100 koje proizvode struju frekvencije 20 do 50 kHz, za iniciranje do 100 električnih detonatora sa električnim vatrenim krugom do 1000 m dužine. Taj sistem električnog iniciranja sličan je sistemu „magnadet“ koji je razvila firma „Nobel eksplozivi“ (Engleska) i uspešno se koristi u Velikoj Britaniji, SAD i drugim zemljama.

Asortiman sredstava za iniciranje uključuje i električna sredstva za paljenje koja su otporna na statičko električno pražnjenje. Od posebnog interesa su inicijalna sredstva koja stvaraju lasersko zračenje, aerodinamičko zagrevanje ili mehaničke impulse pojačanog dejstva.

Inicijalni sistemi, zasnovani na lakim detonatorima i aktivirani laserskim eksplozivnim uređajima, poseduju visok nivo otpornosti na ometanje. Inicijalna sredstva koja deluju na osnovu aerodinamič-

Tip električnog detonatora	Tip generatora	Broj el. detonatora	Rastojanje za aktiviranje (m)	Napajanje (V/Hz)	Dimenz. generatora (mm)	Masa (kg)
ATED 15	Stacionarni VU-19	250	50	220/50	520×730×1430	300
EDV 1, EDV 2	Stacionarni	1	20	220/50	620×690×1130	120

kog zagrevanja mogu se koristiti za izazivanje eksplozije i za pirotehničke elemente kosmičkih brodova, za municiju balističkih raketa i za pokretanje toplotno-induciranih izvora.

Za potrebe aviokompanija razvijeni su sistemi za prinudno napuštanje aviona ili helikoptera u slučaju opasnosti, i za potrebe vanrednog provetravanja kabine aviona u slučaju jakog zadimljavanja. Posebnu opremu u tim sistemima čine mehaničke komande i upotreba eksplozivnih elemenata automatike. Povlačenje kontrolne ručice formira detonacionu komandu koja se koristi za:

- razbijanje stakla ili napuštanje prostora;
- premeštanje dela površine;
- izbacivanje članova posade, itd.

Ceo sistem zasnovan je na korišćenju eksplozivnih elemenata automatike, kao što su:

- mehaničko sredstvo za iniciranje, koje formira detonacioni impuls kada je kontrolna ručica povučena;
- detonacioni impuls, koji se prenosi vezom koja je detonacioni provodnik sa malim energetske gubicima;
- izduženo detonujuće punjenje kumulativnog oblika;
- eksplozivni kalem, koji stvara povećani detonacioni impuls i, ako je potrebno, njegovo prebacivanje na električno upravljanje;

– eksplozivna dioda, koja usmerava detonacioni impuls u jednom smeru;

– uređaj za zadržku detonacije, koji određuje operativni algoritam elemenata sistema;

– eksplozivno-inicirajući aktivatori (pirotehnički potiskivači, pirotehničke boce, itd.).

Spasilački sistemi zasnovani na upotrebi eksplozivnih elemenata automatike omogućavaju veliko smanjenje mehaničkih veza, gasnih linija, elektronskih radio-komponenta, uz povećanu stabilnost i nezavisnost sistema.

Za izvođenje podvodnih spasilačkih operacija razvijen je električni eksplozivni sistem koji može da preseče i probuši oplatu broda debljine do 10 mm na dubini do 60 m. Sistem sadrži eksploder, eksplozivni kabl, električne detonatore ATED 15, linijske i ugaone eksplozivne sekače i probijače. Takođe, razvijen je gasni generator za punjenje spasilačkih čamaca kapaciteta 700 litara gasa. Zahtevane radne karakteristike uređaja, njihova pouzdanost i visok nivo bezbednosti garantovale su upotrebu specijalno razvijenih novih pirotehničkih i eksplozivnih elemenata (visoko dispergovani eksplozivi i njihove smeše sa metalnim praškom, gasne i bezgasne pirotehničke komponente, itd.).

M. Krbavac





tehničke novosti i zanimljivosti

PERSPEKTIVE RAKETNOG SISTEMA PVO BUK-M1-2*

Nagli razvoj elektronskih i optroničkih sredstava za izvidanje, upravljanje bojem i oružja povećane preciznosti, kao i sistema za protivelektronsku borbu, doveo je do koncentracije velikog broja elektronskih i optroničkih sistema u jedinicama. Oni se često dupliraju, dolazi do negativnih efekata kompatibilnosti, što sigurno povećava ukupne izdatke. Radi toga se razmatra mogućnost proširenja obima zadataka, kako za ofanzivno, tako i za defanzivno naoružanje.

Tako je, na primer, za vrlo kratko vreme modernizovan raketni sistem PVO srednjeg dometa BUK-M1-2. Ovaj sistem je modernizacijom stekao osobine protivraketnog sistema sposobnog da uništava taktičke balističke rakete, rakete lansirane iz vazdušnog prostora i avio-bombe, kao i protivradarske rakete. BUK-M1-2 može da uništava brodove na moru na udaljenosti do 25 km, radiokontrastne ciljeve na zemlji, uključujući velika komandna mesta, stanice za upravljanje taktičkim balističkim raketama, mostove i druge objekte. Na taj način, ovaj sistem je usmeren na izvidanje i odbrambene zadatke. Međutim, smatra se da

mogućnosti sistema BUK-M1-2 još nisu potpuno iskorišćene, i da se mogu za kratko vreme po potrebi proširiti.

Kako je sistem BUK-M1-2 vrlo pokretljiv, sa velikim mogućnostima borbe sa raznovrsnim ciljevima u vazdušnom prostoru, na raznim rastojanjima i visinama, on je najpogodniji za odbranu vazdušne zone, uključujući tu i odbranu od aviona koji lete na velikim visinama.

Ako je upravnu stanicu potrebno podići na odgovarajući viši nivo, odnosno povećati mogućnosti u otkrivanju ciljeva i određivanju njihovih koordinata sa velikom tačnošću, neophodno je povećanje ulaganja u odgovarajuću materijalnu bazu. Obično, upravljanje letom aviona uključuje mnoštvo opreme, pre svega radara, što veoma utiče na karakteristike pokretljivosti.

S druge strane, odgovarajuće studije su pokazale mogućnosti korišćenja sistema BUK-M1-2 za utvrđivanje koordinata protivničke artiljerije i taktičkih balističkih raketnih položaja, trajektorija leta projektila i raketa određenih sistema. Takođe, mogućnosti se mogu proširiti i inoviranjem softvera.

Prikupljanje podataka o situaciji u vazdušnom prostoru, posebno u uslovima protivelektronske borbe, zahteva upotrebu celokupne radarske opreme iz raketnog sistema PVO i radarskih stanica

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar-februar, 1999.

za prikupljanje podataka smeštenih u sastavu viših komandnih mesta, što povećava mogućnosti otkrivanja zbog zračenja. Poznato je da ometački signali utiču ne samo na operativni domet radara, već izobličavaju i njihove podatke. Radar VEGA, izrađen na osnovi pasivnog radara ORION, sposoban je da generiše podatke o cilju i prenese ih do sistema ADM na komandnom mestu, identifikuje tip i klasu glavne opasnosti iz vazdušnog prostora i to u vreme „radio-tišine“. Razmena podataka između radara VEGA i sistema BUK-M1-2 neće zahtevati ozbiljnija poboljšanja komandnog mesta sistema BUK.

Efikasnost sistema BUK-M1-2 u uništavanju brodova na moru i ciljeva sa radiokontrastom lociranih na kopnu, potvrđena je na raketnim lanserima minolovaca, avionu TUPOLJEV Tu-16 i lanserima taktičkih balističkih raketa. Efikasan domet sistema ne zavisi samo od njegovih karakteristika, već i od tipa i lokacije cilja i od lokacije samog sistema. Tako, na primer, velike vertikalne dimenzije broda i uzdizanje obale iznad nivoa mora za 10 i više metara omogućavaju osmatranje radiokontrasta na daljinama 25 do 30 km i uništavanje brodova udaljenih preko 25 kilometara. Površinski brodovi koji nose naoružanje, uključujući krstareće rakete, balističke rakete i drugo ofanzivno oružje, takođe mogu biti uništeni ovim raketnim sistemom, bilo da se koristi u samoodbrani ili u podršci svojih snaga i vojnih instalacija. Isto tako, mogu se uništiti rakete lansirane iz vazdušnog prostora, vođene aviobombe, kao što su to MAVERICK i WALLEYE, kako u odbrani tako i pri podršci sopstvenih savezničkih snaga.

U poređenju sa površinskim ciljevima na vodi, ciljevi na kopnu su mnogo

teži za uništenje, uglavnom zbog difuzne refleksije okolnog zemljišta, i snažne refleksije iz lokalne infrastrukture i objekata koji su, takođe, radiokontrastni, tj. izvori snažnog ometanja što zahteva savremene algoritme vođenja raketa.

M. K.

<<<◇>>>

NOVE RAKETE ZA SISTEM PVO S-300*

Podatke o novim raketama zemljavazduh za ruski PVO sistem S-300 (zapadna oznaka SA-10 GRUMBLE) obelodanio je glavni isporučilac – centralni projektantski biro ALMAZ.

Završna ispitivanja planirana su za 1999. godinu, a proizvodnja se očekuje početkom 2000. godine. Detalji o raketama otkriveni su na izložbi naoružanja i vojne opreme DEFENDORY u Grčkoj, septembra 1998. godine, kada su nove rakete bile u ponudi.

Nove rakete su mnogo manje mase od postojećih modela. Raketa 9M96E ima masu pri lansiranju 330 kg, maksimalni domet 40 km i maksimalnu visinu leta od 25 km. Raketa 9M69E2 je duža za 0,9 m i ima masu 420 kg, sa maksimalnim dometom od 120 km i visinom leta od 30 km.

Rakete su konceptijski vrlo slične raketama američkog proizvođača Lockheed Martin Vought System. U lansirni kontejner postavljaju se 4 rakete 9M69E ili 9M69E2. Rakete 9M69E i 9M69E2 imaju bojnu glavu mase 24 kg, četiri vertikalna stabilizatora i 4 pokretne upravljačke površine napred. Rakete imaju hladan start, da bi se nakon dosti-

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, oktobar 1998.

zanja visine od 30 m startovao motor. U ranom stadijumu leta vođenje je inercijalno, sa aktivnom glavom za samonavođenje, koja radi do kraja leta.

Verovatnoća pogađanja aviona iznosi oko 90%, balističkih raketa 80%, a delova tih raketa, kao što su bojne glave – 70%. Tako visoka verovatnoća pogađanja ostvarena je ugradnjom novog motora.

Rakete se mogu koristiti na svih 5 postojećih varijanti sistema S-300: S-300 P (SA-10a), S-300 PM (SA-10b), S-300 PMU (SA-10c), S-300 PMU1 (SA-10d) i S-300 PMU-2 FAVORIT (SA-10c). Koriste lanser postavljen na prikolici točkašu ili guseničnom vozilu, koji normalno nosi četiri rakete. Novi modeli raketa omogućavaju lanseru da uspešno nosi 16 raketa. Takođe, rakete se mogu koristiti i za mornaričku verziju S-300F FORT (SA-N-6). Inače, sistem S-300 je u upotrebi u Belorusiji, Bugarskoj, Kini, Hrvatskoj, Mađarskoj, Iranu, Rusiji, Slovačkoj, Siriji i Ukrajini, a postoji i narudžbina iz Kipra.

V. R.

<<<◇>>>

NOVE RAKETE ZA SISTEM PVO SOSNA*

Projektantski biro Tokmaš, nedaleko od Moskve, izradio je prototip sistema PVO SOSNA, koji je obelodanjen 1997. godine.

Očekuje se da će SOSNA biti prikazana početkom 1999. godine. To je sistem na vozilu tegljaču naoružanom dvocevnim topom 30 mm 2A38, istim kao na samohodnom sistemu PVO TUNGUSKA, i sa dve rakete zemlja-vazduh. SOSNA ima pasivni sistem za upravljanje

vatrom koji je postavljen napred na postolju. Taj elektrooptički sistem za upravljanje vatrom ima ugrađen dnevno-noćni osmatrački sistem sa laserskim daljinomerom.

U tipičnom dejstvu rakete će se koristiti za ciljeve na većim daljinama, a topovi 30 mm za ciljeve koji su suviše blizu da bi se koristile rakete.

Prvobitno se pretpostavljalo da će se koristiti rakete IGLA (zapadna oznaka SA-18 GROUSE) ili starija verzija IGLA-1 (SA-16 GIMLET), ali je obelodanjeno da se razvijaju nove laserski vođene rakete većeg dometa SOSNA-R.

Nove rakete, za koje se pretpostavlja da će imati oznaku 9M337, vrlo su slične raketama 9M311 ili 9M311M i raketama 9M335, koje se koriste u PVO sistemu PANCIR-S1, ugrađenom na guseničnom vozilu.

Međutim, raketa SOSNA-R, je manja i razvija maksimalnu brzinu od 1200 m/s (brzina starijih raketa 9M311 iznosi 900 m/s). Prečnik rakete iznosi 70 mm, a prečnik buster-motora je 130 mm. Elektrooptički komplet je modifikovan kako bi prihvatio laserski sistem za vođenje za raketu SOSNA-R koji će biti, pretpostavlja se, vrlo efikasan i težak za ometanje.

Raketi je potrebno 11 sekundi da bi dostigla domet od 8 km. Pretpostavlja se da ima efikasnu visinu leta od 3,5 km i domet od 1,3 do 8 km. Masa rakete je 25 kg sa bojnou glavom mase 5 kg, opremljenom sa 12-kanalnim laserskim blizinskim upaljačem. Transportuje se i lansira iz kontejnera čija je masa 36 kg.

Pored toga što će se koristiti za sistem PVO SOSNA, laserski vođena raketa SOSNA-R može se koristiti i za mornarički sistem PVO PALMA.

V. R.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, novembar 1998.

<<<◇>>>

KINESKI RAKETNI SISTEM ZEMLJA-VAZDUH*

Novi prenosni raketni sistem zemlja-vazduh, označen kao QW-2, razvijen je u kineskoj korporaciji CPMIEC (China National Machinery Import and Export Corporation). Prema dostupnim podacima, očekuje se da proizvodnja uskoro počne. Kao i svi prethodni kineski prenosni sistemi, i QW-2 ima mogućnost pasivnog IC vođenja. Ima efikasnu visinu leta od 10 do 3500 m i stvarnu daljinu gađanja do 6000 m.

U mnogim segmentima sistem QW-2 sličan je ruskom sistemu IGLA-1 (zapadna oznaka SA-16 GIMLET), koji je uveden u upotrebu još 1981. godine.

Kineska raketa ima prečnik 72 mm kao i ruska IGLA-1, ali je neznatno kraća i manje je mase. Takođe, ona ima drugačiji oblik glave za vođenje, za koju se zahteva izuzetno visoka efikasnost u odnosu na različite kontramere. Potrebno je samo 5 sekundi kako bi se pripremila za dejstvo.

Raketa ima masu 11,32 kg od čega 1,42 kg otpada na razornu bojnu glavu. Ima četiri otvorena stabilizatora pozadi i dve komandne pokretne površine na vrhu, tačno iza glave za vođenje. Raketa ima dvostepeni motor koji joj omogućava da leti brzinom od 600 m/s.

Sistem QW-2 je poslednji u drugoj liniji prenosnih sistema PVO razvijenih u kompaniji CPMIEC. Prvi sistem tog tipa bio je HN-5, a kasnije je razvijen ruski sistem SA-7 GRAIL. Posle njega, godine 1994, nastao je sistem QW-1 VANGUARD, koji je inkorporirao karakteristike američkog raketnog sistema STINGER.

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, septembar 1998.

V. R.

<<<◇>>>

SAMOHODNO PROTIVTENKOVSKO ORUĐE 2S25*

Danas se u laka oklopna vozila ugrađuju snažna oruđa sa visokoeфикаsnom opremom za nišanje. Samohodno protivtenkovsko artiljerijsko oruđe 2S25 potpuno se uklopilo u taj trend. Ono je namenjeno za upotrebu u jedinicama KoV, aviodesantnim jedinicama i mornaričkoj pešadiji za borbu protiv oklopnih sredstava i protivničke žive sile.

Oruđe ima autonomiju kretanja do 500 km, a može se prevoziti transportnim avionima i amfibijskim (desantnim) brodovima, desantirati zajedno sa posadom, savladivati talase na moru intenziteta preko 3 bofora, uz mogućnost dejstva iz topa u sektoru $\pm 35^\circ$ i ulaziti u amfibijski brod iz vode sopstvenim pogonom za vreme izvršenja borbenog zadatka.

Glavno naoružanje samohodnog oruđa čini glatkocevni top 125 mm, stabilizovan u dve ravni, sa automatskim punjačem, i sa njim spregnuti mitraljez kalibra 7,62 mm.

Mesta komandira i nišandžije praktično su slična po mogućnostima borbenog osmatranja, nišanja i gađanja. Nišanska oprema nišandžije sadrži noćni i dnevni nišan sa elektronskim digitalnim balističkim računarom i laserskim daljinomerom. Komandirov dnevno-noćni nišan sa laserskim daljinomerom stabilizovanim u dve ose, takođe, služi kao traser za vođenje raketa lansiranih kroz cev topa.

Samohodno oruđe ima individualno hidropneumatsko elastično oslanjanje, koje obezbeđuje visoku tačnost gađanja i omogućava promenu klirensa do veličine 400 mm za 6 do 7 sekundi, što

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar-februar, 1999.

Ukupna masa (t)	18
Posada (članova)	3
Maksimalna brzina (km/h):	
– na putevima	71
– na vodi	10
Autonomija kretanja (km)	500
Naoružanje:	
– top	2A75 125 mm glatkocevni
– borbeni komplet, zrna (od toga u punjaču)	40(22)
– projektili	APFSDS, HEAT, HEF, i laserski vođene rakete
– brzina gađanja (zrna/min)	7
– mitraljez	7,62 mm
– borbeni komplet mitraljeza (metaka)	2000
Dejstvo po azimutu (°)	360
Dejstvo po elevaciji (°)	od -5 do +15 (napred), od -3 do +17 (nazad)
Oklopna zaštita od metaka:	
– čelona	12,7 mm (u sektoru $\pm 40^\circ$)
– ostala	7,62 mm
Motor:	
– tip	2V06-2S
– snaga (kW/KS)	375/510
– specifična snaga (kW/t/KS/t)	20,8/28,4
Transmisija	hidromehanička i hidrostatička

smanjuje mogućnost otkrivanja vozila, posebno na neravnom zemljištu ili u zaklonu.

Konstrukciona rešenja na vozilu omogućavaju modernizaciju topa ugrad-

njom termovizijskog nišana ili uvođenje termovizijskog kanala u topovski nišan, povećanje plovnihsposobnosti, kao i dodatnu zaštitu ugradnjom oklopnih ploča ili drugih sistema.

M. K.

<<<◇>>>

ORUŽJE CTA 40 mm*

Testovi gađanja sistema CT2000 40 mm sa teleskopskom municijom, koji je koristio protivoklopnu pancirnu municiju sa stabilizatorom i traserom APFSDS-T izvršeni su u Buržeu u Francuskoj.

Sistem je razvila firma CTA International, a očekuje se da će ukupni troškovi razvoja iznositi 30 miliona dolara, uz 20 miliona dolara za kompletiranje razvoja sistema spremnog za proizvodnju.

Prvobitna namera bila je razvoj oružja kalibra 45 mm, ali dve godine kasnije

je odlučeno da se razvija oružje 40 mm/70 kalibara. Ono će se ugrađivati u manje kupole. Ispitivanja su pokazala da oružje 40 mm CT2000 i 7,62 mm koaksijalni mitraljez mogu da se integrišu u kupolu borbenog vozila pešadije BRADLEY, kao zamena za top 25 mm M242.

Sve donedavno, ovo oružje je bilo interesantno za modernizaciju borbenog vozila pešadije WARRIOR (britansko), VAD 8 × 8 (francusko) i amfibijsko ofanzivno vozilo AAV (Advanced Amphibious Assault Vehicle) za mornaricu. Prva dva programa su prekinuta, a prototipovi AAV biće naoružani topom 30 mm BUSHMASTER II. Jedina potenci-

* Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, oktobar, 1998.

Karakteristike oružja		Karakteristike municije		
kalibar	40 mm	tip	APFSDS-T	GPR-T
dužina cevi	70 kalibara	masa metka	1,8 kg	2,2 kg
ukupna dužina	3621 mm	masa projektila	450 g	1000 g
širina	311 mm	masa punjenja	500 g	375 g
visina	264 mm			
masa topa	218 kg			

jalna aplikacija sada je britansko-američki projekat TRACER (Tactical Reconnaissance Armored Combat Equipment Requirement)/Future Scout Cavalry System (FSCS). CTA International zna da će ako se sistem ne odabere za TRACER/FSCS vozila, od kojih se očekuje da će biti izrađeno 1239 za SAD i 335 za Veliku Britaniju, morati okončati program. Međutim, ako se izabere projekat 40 mm CTA2000, proizvodne linije u Evropi i SAD izrađivaće oružja prema zajedničkim standardima.



RUSKE RAKETE VAZDUH-VAZDUH NA INOSTRANIM LOVCIMA*

Modernizacija postojećih borbenih aviona savremenim raketnim naoružanjem postala je zajednička praksa na međunarodnom tržištu naoružanja. Takav pristup obezbeđuje pogodnost brzog povećanja borbene sposobnosti lovačke avijacije koja je u upotrebi, uz relativno nisku cenu.

Po prvi put projektni biro iz Vimpela (uključen u koncern avionaoružanja JSC) ugradio je rusku raketu na inostrani lovački avion u skladu sa šemom vojno-tehničke kooperacije. Reč je o lovcu MIRAŽ F1 koji je opremljen ruskim ra-

Planira se razvoj dva tipa municije za CT2000 – APFSDS-T sa početnom brzinom od 1600 m/s i municija opšte namene GPR-T (General Purpose Round) sa početnom brzinom od 1000 m/s. Oba tipa proizvodiće se u kompaniji SNPE. Takođe, planira se primena volframovog penetratora koji je u toku ispitivanja probijao čelični oklop debljine 150 mm na 1500 m, sa značajnim efektima iza oklopa.

V. R.

ketama za blisku borbu vazduh-vazduh R-73E (AA-11).

Po tehničkim parametrima i taktičkim performansama R-73E nadmašuje sve slične inostrane sisteme. Unikatan sistem R-73E ostvaren je uz korišćenje rešenja strukture, oblika i savremenih tehnologija, što mu omogućava:

- razvoj svestranih visokocenjenih IC glava za samonavođenje, sposobnih da prate podatke sa bilo kojih nišanskih sistema aviona, uključujući i zaštićene nišane, i obezbeđuje tačnost samonavođenja na nelinejske ciljeve;

- projektovanje kombinovanih gasno-aerodinamičkih sistema upravljanja (jedinstvenih za rakete vazduh-vazduh) sa snažnim potiskom koji obezbeđuje visokomanevarske karakteristike bez obzira na uslove lansiranja i uslove leta aviona;

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, novembar-decembar, 1998.

– izradu adaptivnog brzoreagujućeg autopilota koji optimizira stabilizaciju rakete i parametara upravljanja na celom vatrenom dometu;

– uvođenje specijalne logičke veze između eksplozivnog upaljača i sistema za vođenje, koja, u zavisnosti od strukture i konfiguracije sredstva, praktično garantuje apsolutnu zaštitu sistema za detonaciju bojne glave od ometanja, i čini je vrlo ubojitom. Slične rezultate dobila je i Luftwaffe za vreme trenažnih borbenih letova aviona F-16/AIM-9MV i MiG-29/AA-11, „uprkos činjenici da F-16 nadmašuje MiG-29 po pitanju manevra“. Tako je ostvarena mogućnost da se ranije generacije lovačkih aviona opreme savremenim raketama za blisku borbu vazduh-vazduh R-73E.

Visoka prilagodljivost rakete i lansera omogućava ugradnju tog raketnog sistema na bilo koji tip aviona, povećavajući mu borbene mogućnosti i kompenzirajući na taj način nedostatak manevarskih sposobnosti.

Biro Vimpel razvio je univerzalni integracioni model koji dozvoljava ugradnju raketnog sistema R-73E na bilo koji tip aviona. Taj model se zasniva na sledećim osnovnim principima:

– raketa ne zamenjuje već pojačava mogućnost avio naoružanja;

– serijski proizvedene rakete R-73E i njihovi lanseri mogu se koristiti bez ikakve modernizacije;

– minimalna modernizacija avionike obezbeđuje maksimalne mogućnosti rakete.

Ovaj koncept je primenjen u razvoju pylon-adaptora koji obezbeđuje pričvršćivanje rakete i njenog lansera na odabrano mesto, i po potrebi povezivanje opreme za modernizaciju. Pylon-adapter služi za mehaničko i električno povezivanje rakete i njenog lansera sa avionom i konverziju podataka o cilju nišanskog sistema

aviona na koordinatni sistem rakete u formi pogodnoj za tragač glave za samonavođenje.

Za kratko vreme koncept adaptacije R-73E uspešno je primenjen na lovcima MIRAŽ.

Biro Vimpel projektovao je i izradio pylon-adaptore sa ugrađenim kutijama za konverziju signala, koje su praćene kompjuterskim simulacijama i ispitivanjima i proverama na zemlji. Konačno, i piloti su izveli probne letove koji su potvrdili operativnost sistema u svim taktičkim postupcima i pokazali značajne prednosti u borbenoj sposobnosti modernizovanog lovca MIRAŽ.

M. K.

<<<◇>>>

BORBENO VOZILLO PEŠADIJE BWP 2000*

Poljska već dugo proizvodi borbena vozila pešadije, ali je uprkos tome u naoružanju imala najviše ruskih sistema. Međutim, posle završetka hladnog rata, interesovanje Poljske za razvoj sopstvenih oklopnih vozila iznenadno je poraslo.

Najznačajniji model koji se pojavio iz konstrukcionih biroa Poljske jeste borbena vozila pešadije BWP 2000, koje ima povećane borbene mogućnosti. Njegov razvoj je sledio zahteve poljske armije za modernizaciju zastarelog naoružanja na ruskim BMP-1, kojim su opremljeni u velikom broju.

Zadatak modernizacije preuzeo je istraživačko-razvojni centar za mehanička sredstva OBRUM u Glivicama na jugu Poljske. OBRUM je već razvio brojna oklopna vozila specijalne namene, zasnovana na šasiji tenka T-72, uključujući inženjersko vozilo MID, tenk nosač mo-

* Prema podacima iz časopisa Jane's International Defence Review, 11/98.

sta PMC-90 i vozilo za izvlačenje WZT-3, a 1995. godine započeo je rad na BWP 2000.

Da bi preoručao BWP 2000, OBRUM je prilagodio kupolu T60/70A razvijenu u odeljenju Alenia Difesa firme OTOBreda. Ta kupola predviđena je za dva člana posade, a opremljena je topom 60 mm/70 kalibara sa velikom brzinom gađanja, koji ispaljuje APFSDS (amored-piercing, fin-stabilized, discarding sabot) projektele sa početnom brzinom od 1630 m/s, koji mogu da probiju homogeni valjani čelični oklop debljine 240 mm na udaljenosti 2000 m pri udaru pod 90°.

Kao rezultat toga, BWP 2000 je sposoban da uništava na borbenom dometu ne samo frontalni oklop borbenih vozila pešadije, nego i tenkova T-55/T-62 i bočni oklop sadašnje generacije tenkova. Istovremeno, kalibar topa od 60 mm je mali, nedovoljan da BWP 2000 zaštiti od opasnosti kojima je izložen pri dejstvu konvencionalnih oklopno-mehanizovanih snaga u Evropi.

Pored topa 60 mm i koaksijalnog mitraljeza 7,62 mm, BWP 2000 je opremljen na jednoj strani kupole i jednocevnim lanserom za gađanje protivtenkovskim vođenim raketama TOW i sličnim. Ta kombinacija učinila je da BWP 2000 bude mnogo bolje naoružan nego do sada.

Kako bi obezbedili efikasnost, oružja se kombinuju sa visokosofisticiranim sistemom za upravljanje vatrom, koji uključuje nezavisno stabilisani nišan sa laserskim daljinomerom i termovizijskim kanalom za nišandžiju, a komandiru je na raspolaganju panoramski periskop sa dnevnim i noćnim kanalima. Top 60 mm je stabilisan po azimutu i elevaciji i integrisan sa ljuľajućom rukom automatskog punjača, tako da se može efikasno gađati iz pokreta brzinom većom od jednog metka za tri sekunde.

Šasija na koju je montirana kupola gotovo je ista kao kod samohodnog minopolagača SUM, ranije razvijenog u OBRUM-u. Međutim, visina njegovog tela je manja i iznosi 1,891 m od tla do vrha kupole. Telo BWP 2000 izrađeno je od čeličnog oklopa, a sa prednje strane može da štiti od dejstva projektila 35 mm APFSDS. To ga čini bolje zaštićenim nego što su to savremena borbena vozila pešadije, čiji oklopi uspešno štite od dejstva projektila 30 mm APFSDS.



Poljski BWP 2000

Vozilo BWP 2000 pokreće dizel motor S 12-K snage 522 kW (709 KS), ima hidrauličnu transmisiju, menjač sa četiri stepena prenosa za kretanje napred i dva stepena prenosa za kretanje unazad, i hidraulički kontrolisan sistem ogibľjenja. Ima 6 oslonih točkova i čelične gusenice sa gumenim umecima.

Raspored u telu vozila je konvencionalan, sa motornim odeljenjem u prednjem delu i prostorom za vozača na levoj strani. U sredini se nalazi kupola, a u zadnjem delu je odeljenje za smeštaj 8 vojnika. Bobena masa BWP 2000 iznosi 32 tone, što ga čini jednim od najtežih borbenih vozila pešadije koja su se pojavila.

V. R.

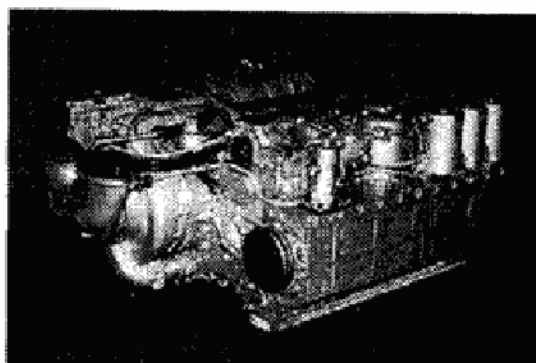
<<<◇>>>

SAVREMENI UKRAJINSKI TENKOVSKI DIZEL MOTORI*

Tenkovski motor, kao najvažniji agregat u pogonskom odeljenju, ima odlučujuću ulogu u težinsko-gabaritnim pokazateljima, pokretljivosti i ukupnoj ceni tenka. On mora da ima minimalne dimenzije, visoku efektivnost i niske toplotne gubitke. Mora biti višegorivni, dugotrajan, pogodan za remont, otporan na požar i sposoban za rad u svim uslovima okoline.

Preduzeće za projektovanje i proizvodnju motora iz Harkova poznato je još od proizvodnje čuvenog tenkovskog motora V-2 za tenk T-34, koji je razvio i pustio u proizvodnju 1939. godine. Danas je to istraživački i proizvodni sistem opremljen jedinstvenom i specijalizovanom opremom koja omogućava razvoj savremenih motora za vojne potrebe.

Kooperacijom sa drugim firmama ovo preduzeće je razvilo savremene tenkovske dizel motore sa najmanjom potrošnjom goriva. Tenkovi T-64, T-80UD i



Dizel motor 5TDF

nova generacija borbenih tenkova T-84, koja zauzima visoko mesto na svetskom tržištu naoružanja, imaju nove dizel motore razvijene u ovom preduzeću. To su dvoredni, trocilindrični, petocilindrični i šestocilindrični, višegorivni, turbopunjeni motori koji imaju direktno ubrizgavanje. Sa znatnom razlikom u snazi, sve konstrukcije dizel motora su iste visine (581 mm) i u svetu su poznati kao najniži, što potpomaže razvoj borbenih tenkova nove generacije sa niskom siluetom.

Dugogodišnja upotreba dizel motora za pogon borbenih tenkova, oklopnih transportera i inženjerskih sredstava

Osnovne karakteristike dvorednih turbo-dizel motora

Tip	3TD	5TDF	6TD-1	6TDR	6TD-2
Namena	ARS	T-64 tenk	T-80UD tenk	Izvid. vozilo	T-84 tenk
Snaga (kW/KS)	375/510	515/700	735/1000	735/1000	882/1200
Broj obrtaja (o/min)	2600	2800	2800	2800	2600
Obrtni moment (Nm/br. obrt.)	1520/1950	1922/2050	2511/2050	2511/2050	3011/2050
Specifič. potrošnja goriva (g/KSh)	160	170	158	158	160
Prečnik cilindra (mm)	120	120	120	120	120
Hod klipa (mm)	2 × 120	2 × 120	2 × 120	2 × 120	2 × 120
Broj cilindara	3	5	6	6	6
Radna zapremina klipa (l)	8,15	13,6	16,3	16,3	16,3
Potrošnja vazduha (kg/s)	0,86	1,21	1,65	1,65	1,80
Ukupne dimenzije (mm):					
- visina	581	581	581	581	581
- širina	955	955	955	1093	955
Masa (kg)	950	1040	1180	1220	1180
Specifična masa (kg/KS)	1,67	1,47	1,18	1,22	0,98
Specifična snaga (KS/m ³)	747	895	1120	1120	1350

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar-februar 1999.

potvrđuje njihovu veliku pouzdanost, trajnost i efikasnost. Proizvedeni motori su rezultat korišćenja vrhunske savremene tehnologije i projektnih rešenja. Projekat dizel motora praćen je sa preko 100 patenata i drugih sertifikata.

Komparativna analiza ovih dizel motora sa motorima iz drugih zemalja favorizuje ih po specifičnim indikatorskim parametrima ukupnim dimenzijama i gabaritnim veličinama odeljenja za pogon u tenku. Uz jednake parametre snage, masa dizel motora 6TD-2 je za 1000 kg manja od mase dizel motora AVDS 1790 (SAD), a njegovi parametri zapreminske snage dva puta su veći od onih kod dizel motora C12V (Velika Britanija). Takođe, njegovi parametri snage u odnosu na gabarite su 2 do 6 puta povoljniji od onih koje imaju motori AVDS i C12V.

Dizel motori od 515 do 882 kW, (od 700 do 1200 KS), koji se preporučuju za borbene tenkove, trenutno se razvijaju za modernizaciju tenkova T-55, T-62, T-64, T-72 i M-60, i druga borbena vozila.

M. K.

<<<◇>>>

ŠVEDSKI RADAR ŽIRAF*^{*}

Švedska kompanija Ericsson Microwave Systems dobila je prvu porudžbinu za svoj 3D radar ŽIRAF AMB (Agile Multi Beam).

Prvi radar biće isporučen 1999. godine, za upotrebu sa poboljšanim raketnim sistemom I-HAWK (Improved HAWK) zemlja-vazduh.

Takođe, Ericsson je potvrdio da će svoj sistem 3D ponuditi za zadovoljenje zahteva armije Holandije za 8 sistema. Prvi prototip ŽIRAF kompletno je

1997. godine i od tada su izvršena brojna korisnička ispitivanja. Ispitivanja će se završiti 1999. godine, kada će se pokazati da li radar ispunjava zahteve po pitanju dometa i tačnosti.



Radar ŽIRAF

Radarom se može dobiti informacija o 10 raketa kratkog dometa simultano, a može raditi u dometu od 30 km, 60 km i 100 km sa elevacijom od preko 70°.

Sistem je montiran u kabini koja je otporna na dejstvo NHB oružja, kao i parčadi granata, a nosi ga terensko vozilo. Operator može izabrati jednu od dve dužine antene – 8 m ili 12 m.

Normalno je da rade tri operatora, ali se može koristiti i daljinski sistem upravljanja. Mada se sistem ŽIRAF nalazi u punoj proizvodnji, kompanija proučava moguća dalja poboljšanja. U kompaniji Ericsson Microwave Systems se nadaju da će novi radari imati potenci-

^{*} Prema podacima iz časopisa Jane's Defence Weekly, septembar 1998.

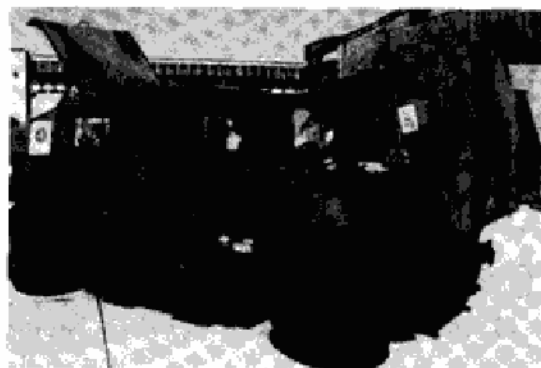
jalno veliko tržište zbog njegove komplementarnosti sa postojećom familijom radara ŽIRAFa, od kojih je 500 sistema izrađeno, uglavnom za izvoz.

V. R.

<<<◇>>>

HIBRIDNO VIŠENAMENSKO VOZILO*

Prototip višenamenskog vozila točkaša velike pokretljivosti HMMWV (High-Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle), koji koristi hibridni električni



Hibridno višenamensko vozilo HMMWV

pogon, ispitivan je tokom oktobra 1998. godine u SAD.

Prilagođeni hibridni električni pogon omogućava ubrzanje do 80 km/h za 7 sekundi (u odnosu na 17 do 20

sekundi sa konvencionalno pokretnim HMMWV). Maksimalna brzina je povećana sa 105 km/h na 135 km/h, a udvostručena je efikasnost korišćenja goriva (6,5 do 7,5 km po litru goriva).

Hibridni HMMWV može savladivati nagib od 60% dvostruko brže i ima operativni radijus kretanja oko 600 km. Emisija izduvnih gasova redukovana je tako da je sada na nivou malog ekonomičnog vozila. Kada radi u „stealth“ uslovima HMMWV je nečujan, nema emisije izduvnih gasova, a korišćenjem nikl akumulatora svi elektroresursi se mogu udvostručiti.

Sistem propulzije pogoni turbopunjeni dizel motor Volkswagen snage 55 kW, ali se planira povećanje snage u drugom prototipu na 75 kW. Motor-generator održava rezervu energije preko prenosnog baterijskog sistema, tako da nema potrebe da se vozilo puni iz spoljnih izvora električne energije. Raspoloživa energija je dovoljna za rad opreme na vozilu, kao što su prijemnici i laseri.

U kompaniji PEI Electronics se ističe da će postojeći HMMWV biti konvertovan za hibridni električni pogon i da se neće zahtevati veći troškovi zbog izmene proizvodnog programa za proizvodnju 800 do 1000 vozila. Takođe, tehnologija će biti primenjiva i za buduća taktička vozila, kao što su RST-V ili FSCS izviđačke platforme.

V. R.

<<<◇>>>

* Prema podacima iz časopisa Jane's International Defence Review, 11/98.

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Redakcija

„VOJNA KNJIGA“

Vam preporučuje

781. Zlatomir Grujić:
**AVIJACIJA SRBIJE I JUGOSLAVIJE
1901-1994.**

Cena: 140,00; sa popustom: 98,00 d.

789. Aleksandar Radić:
BORBENI AVIONI

Cena: 60,00 d.

727. Predrag Pečjić:
VOJNI HELIKOPTERI

Cena: 80,00 d.

803. Slavko Tomović:
ISPITIVANJE POUZDANOSTI

Cena: 130,00; sa popustom 91,00 d.

785. Milivoj Jugin:
KOSMOS OTKRIVA TAJNE

Cena: 450,00; sa popustom: 315,00 d.

740. Petar Radičević:
MINERALNE SIROVINE U RATU I MIRU

Cena: 60,00; sa popustom: 42,00 d.

805. Svetomir Minić i Živan Arsenić:
**MODELI ODRŽAVANJA TEHNIČKIH
SISTEMA**

Cena 350,00; sa popustom: 245,00 d.

815. Radomir Vujković:
**MEĐUNARODNA KONTROLA
NAORUŽANJA**

Cena 120,00; sa popustom: 96,00 d.

799. Jovan Matović i Željko Petrović-Poljak:
**ORUŽJE, ENERGIJA I TREĆI
SVETSKI RAT**

Cena: 160,00; sa popustom: 96,00 d.

783. Boško Antić:
POVRŠINSKI RATNI BRODOVI

Cena: 60,00 d.

778. Boško Antić:
PODMORNICE

Cena: 60,00 d.

800. Artur Demek:
PREGLED SVETSKJE AVIJACIJE 1997-98.

Cena: 60,00 d.

760. Boško Antić:
SAVREMENI RATNI BRODOVI

Cena: 250,00; sa popustom: 175,00 d.

770. Aleksandar Radić:
**SPECIJALNI, ŠKOLSKI I TRANSPORTNI
AVIONI**

Cena: 60,00 d.

786. Milosav Đorđević i Stanislav Arsić:
TENKOVI 1945-2005

Cena: 360,00; sa popustom: 252,00 d.

595. Nikola Vujanović:
**TEORIJA POUZDANOSTI TEHNIČKIH
SISTEMA**

Cena: 50,00; sa popustom: 35,00 d.

NAPOMENA:

**Za svaku narudžbu knjiga potrebno je dodatno
uplatiti 22,00 dinara za PTT troškove.**

NARUDŽBENICA

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Beograd, Birčaninova 5

Tel./faks: (011) 645-020

Naručujem knjige pod brojem/komada

Plaćanje unapred
(vrednost naručenih knjiga + PTT troškovi)
na žiro-račun 40818-637-9-6319. RC Topčider
(za VIZ), poziv na broj **963-011**. Narudžbenicu i uplatnicu slati na adresu:

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD,
Birčaninova 5,
11002 Beograd.

Reklamacije za neuručene knjige primamo u roku od 30 dana.

Kupac

Ulica i broj

Telefon

Mesto i broj pošte

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

Tehničko uređenje
Branko Marković

Lektor
Dobрила Miletić, profesor

Korice
Milojko Milinković

Korektor
Bojana Uzelac

Cena: 20,00 dinara
Tiraž 1300 primeraka

Rešenjem Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, broj 413-00-222/95-0101 od 19. 06. 1995. godine časopis „Vojnotehnički glasnik“ je oslobođen plaćanja opšteg poreza na promet proizvoda.

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju i informacije (CVNDI)