

NOVINSKO-IZDAVAČKA USTANOVA
„VOJSKA“

NACELNIK

Pukovnik
STANOJE JOVANOVIĆ

UREĐIVAČKI ODBOR

General-major
dr JUGOSLAV KODZOPELJIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)

General-major
dr SINISA BOROVIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika)

General-major
dr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.

General-major
MILISAV BRKIĆ, dipl. inž.

General-major
dr SLOBODAN BURSAC, dipl. inž.

General-major
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr JOVAN TODORVIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr BORIVOJE LAZIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr DRAGAN LAZAREVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILAN SUNJEVARIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr DRAGO TODORVIĆ, dipl. inž.

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

Pukovnik
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.

Pukovnik
MILAN UZELAC, dipl. inž.

Potpukovnik
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

●
GLAVNI I ODGOVORNI
UREDNIK

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

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

Sekretar redakcije
Zora Pavličević
(tel. 23-59-258 ili 33-258)

ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK — BEOGRAD, Bircaninova 5,
Pretpлата 645-020 i 22-584, žiro-račun: NIU
„VOJSKA“ (za Vojnotehnički glasnik)
40823-849-0-2393 Beograd. Godišnja pret-
plata 60,00 dinara. Rukopisi se ne
vraćaju. Štampa: Vojna štamparija —
Beograd, Generala Zdanova 40 b.

STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJE

VOJNOTEHNIČKI
G L A S N I K

2

SADRŽAJ

- Slobodan Ilić**, kapetan, dipl. inž. 133 Pouzdanost ljudskog faktora u održavanju tehničkih sredstava
- Dr Jovan Todorović**, profesor, dipl. inž.
Dr Petar Stanojević, kapetan I klase, dipl. inž.
- Dr Rade Stanković**, potpukovnik, dipl. inž. 151 Model za ocenu karakteristika slučajnog procesa promene tehničkog stanja elemenata tribomehaničkih sistema
- Dr Dušan Regodić**, potpukovnik, dipl. inž. 165 Proračun aksijalnog aerodinamičkog koeficijenta primenom metode AERODR
- Dr Dragan Lazarević**, pukovnik, dipl. inž.
Mr Zoran Popović, potpukovnik, dipl. inž. 180 Režim opterećenja pogonskog točka guseničnog vozila
- Mihajlo Stankić**, potpukovnik, dipl. inž. 196 Primena metodologije SADT pri projektovanju lokalnih računarskih mreža
- Goran Poturica**, vodnik I klase, student VTA 209 Model rasporeda vremena za pripremanje ispita studenata zasnovan na fazi logici
- Mr Miroslav Savanović**, potpukovnik, dipl. inž. 218 Trendovi razvoja raketa vazduh-vazduh u svetu
- Dr Svetomir Minić**, pukovnik, dipl. inž. 229 Neodređenosti u održavanju — prikaz knjige —
- Dr Janko Viličić**, dipl. inž. 233 Povodom »Kritičkog osvrta na knjigu Fizika eksplozije«

PRIKAZ IZ INOSTRANIH ČASOPISA

- 237 Samohodni artiljerijski sistem 2S31 VENA — V.R.
- 238 Nova francuska kupola sa topom 105 mm — V.R.
- 239 Tenk na pragu 21. veka — D.B.
- 244 Aktivna zaštita za tenkove — M.K.

- 245 Novi projekti ruskih aviona — V.R.
- 248 Avijacija 21. veka — M.K.
- 251 Dizel motori za brzohodne brodove — M.K.

TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

- 255 Lako protivtenkovsko oružje AT4 CS — V.R.
- 256 Haubice NORINCO 105 mm — V.R.
- 257 Američka inteligentna municija — V.R.
- 258 Poboľjšane ruske rakete — V.R.
- 259 Usavršavanje lovca MiG-29 — V.R.
- 259 Avioni Su-39 za Poljsku — V.R.
- 260 GRIPEN testira C² koncept Švedske — V.R.
- 261 Francuska letelica za ometanje telekomunikacija — M.S.
- 261 Prenosni uređaj za satelitsku komunikaciju — M.S.

Slobodan Ilić,
kapetan, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

Dr Jovan Todorović,
profesor, dipl. inž.
Mašinski fakultet, Beograd

Dr Petar Stanojević,
kapetan I klase, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

POUZDANOST LJUDSKOG FAKTORA U ODRŽAVANJU TEHNIČKIH SREDSTAVA

UDC: 62-7.001:623.442.45.004.2

Rezime:

U ovom radu prikazan je pristup u definisanju mogućih grešaka koje čini čovek i faktora koji doprinose njihovom nastanku pri održavanju tehničkih sredstava. Na primeru automatske puške, definisane su moguće greške ljudskog faktora i njihovi uzroci pri održavanju. Dat je i prikaz mogućih načina procene pouzdanosti ljudskog faktora i faktora koji ih karakterišu — faktori uzroka, na osnovu standarda IEC 300-3-8 »Pouzdanost ljudskog faktora«.

Ključne reči: pouzdanost ljudskog faktora, održavanje, greška, procena ljudske pouzdanosti, faktor uzroka, automatska puška.

HUMAN RELIABILITY IN MAINTENANCE OF TECNICAL SYSTEMS

Summary:

This paper presents one approach to define possible human errors and their contributing factors in maintenance of technical systems. Possible human errors in maintenance are estimated on automatic guns. The paper describes a possible way of estimation of human reliability assessment and performance shaping factors by the standard IEC 300-3-8 »Human reliability«.

Key words: human reliability, maintenance, error, human reliability assessment, performance shaping factors, automatic gun.

Uvod

U savremenim uslovima, sve veća složenost vojnih tehničkih sredstava i, kao posledica toga, velika cena svakog modela tehničkog sredstva, primoravaju na krajnje odgovoran odnos, ne samo prema izboru tehničkih svojstava i karakteristika već i prema načinu eksploatacije i održavanja. Uloga čoveka u svemu tome je primarna, budući da on prati tehničko sredstvo u svim fazama njegovog životnog ciklusa. Dakle, čovek formuliše konceptijsko i idejno rešenje, učestvuje direktno u njegovom razvoju i projekto-

vanju, potom u njegovoj proizvodnji i puštanju u rad, korišćenju i održavanju i, na kraju, rashodovanju. Stoga je opravdano i analizirati mogućnosti čoveka da u tehničko sredstvo nesvesno ugradi određenu grešku u nekoj od faza njegovog životnog ciklusa. Ta greška može se manifestovati na više načina. Pre svega, odnosi se na funkcionalnu pogodnost, bezbednost, pouzdanost i pogodnost održavanja. Tehnička sredstva će imati smanjen »kvalitet u upotrebi«, ukoliko dolazi do otkaza zbog grešaka ljudskog faktora. Radi toga, pored problema pouzdanosti tehničkih sredstava, potre-

bno je analizirati i pouzdanost ljudskog faktora, odnosno pouzdanost sistema »čovjek — tehničko sredstvo«. Pri tome se ne treba ograničiti samo na jednog operatora (radnika), već analizirati kolektiv čiji članovi zajedno usaglašavaju i koordiniraju svoje akcije, odnosno učestvuju u upravljanju sistemom u svim fazama životnog ciklusa.

Ovim problemima se do danas nije posvećivala velika pažnja. Zato je posljednjih godina došlo do razvoja novih disciplina, kao što je »inženjerstvo ljudskog faktora«, koje za osnovni cilj imaju ugradnju »ljudskih performansi« u tehničko sredstvo — sistem, jer se na taj način minimizira verovatnoća otkaza ljudskog faktora. Veliki doprinos tome daju i druge nauke, kao što su psihologija, fiziologija, sociologija, pedagogija, ergonomija, itd. U ovoj oblasti se u svetu već daleko otišlo, tako da je u pripremi i novi standard IEC 300-3-8 Upravljanje sigurnošću funkcionisanja — deo 3; Uputstvo za upotrebu — sekcija 8: »Pouzdanost ljudskog faktora« (Human reliability).

U ovom radu dat je mogući pristup prikupljanju podataka o greškama održavanja i uzročnim faktorima koji dovode do grešaka čoveka tokom održavanja tehničkih sredstava. To praktično znači pokušaj primene »Inženjerstva ljudskog faktora« u vojnim sistemima održavanja. Radi toga posebno su formulisani obrasci i metode koji bi mogli da posluže kao pomoć u određivanju grešaka održavanja. Ovi obrasci (formulari) ne dovode direktno do odgovora šta je uzrok greške održavanja, ali omogućavaju licu koje sprovodi ispitivanje da indirektno ili direktno dođe do odgovora, i da sprovede potrebne akcije kako bi se predupredilo eventualno ponavljanje istih ili sličnih grešaka.

Neki prilazi izučavanju pouzdanosti ljudskog faktora

Inženjerska psihologija

Problemom pouzdanosti ljudskog faktora naučnici su počeli da se bave tokom Drugog svetskog rata, proučavajući razvoj, rad i praktičnu primenu uređaja kabine aviona za anatomske, fiziološke i psihofiziološke ispitivanje mogućnosti pilota. Nauka koja se bavi tom problematikom je ergonomija (od grčke reči ergos — rad i nomos — zakon), kako se naziva u zemljama zapadne Evrope i kod nas, dok se u SAD sreće i kao »human engineering« a u bivšem Sovjetskom Savezu kao »inženjerska psihologija«. U svakom slučaju ergonomija je širi pojam od »human engineering« i »inženjerska psihologija«, jer ona u sebi sadrži još i naučnu organizaciju rada. Grupa sovjetskih naučnika u literaturi [1] je analizirala pouzdanost ljudskog faktora i to ne samo odnos »čovjek — tehničko sredstvo« već i odnos »pretpostavljen čovek — čovek — tehničko sredstvo«.

Osnovni, do sada iskristalisani pravci istraživanja preko kojih treba analizirati pouzdanost ljudskog faktora su [1]:

- medicinsko-biološki,
- inženjersko-psihološki,
- tipološki i pedagoški.

Medicinsko-biološki pravac istraživanja pouzdanosti ljudskog faktora karakteriše se izučavanjem postojanosti pojedinih fizioloških i psiholoških kvaliteta, pokazatelja radne sposobnosti čoveka, uticaja njegove emocionalne napetosti i režima rada na radne pokazatelje. Ističe se da metode primenjene u tom pravcu istraživanja ne otkrivaju specifičnosti pouzdanosti ljudskog faktora kao integralne karakteristike čovekovog ponašanja i delatnosti koja je na poseban način povezana sa njegovim fiziološkim i psiholo-

škim stanjem, niti otkrivaju suštinu te veze, te stoga ostaju nedirnuta mnoga pitanja koja interesuju stručnjake za projektovanje i inženjere. Na primer, ne uzima se u obzir činjenica da je zastoj ili greška operatora (radnika) često posledica konstrukcijske neprilagođenosti tehničkih sredstava.

Inženjersko-psihološki pravac istraživanja pouzdanosti ljudskog faktora razmatra problem pouzdanosti operatora kao problem maksimalnog usaglašavanja konstrukcije tehničkih sredstava sa čovekovim mogućnostima i sposobnostima. Tom problemu je određeno izučavanje, kako vremena, tako i tačnosti izvršenih radnji i pokreta. Uporedo sa tim, ocena pouzdanosti operatora ne svodi se samo na pomenute pokazatelje. Za određivanje pouzdanosti operatora nije dovoljno znati samo vreme i tačnost izvršenja njegovih pojedinih radnji, već je važno svestrano izučiti čovekovu delatnost, pri čemu posebnu pažnju treba obratiti na dinamiku upravljanja i radnu sposobnost.

Tipološki pravac istraživanja pouzdanosti ljudskog faktora objedinjava metode izučavanja čovekovih tipoloških karakteristika i svojstava njegovog nervnog sistema koji uslovljavaju te karakteristike. Postavke koje se razmatraju u tom pravcu predstavljaju osnovnu preporuku za profesionalni izbor operatora — specijalista.

Pedagoški pravac istraživanja pouzdanosti ljudskog faktora otkriva puteve i metode obuke i vežbanja operatora, načine za povećanje pouzdanosti navika, metode izgrađivanja visokih moralno-psiholoških karakteristika i jačanje psihološke stabilnosti u odnosu na faktore koji deluju u realnoj situaciji upotrebe.

Sa opštih pozicija kibernetike, svi mogući pravci izučavanja problema pouzdanosti ljudskog faktora mogu se podeliti na dva osnovna prilaza: mikro i makro. Pri mikroprilazu, osnovni

cilj istraživanja je otkrivanje i izučavanje zavisnosti izlaznih karakteristika ljudskog ponašanja od unutrašnjih svojstava objekta (čoveka). Pri makroprilazu, čovek se razmatra kao »crna kutija«, čija unutrašnja struktura nije jasna ili ne interesuje istraživača, a koriste se samo spoljašnje (izlazne) karakteristike te »crne kutije«.

Medicinsko-biološki i pedagoški pravci istraživanja pouzdanosti ljudskog faktora odgovaraju mikroprilazu, a inženjersko-psihološki i tipološki pravci istraživanja pouzdanosti ljudskog faktora odgovaraju makroprilazu [1]. Pri tome se inženjersko-psihološki pravac, uglavnom, koristi kao makroprilaz u fazi projektovanja tehničkih sredstava, a tipološki kao makroprilaz u fazi eksploatacije tehničkih sredstava [1].

U principu, u fazi projektovanja tehničkog sredstva, za konstruktora bi, uz potpuno poznavanje čovekovih karakteristika, bio pogodan inženjersko-psihološki prilaz. Međutim, konstruktivne osobenosti tehničkih sredstava, sa kojima čovek u radu stupa u kontakt, su različite pa je praktično nemoguće dobiti kvantitativne ocene i preporuke za sve slučajeve prakse projektovanja. U tom pogledu perspektivniji je mikroprilaz, a posebno medicinsko-biološki pravac, ali se u odnosu na njega do danas daje malo kvantitativnih praktičnih preporuka [1].

William L. Rankin i Jerry P. Allen su u literaturi [2] izneli osnove za korišćenje pomoćnih sredstava za rešavanje grešaka održavanja **MEDA** (Maintenance Error Decision Aid). Adekvatan prevod ovog pojma mogao bi biti **OGOPS** (određivanje grešaka održavanja pomoćnim sredstvima) ili **GOOPS** (greške održavanja određene pomoćnim sredstvima). Oni su na osnovu podataka u periodu od 1982. do 1991. godine došli do zaključka da se 15% (39 od 264) neželjenih događaja (otkaza) u komercijalnim avio-letovima o-

dnosi na održavanje kao glavni uzročnik. Najčešći tipovi grešaka održavanja koji su doveli do otkaza bili su:

- pogrešna ugradnja delova,
- zaboravljeni alat u remontovanim delovima aviona,
- neadekvatno podmazivanje,
- zaboravljanje postavljanja osigurača na predviđenim mestima,
- funkcionalni nedostaci ugrađenih delova,
- pogrešno povezivanje električnih i drugih vodova.

U svakom slučaju, uloga čoveka u tim greškama održavanja je dominantna. Ljudski faktor smatra se krivcem za propuste u održavanju i njemu se pripisuju greške. Reason J. je u literaturi [3] razmatrao fenomen označen kao »ciklus krivice«. On veruje da se krivica pripisuje ljudima, a ne situacijama. To je zbog iluzije zapadnjačke kulture o slobodi i moći čoveka da određuje sopstvenu sudbinu. Analiza ciklusa krivice se, prema tom autoru, može izvršiti samo ako se ima na umu da se ljudske sposobnosti (odlike) razvijaju u zavisnosti od situacije ili okoline, da greške imaju više uzročnih faktora i da se okolnosti često mnogo sporije menjaju od ljudi.

Zbog svega toga, kao i sklonosti da se nepoznati i teško objašnjivi događaji avionskih i drugih nesreća proglašavaju za grešku ljudskog faktora, potrebno je izvršiti znatno temeljnija istraživanja kako bi se sagledali svi faktori koji dovode u vezu čoveka, opremu i druge promenljive okolnosti [3].

Prema literaturi [4] sprovedena su istraživanja u oblasti procene ljudske pouzdanosti (Human Reliability Assessment — HRA) i procene mogućnosti rizika — (Probabilistic Risk Assessment — PRA). Data je lista tih promenljivih koje su nazvane uzročnim faktorima određenih karakteristika (Performance Shaping Factors — PSFs) i izvršena je njihova tačna po-

delu prema standardu IEC 300-3-8 »Human reliability«, (slika 1). Faktori se koriste kao osnova za redukciju grešaka [4].

Naime, ono što je zapravo neophodno za analizu ljudskih grešaka u održavanju, kao i poboljšanje ljudske pouzdanosti (slika 2) [4], jeste da se prikupe empirijski podaci o tipovima grešaka koji se pojavljuju, njihovim posledicama, uzročnim faktorima određenih karakteristika koji su doveli do tih grešaka, kao i strategiji intervencije za redukciju budućih grešaka koje se pripisuju istim uzročnim faktorima (PSFs).

Ciljevi istraživačkog procesa korišćenja pomoćnih sredstava za rešavanje grešaka održavanja — **MEDA** su:

- bolje razumevanje uticaja uzročnih faktora određenih karakteristika (PSFs) na greške održavanja;

- organizacija održavanja sa standardnom metodologijom za analizu grešaka održavanja, njihovih uzroka, posledica i strategija načina delovanja radi prevencije;

- obezbeđenje metodologije za analizu nastajanja svih mogućih grešaka u organizacijama održavanja.

MEDA sredstva sastoje se od:

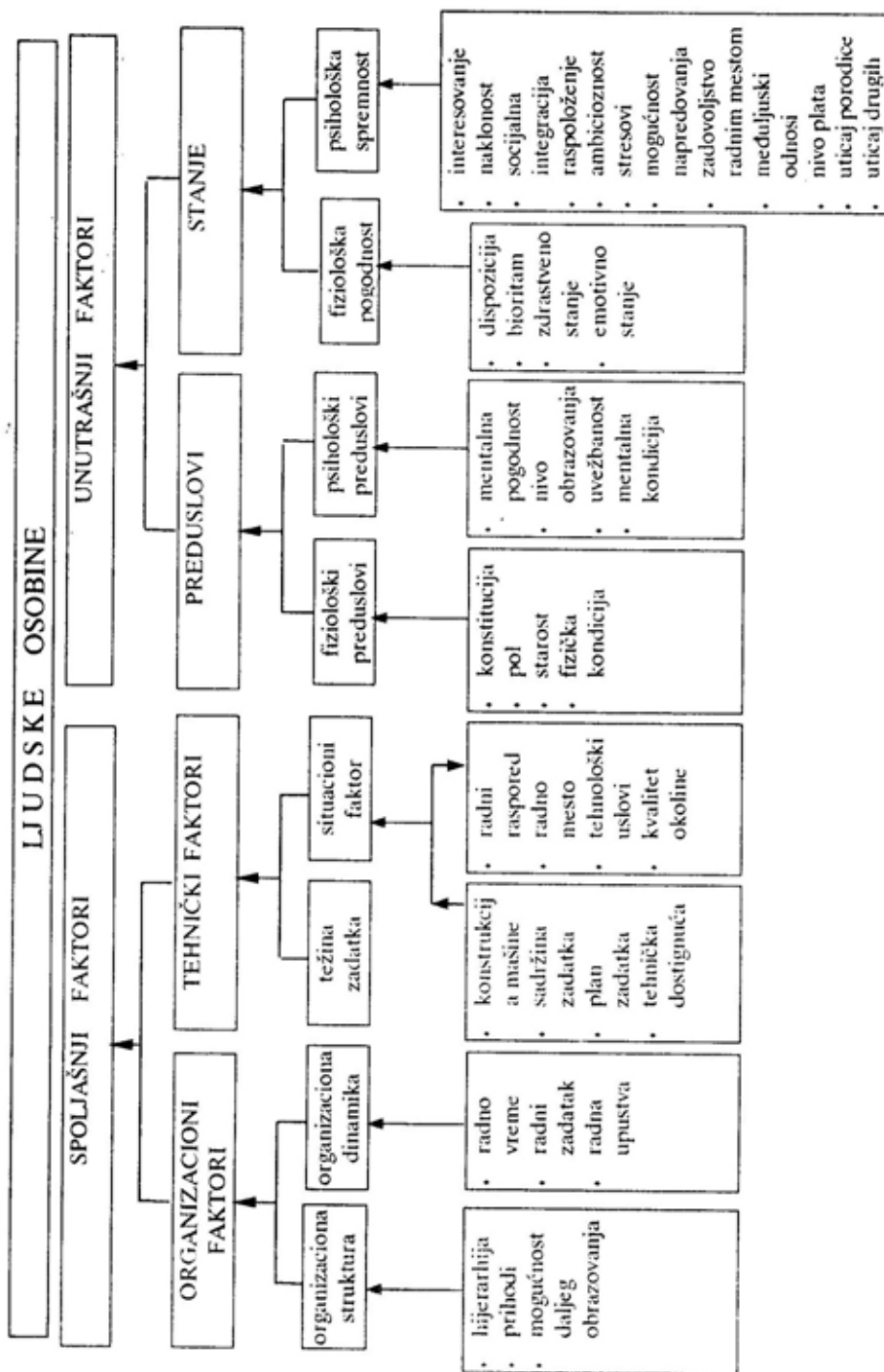
- formulara (obrazaca za prikupljanje podataka),

- priručnika za olakšavanje procesa istraživanja,

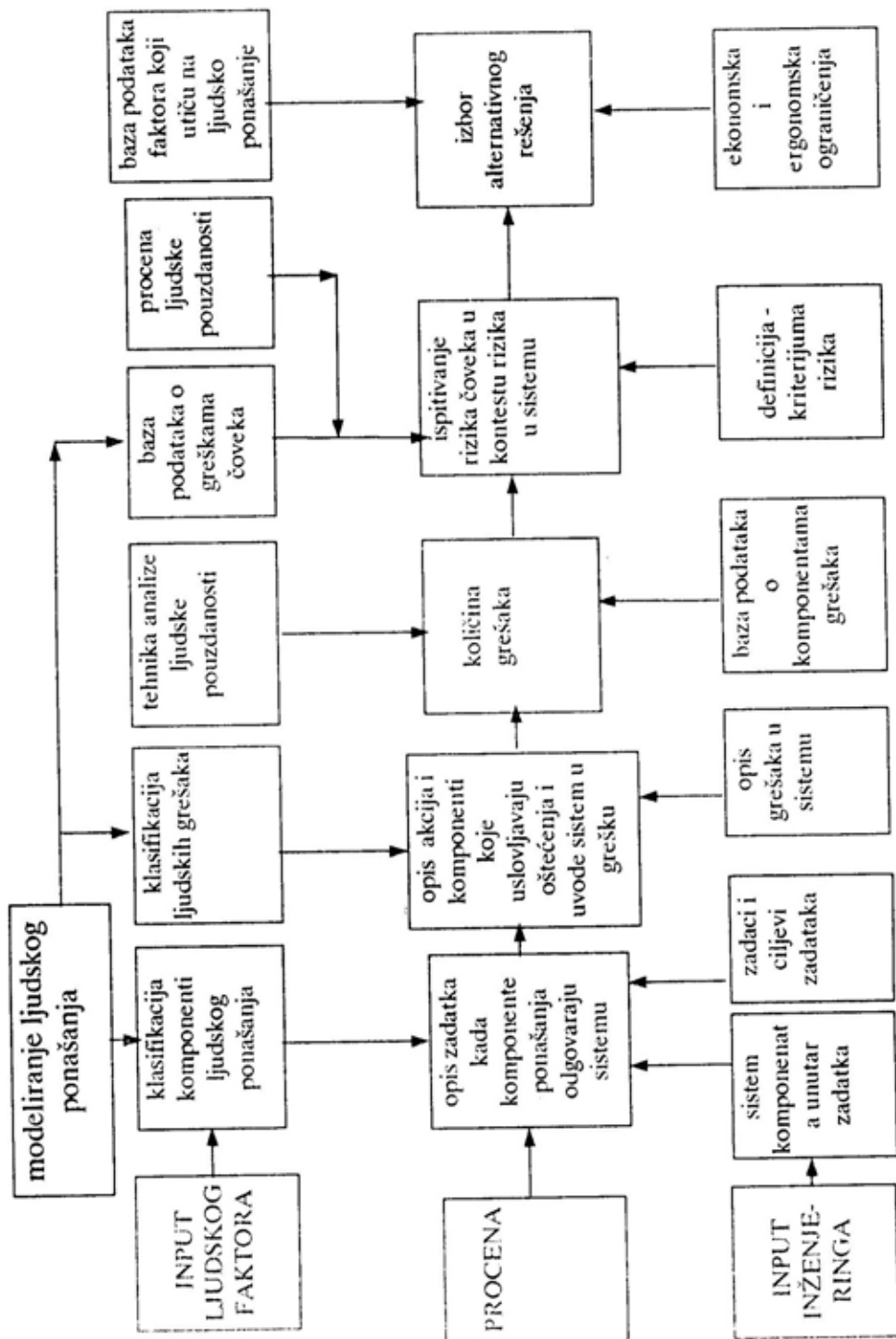
- dopunskih informacija koje olakšavaju korišćenje formulara.

Formulari se sastoje od pet sekcija: opštih, pojedinačnih, grešaka održavanja, uzročnih faktora određenih karakteristika i korektivne aktivnosti [2].

Opšti deo sadrži podatke o avionu, letu, analitičaru i mestu i vremenu kada je došlo do incidenta. Pojedinačni deo govori o tipu događaja koji je pokrenuo istraživanje **ME-**



Sl. 1 — Spoljni i unutrašnji faktori koji utiču na čoveka



Sl. 2 — Metodologija poboljšanja ljudske pouzdanosti

DA. To su svi oni događaji koji sprečavaju ili isključuju redovan avio-sadržaj, a odnose se isključivo na održavanje. Ti događaji obuhvataju: kašnjenje leta, otkazivanje leta, havarije na avionu, povrede, prepravke, itd. Deo koji se odnosi na greške održavanja zahteva od analitičara proveru određenog tipa grešaka koji predstavlja uzrok incidenta.

Poglavlje o uzročnim faktorima određenih karakteristika koristi se kao pomoć za analiziranje uticaja tih faktora (PSFs) na tehničke performanse koje dovode do grešaka održavanja. Postoji deset glavnih kategorija uzročnih faktora, a za svaku kategoriju ima po nekoliko primera u listi proveru. Glavne kategorije su: informacije, oprema, delovi, konstrukcija, posao-zadatak, tehnička znanja, veštine, individualne karakteristike operatora, okolina, objekti, organizacione odlike, rukovođenje — kontrola i komuniciranje.

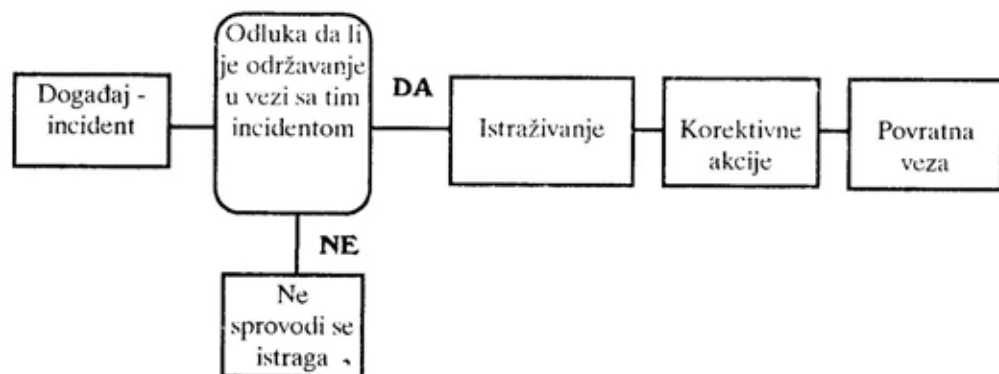
Prema literaturi [2] poglavlje korektivnih aktivnosti sastoji se od tri dela. Prvi deo traži odgovor na pita-

stanak grešaka. Drugi i treći deo odnose se na korektivne aktivnosti koje mogu biti preduzete.

Primena procesa **MEDA** je jednostavna. Pošto se desi neželjeni događaj — incident, analizira se da li je on u vezi sa održavanjem. Ako jeste, posle istrage koju sprovodi uprava **MEDA**, donosi se odluka o korektivnim akcijama koje se primenjuju u procesu održavanja, a zatim se informišu radnici održavanja o primenjenim akcijama (slika 1) [2].

*Standard IEC 300-3-8
»pouzdanost ljudskog faktora«
(u pripremi)*

Standard opisuje važnost razmatranja pouzdanosti ljudskog faktora u postupcima projektovanja tehničkih sistema i odgovornosti ljudskog faktora kao operatora [4]. Uvedeni su principi ljudskog ponašanja u odnosu na tehnička sredstva da bi se objasnilo kako nastaju greške koje prouzrokuju čovek i kako se postiže da tih gre-



Sl. 3 — Algoritam procesa MEDA

nje da li postoji: uputstvo za održavanje (kontrolne i funkcionalne liste), dokumentacija održavanja, pomoćna dokumentacija ili kontrolori procesa održavanja koji treba da spreče na-

šaka bude što manje. U standardu se daju pregledne klasifikacije tehnika za kvalitativnu i kvantitativnu procenu i poboljšanje ljudske pouzdanosti [5, 6]. Ovaj standard nema nameru

da obezbedi inženjerima mogućnost da razreše sve uzroke — probleme čoveka, već više da uputi da se ti problemi uoče — prepoznaju, kako bi se mogle uključiti tehnike prevencije i obezbediti veće prisustvo ostalih specijalista. U standardu [6] date su solidne metodološke osnove za analizu pouzdanosti ljudskog faktora, kao i solidne baze osnovnih podataka.

Pouzdanost ljudskog faktora (Human Reliability Probability — HRP) može se iskazati kao verovatnoća uspešnog izvršavanja aktivnosti čoveka u radu sa pouzdanim ili raspoloživim tehničkim sistemom [4, 6]:

$$HEP = \frac{n}{N}$$

gde je:

HEP — verovatnoća greške čoveka — Human Error Probability,

n — broj grešaka čoveka (u vremenu posmatranja),

N — ukupan broj mogućnosti za pojavu greške (ukupan broj aktivnosti);

$$HRP = 1 - \frac{n}{N}$$

HRP — pouzdanost ljudskog faktora — Human Reliability Probability.

Prema ovoj jednostavnoj osnovi razvijene su različite kvantitativne metode za ocenu pouzdanosti ljudskog faktora, prilagođene vrsti problema koji se analizira, odnosno posmatranom tehničkom sistemu.

Metodu **APJ** (Absolute Probability Judgement — apsolutna mogućnost ocenjivanja) koriste eksperti da bi direktno ocenili mogućnost ljudskih grešaka. Ocena mogućnosti ljudskih grešaka može se pojavljivati u različitim formama, a može je dati kvalifikovani ocenjivač, ili grupa poje-

dinaca koji rade zajedno i čije se ocene mogu matematički sabirati. Eksperti prvo moraju detaljno znati oblast koju počinju ocenjivati. To su obično operatori sa znatnim radnim iskustvom (preko 10 godina), ili u nekim slučajevima »treneri« koji daju ocenu praćenjem više »uvežbanih situacija — retkih slučajeva«, koji mogu biti u **APJ** primeni. Drugi zahtev je da eksperti moraju imati normative ekspertize, tj. da treba da budu upoznati sa osnovnim mogućnostima proračuna ocena ljudskih grešaka. U suprotnom oni neće biti u mogućnosti da svoje ekspertize izraze u kvantitativnom obliku. Još bolje je, radi pojednostavljenja, da eksperti sučele svoje ekspertize i da o njima raspravljaju u grupi. Uloga pojednostavljenja je da se pokuša sprečiti stvaranje predrasuda koje se odnose na različito mišljenje pojedinaca, i stvaranje mišljenja o oceni samih eksperata preko pogrešno tumačenih podataka.

Metodu **PCT** (Paired Comparison Technique — tehnika poređenja po parovima), kao i **APJ**, koriste eksperti za definisanje prioriteta između mogućih ljudskih grešaka. Međutim, metoda **PCT** upućuje eksperte da daju vrlo jednostavnu ocenu. Svaki ekspert individualno poredi par opisanih grešaka i odlučuje koja greška je verovatnija za N aktivnosti. Svaki ekspert za N aktivnosti daje $N(N-1)/2$ poređenja. Kada se poređenja različitih eksperata uporede, može se stvoriti relativna skala ili skala verovatnoće grešaka. Ona se tada transformiše u HEPs (verovatnoću ljudskih grešaka) koja zahteva da je HEPs poznata za najmanje dve greške iz tog kompleta zadataka [4]. U slučaju da su bar dve HEPs korišćene u metodi poznate, kao i njihove realne vrednosti, druge (nepoznate) HEPs mogu biti određene.

Metoda **TESEO** (Tecnica Empiric Simulacion Errors Operators — tehnika empirija simulacija greške operatora) razvijena je 1980. godine radi ocene pouzdanosti ljudskog faktora u

procesnoj industriji. Ona određuje karakteristike čoveka koje se zasnivaju na određenom broju uzročnih faktora određenih karakteristika (tj. vreme, tip aktivnosti, nivo ergonometričnosti, itd.). Model je suviše obiman i zbog svoje neefektivnosti se više ne koristi. U Evropi je zamenjen HRA (Human Risk Assessment) tehnikom.

Metoda **HEART** (Human Error Assessment and Reduction Tehnique — ocena ljudskih grešaka i tehnika redukcije) relativno je brza tehnika za korišćenje. Zasniva se na uvidu u eksperimentalnu evidenciju različitih parametara koji utiču na ljudske karakteristike. Metoda **HEART** koristi definisani skup opštih mogućnosti grešaka za različite tipove zadataka [4]. To je, ujedno, i početna tačka za **HEART** kvantifikaciju. Potom se moguće ljudske greške, tj. verovatnoća njihove pojave, množi sa koeficijentom EPC (Error-producing condition) uslova nastanka greške. Na primer, zadatak treba da bude izveden brzo sa malom pažnjom zato što je operatoru dobro po-

znat, ili treba da se izvede u uslovima vremenskog tesnaca i zahteva se određena tačnost. Ove dve situacije odnose se na dve potpuno različite verovatnoće ljudske greške, tj. 0,02 i 0,55 respektivno. Ponekad se i zadaci klasifikuju da bi se odredile analize kada se neki **HEART** uslov za stvaranje greške primeti u datim okolnostima. Za svaki dati EPC (tabela 12 u literaturi [4]) HEP se menja množenjem sa EPC, povećavajući mu vrednost. Metoda **HEART** omogućuje da se prepoznaju EPC koji dominira i koji doprinosi nastajanju ljudske greške. Metoda, takođe, sadrži skup praktičnih preporuka za smanjenje ljudskih grešaka koje se mogu primeniti u sistemu.

Metoda **SLIM-MAUD** (Success Likelihood Index Method Using Multi-Attribute Utility Decomposition) potekla je iz teorije odlučivanja, a koristi se za određivanje indeksa verovatnoće uspeha korišćenjem multiatributivne dekompozicije. Prilagođena je za računarsku obradu podataka, a u njoj se rangiraju moguće ljudske greške pre-

Tabela 1

Uporedni pregled metoda ocene ljudske pouzdanosti

Kriterijum	Metoda				
	APJ	PCT	TESEO	HEART	SLIM
Tačnost	srednje/ visoka	srednja/ niska	niska	srednja	srednja
Opravdanost	srednje/ visoka	srednje/ visoka	niska	srednja	srednja
Korisnost	srednja	niska	srednje/ visoka	visoka	visoka
Efektivnost korišćenja u odnosu na izvore	srednja/ niska	srednja	visoka	visoka	niska
Prihvatljivost	srednja	srednje/ visoka	niska	visoka	srednje/ visoka
Isplatljivost	visoka	srednja	niska	srednje/ visoka	visoka

ma težini, i određuju uzročno-posledične greške, odnosno uticaj jednih na druge. Potom se metodama višekriterijskog odlučivanja bira ljudska greška na koju se može uticati tako da se postigne najveći uspeh u povećanju pouzdanosti ljudskog faktora, a da to ne prevazilazi, po ekonomskim pokazateljima, isplativost poduhvata.

U tabeli 1 dat je uporedni pregled metoda ocene ljudske pouzdanosti [4].

Greške u održavanju TMS

Tokom sprovođenja akcija održavanja na nekom tehničkom sredstvu, pa makar to bila i najjednostavnija radnja (popuna gorivom motornog vozila), čovek može nesvesno ugraditi grešku u tehnički sistem koji održava (time što će zaboraviti da zatvori čep rezervoara). Greška može da bude još drastičnija, kao, na primer, da u rezervoar vozila koje ima katalizator napse benzin sa olovnim aditivima.

Za neko drugo tehničko sredstvo, recimo automatsku pušku, moguće je pogrešno okretanje sastavnih delova pri njenom sklapanju nakon čišćenja, ili neutvrđivanje funkcionalnih celina korišćenjem predviđenih spojnica ili osigurača. Greška se može manifestovati i kroz zamenu sastavnih delova sa neke druge automatske puške (ukoliko više učesnika čisti isti model naoružanja) što će sigurno izazvati razliku u radu naoružanja tokom otvaranja vatre (usled zamene npr. zatvarača ili nosača zatvarača).

Da bi se takve greške izbegle konstruktori tehničkih sredstava su konstrukcijskim rešenjima predupredili takve greške. Tako, na primer, čep rezervoara za gorivo otključava se istim ključem kojim se motor startuje, pa se na taj način izbegava zaboravljanje čepa rezervoara obično na krovu automobila. Otvori u rezervoaru za sipanje bezolovnog benzina su manjeg prečnika od onih za benzin sa olovnim adi-

tivima, tako da je onemogućeno sipanje olavnog benzina u vozilo sa ugrađenim katalizatorom.

Konstrukcija sastavnih delova naoružanja je takva da i krajnje nestručno lice pri sklapanju ne može pogrešno sastaviti delove, dok su ključni sastavni delovi obeleženi brojevima pa je manja verovatnoća njihove eventualne zamene.

Međutim, tokom sprovođenja složenijih akcija preventivnog i korektivnog održavanja, mogućnost da lice koje izvodi akciju održavanja načini grešku verovatnija je. Prvenstveno zbog obima i različitosti akcija, korišćenja raznog alata i opreme, kao i zbog montaže i demontaže ispravnih sastavnih delova da bi se sprovele akcije održavanja na neispravnom sastavnom delu. Koliko je verovatno da će lice koje izvodi radove, svojom nepažnjom, nestručnošću ili nemarnošću, načiniti grešku u održavanju, pitanje je na koje bi inženjeri koji se bave održavanjem, svakako želeli da znaju tačan odgovor. Pored toga, interesovalo bi ih i šta je glavni uzrok pojave greške u održavanju, kako bi je ubuduće izbegli.

Uzroci grešaka u održavanju su mnogobrojni. Međutim, uvek ih čini čovek kao izvršilac održavanja, direktno ili indirektno, kada ona postaje sistematska zbog drugih ranijih grešaka (nebaždarena merna oprema, neadekvatni mikroklimatski uslovi, itd.). Na slici 4 prikazana su moguća izvorišta grešaka u održavanju TMS.

Efekat koji se ostvaruje, kada se desi greška u održavanju, različit je. Na slici 5 dat je prikaz objekata na koje može da utiče greška održavanja, naravno, u negativnom smislu.

Zadatak inženjera održavanja jeste da detaljno sagledaju sva moguća izvorišta grešaka. Zatim, potrebno je izvršiti uticaj da se smanje greške u održavanju koje su nastale indirektnim uticajem čoveka, odnosno, izbeći svaku mogućnost nekompletnosti ili ne-

adekvatnosti propisane tehnologije održavanja tehničkog sredstva, ažurnosti tehničke dokumentacije, ispravnosti i raspoloživosti tehnoloških elemenata koji se koriste u održavanju TS

i vršio(a) održavanja), bezbednost tehničkog sredstva koje se održava i tehnoloških elemenata koji se koriste u održavanju.



Sl. 4 — Izvorišta mogućih grešaka u održavanju tehničkih sredstava



Sl. 5 — Objekti na kojima se manifestuju greške održavanja

nata održavanja (alat i merna oprema), kao i raspoloživosti HTZ opreme prema strukturi i profilu radne snage. Posle toga, potrebno je klasifikovati greške koje ljudski faktor direktno prouzrokuje tokom sprovođenja akcija održavanja, prema njihovom uticaju na: bezbednost ljudstva (korisnika

Nakon takvog detaljnog opisa, klasifikovanja i vrednovanja ljudskih grešaka, potrebno je analizirati koja varijanta uz iste efekte iziskuje manja novčana ulaganja u povećanju bezbednosti ljudstva. Sledeći korak je analiza prioriteta ulaganja u povećanje pouzdanosti ljudskog faktora, odnosno

smanjenja grešaka ljudskog faktora u toku održavanja, koje se manifestuju na raspoloživosti i bezbednosti tehničkog sredstva i tehnoloških elemenata koji se koriste u održavanju.

Greške u ponašanju čoveka (greške u radu — direktne greške), osim kada nije u pitanju sabotaza ili diverzija, što nije predmet ovog istraživanja, uslovljene su promenama u pro-

nja, pošto on sadrži II tehnički pregled, kao i eventualne korektivne akcije održavanja ako se za njima ukaže potreba. Obrasci koji su dati kao pomoć u određivanju grešaka održavanja omogućavaju sagledavanje vrste neispravnosti koja je nastala tokom ili neposredno posle sprovedenih akcija održavanja, zatim daju uvid u opis grešaka održavanja i određenje fakto-

Tabela 2

Greške u radu čoveka

Kategorija greške	Nenamerne greške u radu		Nenamerne greške sa spoljnim uticajem	
Glavni uzrok	Proces rada		Čovek	
	radni zadatak	radni uslovi	promena radnih mogućnosti usled zamora	radna sposobnost i raspoloživost
Uslovi pojave	slučajni	sistematski	slučajni i sporadični	sistematski
Opis	koincidencija loših osobina sistema i okoline	nepovoljna tehnologija, konstrukcija, izbor i obuka radnika, okolina	ispod dozvoljenih uobičajenih nivoa	pad radnih sposobnosti zbog neznanja, stresa, nedostatka motiva, bolesti itd.

cesu rada, promenama radnih mogućnosti čoveka i spoljnim uticajima. U tabeli 2 dat je prikaz grešaka u radu čoveka, njihovi uzroci i uslovi pojave [5].

Na osnovu analize mogućih grešaka u održavanju pešadijskog naoružanja izrađen je, po ugledu na dokumenta **MEDA**, obrazac koji omogućava prikupljanje podataka za analizu ljudskih grešaka. Za primer je uzet proces konzervacije pešadijskog naoružanja

koji su prouzrokovali grešku u održavanju.

Pri konzervaciji naoružanja, na primer, potrebno je tačno definisati sledeća ključna izvorišta grešaka (greške u održavanju navedene su u obrascima POGO — pomoć u određivanju grešaka održavanja):

- kontrola ispražnjenosti (ne postoji municija u cevi i okvirima),
- kompletost naoružanja,

P O G O
POMOĆ U ODREĐIVANJU GREŠAKA ODRŽAVANJA

SEKCIJA I — OPŠTI PODACI

model naoružanja:	<input style="width: 95%;" type="text"/>	datum predaje sa održavanja korisniku:	<input style="width: 95%;" type="text"/>
fabrički broj:	<input style="width: 95%;" type="text"/>	mesto izvođenja održavanja:	<input style="width: 95%;" type="text"/>
datum utvrđivanja neispravnosti:	<input style="width: 95%;" type="text"/>	ime i prezime izvođača radova:	<input style="width: 95%;" type="text"/>
adresa korisnika:	<input style="width: 95%;" type="text"/>	ime i prezime analitičara:	<input style="width: 95%;" type="text"/>
poslednji vid, vrsta održavanja:	<input style="width: 95%;" type="text"/>	telefon/adresa:	<input style="width: 95%;" type="text"/>
datum prijema na održavanje:	<input style="width: 95%;" type="text"/>	datum vršenja analize:	<input style="width: 95%;" type="text"/>

SEKCIJA II — VRSTA NEISPRAVNOSTI

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> lom usled zamora na zavarenom mestu | <input type="checkbox"/> nedostatak sastavnog dela | <input type="checkbox"/> nepodešenost |
| <input type="checkbox"/> lom usled zamora sastavnog dela | <input type="checkbox"/> korozija | <input type="checkbox"/> nepreciznost |
| <input type="checkbox"/> pukotine na sastavnom delu | <input type="checkbox"/> starenje nemetalnih sastavnih delova | <input type="checkbox"/> nekompletnost TS |
| <input type="checkbox"/> pukotine na zavarenom sastavu | <input type="checkbox"/> nagriženost cevi | <input type="checkbox"/> povećanje kalibra cevi |
| <input type="checkbox"/> gnječenje na površini sastavnog dela | <input type="checkbox"/> naduvenost cevi | <input type="checkbox"/> iskrivljenost cevi |
| <input type="checkbox"/> istrošenost | <input type="checkbox"/> uboji na sastavnim delovima | <input type="checkbox"/> oslabljenost opruge |
| <input type="checkbox"/> risevi na sastavnim delovima | <input type="checkbox"/> zaglavljivanje zrna | <input type="checkbox"/> ostalo; objasniti detaljno u predviđenom prostoru |

OPIS VRSTE NEISPRAVNOSTI:

SEKCIJA III — GREŠKE ODRŽAVANJA

1. PRIJEM NAORUŽANJA

- () prijem nekompletnog naoružanja
- () prijem naoružanja sa neadekvatnom TK

5. KONZERVACIJA

- () neravnomerno nanet zaštitni sloj solventa
- () nanet preveliki zaštitni sloj
- () oštećen zaštitni sloj zbog nepažljivog sklapanja
- () neočišćeni nemetalni delovi od zaštitnog sloja
- () ostalo; detaljno objasniti

6. SUŠENJE NAORUŽANJA

- () oštećenje zaštitnog sloja zbog nepažnje
- () nedovoljno osušeno naoružanje
- () neadekvatno sušenje naoružanja
- () ostalo; detaljno objasniti

2. ČIŠĆENJE NAORUŽANJA

- () neočišćeno naoružanje
- () nedovoljno očišćeno naoružanje
- () delimično očišćeno naoružanje
- () zamena sastavnih delova tokom čišćenja
- () ostalo; detaljno objasniti

7. PAKOVANJE NAORUŽANJA

- () oštećenje zaštitnog sloja
- () nekompletnost sanduka
- () korišćenje neadekvatnog sanduka
- () nepravilna evidencija broja pušaka
- () neslaganje TK sa brojevima
- () pogrešna evidencija
- () ostalo; detaljno objasniti

3. TEHNICKI PREGLED

- () neproverena nagriženost cevi
- () neadekvatna procena nagriženosti cevi
- () neprovereni kalibar cevi
- () netačno određen kalibar cevi
- () neproverena pravoća cevi
- () neprovereni čeonni zazor
- () nepravilno provereni čeonni zazor
- () neproverena veličina izlaska udarne igle
- () neproverena utvrđenost nišana
- () pogrešno sklopljen sastavni deo
- () zamenjeni sastavni delovi naoružanja
- () neevidentiranje podataka u TK TS
- () ostalo; detaljno objasniti

4. KOREKTIVNI RADOVI

- () ugrađen neispravan sastavni deo
 - () pogrešno ugrađen sastavni deo
 - () neizvršeno podešavanje - provera
 - () ugrađen sastavni deo bez atesta (lična izrada)
 - () zaboravljena strana tela u naoružanju
 - () neizvršeno propisano pritezanje
 - () pogrešno izvršeno skidanje materijala
 - () pogrešno izvršeno zavarivanje materijala
 - () pogrešno sklopljeno naoružanje
 - () neevidentiranje podataka u TK TS
 - () ostalo; detaljno objasniti
8. PREDAJA NAORUŽANJA
- () predaja naoružanja pogrešnom korisniku

OPIS GREŠKE ODRŽAVANJA:

SEKCIJA IV — FAKTORI UZROKA

1: INFORMACIJE

Vid - nivo - vrsta održavanja	<input type="text"/>	Broj različitih akcija održavanja	<input type="text"/>
Broj izvođača radova	<input type="text"/>	Broj različitih profila kadra koji učestvuju u akcijama održavanja	<input type="text"/>
Normirano vreme za održavanje	<input type="text"/>	Ostalo	Detaljno objasniti na predviđenom mestu
Trajanje izvršenih akcija održavanja	<input type="text"/>		

Ostalo:

2: OPREMA, ALAT, DELOVI

Korišćena oprema prema tehnologiji	<input type="text"/>	Korišćen alat iz drugog pogona	<input type="text"/>
Korišćen priručni alat	<input type="text"/>	Korišćeni originalni delovi	<input type="text"/>
Postoji radno mesto za izvođača radova	<input type="text"/>	Rezervni deo pre ugradnje proveren	<input type="text"/>
Merna oprema baždarena	<input type="text"/>	Da li je radnik imao obuku za opremu koju koristi	<input type="text"/>
Ostalo	Detaljno objasniti		

Ostalo:

3: TEHNIČKA OBRAZOVANOST ILI VESTINA

Stepen stručne kvalifikacije	<input type="text"/>	Radno iskustvo ostalih u održavanju	<input type="text"/>
Radno iskustvo izvođača radova	<input type="text"/>	Da li je radnik vršio obuku drugih u održavanju	<input type="text"/>
Da li prvi put izvodi tu akciju održavanja	<input type="text"/>	Koliki je minimal. stepen kvalifikacije potreban	<input type="text"/>
Radno iskustvo na sličnim poslovima	<input type="text"/>	Ostalo	Detaljno objasniti

Ostalo:

4: POSAO ILI ZADATAK

Da li je ta akcija održ. već izvođena	<input type="checkbox"/>	Da li postoji tehno- loška dokumentacija	<input type="checkbox"/>
Da li je bilo dovoljno vremena za održavanje	<input type="checkbox"/>	Da li postoji tehnički dokument TS	<input type="checkbox"/>
Da li je planiran rad na tom sredstvu	<input type="checkbox"/>	Da li postoji kontrolni probni list	<input type="checkbox"/>
Da li održavanje zahteva specijalne uslove rada	<input type="checkbox"/>	Ostalo	Detaljno objasniti
Ostalo:			

5: INDIVIDUALNE KARAKTERISTIKE RADNIKA

Starost izvođača radova	<input type="checkbox"/>	Da li je radnik radio pod bolovima	<input type="checkbox"/>
Radni položaj radnika	<input type="checkbox"/>	Da li je radnik bio neispavan	<input type="checkbox"/>
Zdravstveno stanje radnika	<input type="checkbox"/>	Da li je radnik uživlao alkohola, droga, cigareta	<input type="checkbox"/>
Odnos visine i težine radnika	<input type="checkbox"/>	Da li su važna za održavanje neka čula	<input type="checkbox"/>
Da li je radnik koristio bilo kakve medikamente	<input type="checkbox"/>	Da li radnik ima narušeno neko od tih čula	<input type="checkbox"/>
Da li je radnik bio premoren tokom izvođenja održavanja	<input type="checkbox"/>	Ostalo	Detaljno objasniti
Ostalo:			

6: OKOLINA

Radnik ima svoje radno mesto	<input type="checkbox"/>	Da li je temperatura radna (16-22)	<input type="checkbox"/>
Da li postoji prisustvo velike buke	<input type="checkbox"/>	Da li je radno mesto frekventno-prolazno	<input type="checkbox"/>
Da li postoji prisustvo nekog drugog zagađivača	<input type="checkbox"/>	Da li je radno mesto dovoljno osvetljeno	<input type="checkbox"/>
Ostalo	Detaljno objasniti	Da li je radno mesto provetravano	<input type="checkbox"/>
Ostalo:			

- kvalitet čišćenja naoružanja,
- kvalitet obavljanja tehničkog pregleda,
- kvalitet izvršene konzervacije,
- tačnost kompletiranja i predaje naoružanja.

U VJ do sada nije bilo propisane dokumentacije prilagođene »određivanju grešaka održavanja«. Međutim, u okviru obrasca TSl-40 i TSl-41 — radionička lista i radna lista, već se vodi veliki broj podataka potrebnih za ovakvu analizu. Veliki deo podataka o tehničkom sredstvu, dosadašnjem održavanju, uzrocima neispravnosti, vidu-vrsti održavanja, vremenima potrebnim za akcije održavanja, opremi, rezervnim delovima, ljudstvu koje je obavljalo održavanje, već se može naći u navedenim obrascima. Dalji tok primene opisanih tekovina razvoja na polju unapređenja »pouzdanosti ljudskog faktora« u okviru TSl VJ mogao bi da teče kroz usavršavanje postojeće radioničke dokumentacije primenom razrađenih ili sličnih obrazaca. Moglo bi se razmišljati i o dopunama postojećih obrazaca TSl-40 i TSl-41 u ovom smislu. Time bi se stvorila osnova za stvaranje baze podataka o greškama održavanja u VJ.

Zaključak

Da bi se izvršila redukcija čovekovih grešaka u procesu održavanja potrebno je izvršiti klasifikaciju komponenti njegovog ponašanja, stvoriti bazu podataka o tim greškama i, po mogućnosti, dati kvantitativnu ocenu verovatnoće njihovog dešavanja. Takođe, potrebno je stvoriti i bazu podataka o faktorima koji utiču na ponašanje čoveka. Na osnovu toga potreb-

no je definisati i zakonitosti međusobnog uticaja. Dalji rad na poboljšanju pouzdanosti čoveka bio bi usmeren na definisanje kriterijuma zadovoljenja zahteva u pogledu ljudske pouzdanosti i ekonomskih ograničenja. Time bi se zaokružila celina potrebnih, ali ne i dovoljnih zahteva kako bi se primenile korektivne akcije za poboljšanje pouzdanosti ljudskog faktora. Zapravo, izborom metode za kvantitativnu ocenu pouzdanosti ljudskog faktora, stečen je i dovoljan uslov. Na primer, najveću mogućnost daju metode **HEART** i **SLIM** koje omogućavaju da se prepozna koji faktor doprinosi povećanju verovatnoće nastajanja greške čoveka. I na kraju, potrebno je sprovesti tehniku redukcije verovatnoće pojavljivanja takve greške. O njoj se u ovom radu nije posebno govorilo, jer se ona nameće sama po sebi kada se uoče i izoluju faktori koji doprinose smanjenju ljudske pouzdanosti.

Naime, ono što je neophodno za analizu grešaka koje čini čovek u održavanju jeste da se prikupe empirijski podaci preko tipova grešaka koji se pojavljuju, njihovih posledica, uzročnih faktora i strategije intervencije za redukciju budućih grešaka koje se pripisuju istim uzročnim faktorima (PSFs). To je i cilj istraživačkog procesa korišćenja pomoćnih sredstava za rešavanje grešaka održavanja, čiji je jedan oblik prikazan u ovom radu. Primena ovih obrazaca u praksi podrazumeva, pre svega, da se zaposleni upoznaju sa namerom primene obrazaca POGO, i da ih shvate kao sredstva koja se koriste u opštem interesu. Drugim rečima, potrebno je da podaci koji se dobijaju iz prakse budu što verodostojniji, odnosno da se izbegne njihovo doterivanje. To podrazumeva

i duži period koji je potreban za prikupljanje podataka, a kasnije, kada obrasci dobiju konačnu formu i za-

žive u praksi, neophodan mehanizam za stvaranje baze podataka i njeno praćenje.

Literatura:

- [1] Grupa sovjetskih autora: Ergonomija — vojno-inženjerska psihologija, Vojno delo, Beograd, 1975.
- [2] Bill Rankin, Jerry Allen: Maintenance error decision aid — MEDA, Seattle, Airliner/Apr-Jun 1996., USA.
- [3] Reason, J.: Human error, New York, Cambridge University Press, 1990.
- [4] IEC 300—3—8: Upravljanje sigurnošću funkcionisanja — Deo 3. Uputstvo za upotrebu — Sekcija 8. »Pouzdanost ljudskog faktora« (Human reliability).
- [5] Todorović, J.: Uticaj pouzdanosti čoveka na kvalitet automobila, XVI JUMV '97, 9—16 str., Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 1997.
- [6] Jovičić, S., Todorović, J.: Dependability — standard IEC TC 56, Klub NT, Beograd, 1996.
- [7] Pravilo tehničke službe, TU SSNO, Beograd, 1979.

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

MODEL ZA OCENU KARAKTERISTIKA SLUČAJNOG PROCESA PROMENE TEHNIČKOG STANJA ELEMENATA TRIBOMEHANIČKIH SISTEMA

UDC: 62-1.001.573:681.322.06

Rezime:

U radu je predložen model za ocenu karakteristika slučajnog procesa promene tehničkog stanja elemenata tribomehaničkih sistema u funkciji inherentnog kvaliteta i relevantnih faktora uslova eksploatacije. Opisan je programski paket kao softverska podrška modela i prikazan deo rezultata eksperimentisanja sa modelom.

Ključne reči: karakteristike slučajnog procesa, tribomehanički sistem, uslovi upotrebe, simulacija.

MODEL FOR ESTIMATING CHARACTERISTICS OF ACCIDENTAL PROCESSES OF TECHNICAL CONDITION CHANGING IN TRIBOLOGY SYSTEMS

Summary:

The model for estimating characteristics of accidental processes of technical condition changing in tribology systems is proposed in the function of built-in quality and relevant factors of service conditions. The program package as a software support of the model is described and a part of the results relating to the experiment with the model is shown.

Key words: characteristics of accidental process, tribology system, service conditions, simulation.

Formulacija problema

Tehničko stanje elemenata osnovnih sredstava za rad (mašina za proizvodnju, transportnih sredstava i sl.) ima značajan uticaj na nivo kvaliteta proizvoda i usluga. Zbog toga se ulažu veliki naponi za obezbeđenje potrebnih nivoa pokazatelja pouzdanosti tih sistema u celom životnom veku. U procesu eksploatacije problem pokušava da se reši što većom primenom preventivnog održavanja. Praktična primena brojnih modela, do sada poznatih strategija preventivnog održavanja, zahteva ispunjavanje mnogih uslova, među kojima su veoma zna-

čajne informacije o karakteristikama slučajnih procesa promene tehničkog stanja elemenata tribomehaničkih sistema: matematičkog očekivanja, disperzije i korelacione funkcije procesa, gustine raspodele parametara tehničkog stanja u izabranim trenucima vremena, gustine raspodele vremena rada do otkaza, itd. Ove informacije omogućuju, pored ostalog, i rešavanje fundamentalnih problema preventivnog održavanja — ocenu trenutnog stanja i prognozu raspoloživog resursa elemenata. Time se stvaraju realni uslovi za efikasno upravljanje procesima korišćenja (planiranja režima eksploatacije), održavanja (sprečava-

nja pojave otkaza, planiranja preventivnih aktivnosti, snabdevanja rezervnim delovima, itd.) i opravki, kao osnovnim funkcijama upravljanja stanjem tehničkih sistema.

Vrednosti strukturnih i regulacionih parametara tehničkog stanja najneposrednije su ugrožene na nivou površina elemenata tribomehaničkih sistema, odnosno najnižem nivou hijerarhijske strukture vozila. Na tom nivou generišu se i potoci otkaza, a to znači i potoci preventivnih intervencija i opravki. Zbog toga je značajno da se poznaju karakteristike procesa promena parametara tehničkog stanja tih elemenata tribomehaničkih sistema, parova ili samostalnih elemenata, na osnovu kojih bi se mogla ocenjivati trenutna stanja i prognozirati raspoloživi resursi, odnosno programirati upravljačke odluke.

Ocena trenutnog tehničkog stanja je proces definisanja vrednosti parametara tehničkog stanja $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ u proizvoljnom trenutku t . Ocenjivanje se obavlja radi utvrđivanja u kojoj meri se elementi tribomehaničkih sistema nalaze u radno sposobnom stanju, odnosno u kojoj fazi stanja »u radu«.

Prognoziranje je istraživački proces na osnovu čijeg se rezultata dobijaju podaci o budućem stanju prognoziranog objekta i definišu raspoloživi resursi elemenata tribomehaničkih sistema do proizvoljnog trenutka stanja »u radu«, ili moguće vreme rada do graničnog stanja.

Najpogodnije je da se ocenjivanje obavlja za svaki konkretni element. Međutim, brojni nerešeni problemi, bar za elemente transportnih sredstava, to znatno otežavaju ili onemogućuju. Osnovna ideja — da se promene tehničkog stanja elemenata transportnih sredstava u fazi eksploatacije prate pomoću odgovarajuće dijagnostičke podrške, za sada je, na žalost, ostvarljiva samo u malom broju slučajeva. Osnov-

ni razlozi su nedovoljna razvijenost dijagnostičke opreme koja omogućuje primenu savremenih metoda kao što su vibraciona, akustična i dr. i nepoznavanje probabilističkih zakona koji upravljaju promenama dijagnostičkih parametara i stohastičkih relacija između ovih parametara i verovatnoća pojave otkaza i sl. U ovom trenutku za većinu elemenata transportnih sredstava nije moguće otkrivanje oštećenja koja mogu uticati na vreme rada do graničnog stanja, odnosno nije moguća pouzdana ocena trenutnog i prognoza stanja u sledećem intervalu rada. U dogledno vreme se, realno, ne mogu očekivati značajniji pomaci u razvoju metoda i opreme, što znači da će problemi ocene i prognoze stanja elemenata i sklopova motornih vozila ostati nerešeni za duži period.

Isto tako, problemi prognoze veličine trošenja u fazama konstrukcije i eksploatacije do sada nisu rešeni. I pored brojnih i opsežnih istraživanja [1, 4, 11], nisu definisani univerzalni i za primenu jednostavni analitički modeli. U postojećim matematičkim modelima, potrebno je, pored ostalog, poznavanje mnogih neophodnih veličina — faktora trošenja, opterećenja, brzina klizanja, stanja površina i sl. (što se vidi iz izraza 1), čije je, najčešće eksperimentalno određivanje veoma složeno, povezano sa brojnim teškoćama i zahteva odgovarajuće banke podataka [4, 6, 10]. Uopšte, u teoriji prognoziranja tehničkog stanja elemenata u fazi projektovanja, opštepriznate strategije nema, jer svaki metod ima svoje prednosti i nedostatke [18].

Kao što je poznato, trošenje materijala površina mašinskih elemenata u toku eksploatacije (pojam triboloških istrošenja različitih mašinskih elemenata ne podrazumeva samo posledice neposrednog međusobnog kontakta površina u relativnom kretanju već i kontakte tih površina sa sredinom — vazduhom, agresivnim gasovima ili drugim čvrstim kontaminantima, kao i sa

fluidima u strujanju — mazivom, gorivom i sl. [12]), kao dominantan uzrok promena njihovog tehničkog stanja, izuzetno je složen proces na koji deluju vrlo različiti mehanički, fizički i hemijski činioci. Njihova se dejstva, po pravilu, međusobno superponiraju i isprepliću. Zavisno od konstruktivnih karakteristika elemenata, a posebno od njihovih specifičnih radnih uslova, menja se intenzitet i vrsta trošenja njihovih površina. Tako, pri određenim uslovima rada, određena vrsta trošenja može biti dominantna [1, 3, 4, 6, 9, 12]. U funkcionalnom smislu zavisnost između brzina trošenja (γ) i uticajnih faktora mogla bi se predstaviti u obliku relacije [8]:

$$\gamma = f(v, p, \tau_{ok}, w, w_a, \epsilon; x, y, z, f, a, \alpha, h, s, \tau_{kp}, c, A_N; A_r, R, \rho, H_B; k) \quad (1)$$

gde je:

- v — relativna brzina,
- p — pritisak na kontaktnim površinama,
- τ_{ok} — temperatura okoline,
- w — vlažnost okoline,
- w_a — prisutnost abrazivnih čestica,
- ϵ — zazor,
- x, y, z — tekuće koordinate (dimenzije),
- f — koeficijent trenja,
- a — stvarna površina kontakta,
- α — temperaturna provodljivost,
- h — debljina uljnog filma,
- s — površina emitovanja toplote,
- τ_{kp} — temperatura kontaktnih površina,
- c — toplotni kapacitet,
- A_N — nominalna površina kontakta,
- A_r — visina mikroneravnina,
- ρ — ugao nagiba neravnina,
- H_B — tvrdoća,
- k — koeficijenti profesionalne kvalifikovanosti.

Proizilazi da postoje značajni problemi u procesu ocene karakteristika slučajnih procesa promene tehničkog stanja, kako u fazama projektovanja i konstrukcije, tako i u fazi eksploatacije, pre svega zbog činjenice da su za to nužne dublje predstave o procesima funkcionisanja i promene tehničkog stanja elemenata.

U ovom radu, učinjen je pokušaj traženja mogućnosti ocene navedenih karakteristika slučajnih procesa simulacijom promena parametara tehničkog stanja elemenata u funkciji ugrađenih performansi elemenata i uticajnih faktora uslova eksploatacije.

Opšta zakonitost promene tehničkog stanja elementa

Najčešće se u literaturi aproksimacija slučajnog procesa kontinualne promene tehničkog stanja elementa formuliše izrazom [14]:

$$U(t) = m_0 + \eta(t) + \epsilon(t) \quad (2)$$

gde je:

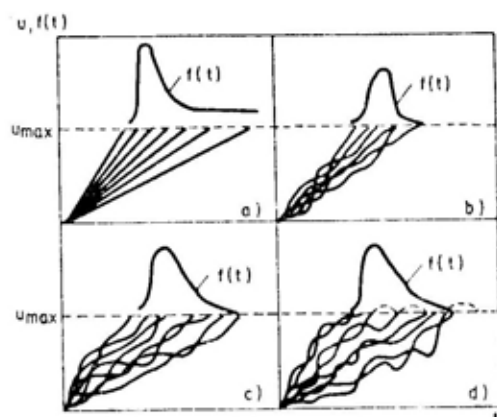
- m_0 — početna vrednost parametra,
- $\eta(t)$ — slučajni determinisani proces,
- $\epsilon(t)$ — fluktuacioni parametar.

Član izraza $\eta(t)$ predstavlja zakonitost promene procesa degradacije stanja. S obzirom na to da procesi imaju određenu funkcionalnu zavisnost od vremena i da je njihov slučajni karakter uslovljen slučajnim parametrima koji ne zavise od vremena, u literaturi se sreću pod nazivom determinisani slučajni [15] ili poluslučajni procesi [14].

Fluktuacija parametara $\epsilon(t)$ uslovljena je procesima koji se sporo menjaju. I ovaj parametar može da sadrži determinisanu funkciju i stacionarnu slučajnu funkciju [15]. Zbog toga realizacija procesa promene stanja često odstupa od linearnog i može i-

mati monoton ili nemonoton karakter. Ova svojstva slučajnog procesa utiču na parametre zakona raspodele $f(t)$ i na ocenu verovatnoće bezotkaznog rada elementa $R(t)$.

Na slici 1 prikazani su primeri promene procesa degradacije stanja

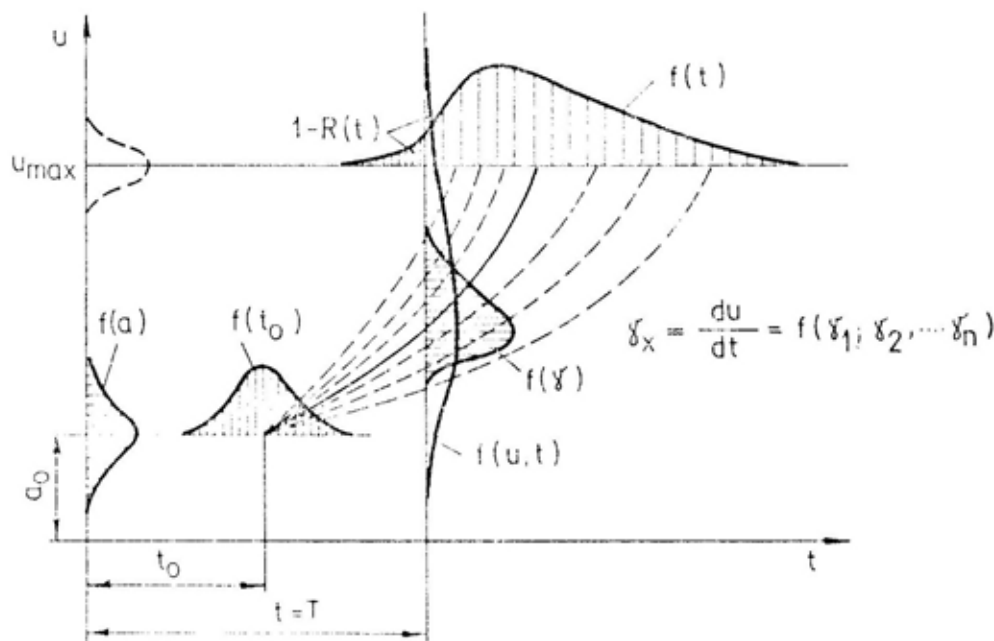


Sl. 1 — Modeli otkaza za različite tipove procesa degradacije tehničkog stanja

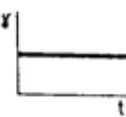
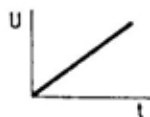
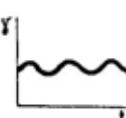
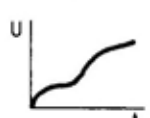
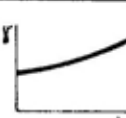
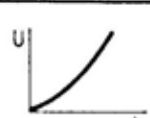
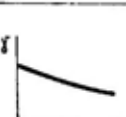
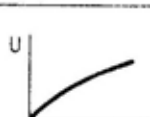
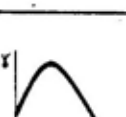

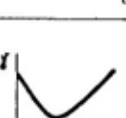
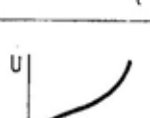
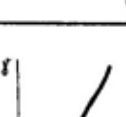
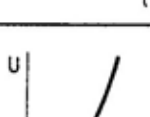
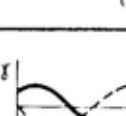

elemenata pri različitim stepenima uticaja fluktuacije [15].

Prvi slučaj (sl. 1a) prikazuje tzv. lepezasti slučajni proces, kada funkcija raspodele vremena rada do $U(t) = U_{max}$ nije normalna. U drugom slučaju se model degradacije opisuje Gausovim procesom sa normalnom funkcijom raspodele vremena rada do otkaza, (sl. 1b), a u trećem (sl. 1c) neprekidnim procesom Markova s monotonim realizacijama. Ovaj model može se primeniti u slučaju akumulacije oštećenja usled zamora različitih elemenata mehaničkih sistema. Na slici 1d prikazan je model promene stanja opisan neprekidnim procesom Markova sa nemonotonim realizacijama, koje bi mogle premašiti dopuštenu stanja i posle određenog vremena vratiti u područje dozvoljenih stanja.

Opšti slučaj formiranja otkaza, kada na proces kontinualne promene stanja istovremeno deluje više faktora, prikazan je na slici 2 [6]. Određe-



Sl. 2 — Opšta šema formiranja otkaza

PROCESI (prema karakteristici γ)		$v(t) = \frac{dU}{dt}$	$U(t)$	Primeri
STACIONARNI	konstantni			Trošenje $U = kt$
	pseudo - stacionarni			Trošenje u promenljivim režimima
MONOTONI	rastući			Trošenje nečistih površina trenja $U = kt^n, n > 1$ $U = A(e^{kt} - 1)$
	opadajući			Trošenje u periodu razrade $U = kt^n, n < 1$ $U = A(1 - e^{-kt})$
SA EKSTREMIMA	s maksimumom			Korozija, savijanje, vitoperenje $\gamma = ate^{-bt}$
	s minimumom			Trošenje, korozija
SA ZAKAŠNENJEM				Krti lom, ostećenje usled zamora
NAIZMENIČNI (alternativni)				Promena mehaničkih karakteristika

Sl. 3 — Matematička očekivanja i intenzitet nekih funkcija promene tehničkih stanja

no rasipanje vrednosti parametra stanja postoji već na početku upotrebe. Funkcija gustine raspodele početnih vrednosti $f(a)$ karakteriše odstupanja parametra koja su nastala u procesu proizvodnje. U procesu upotrebe parametar U se menja većom ili manjom brzinom, što zavisi od intenziteta delovanja uticajnih faktora, odnosno intenziteta degradacije stanja γ .

U opštem slučaju, proces promene stanja može početi sa određenim vremenom zakašnjenja T , koje je, takođe, slučajna veličina i zavisi od karaktera degradacije stanja. To je vreme akumulacije oštećenja čije se manifestacije ne uočavaju, kao što je slučaj zamora materijala. I U_{max} u mnogim slučajevima nije determinisana već slučajna veličina.

Očito je da se zakonitost promene mora utvrditi za svaki tip elementa, uz uzimanje u obzir svih relevantnih faktora, kao što su karakteristike materijala, tehnologija obrade, radni procesi, uslovi upotrebe, itd. Na slici 3 data su matematička očekivanja nekih funkcija promene stanja prema karakteristikama promene intenziteta degradacije stanja [6].

Model

Tehničko stanje elemenata tribomehaničkog sistema u svakom trenutku t opisano je varijablama u_i koje su elementi prostora stanja $U(t) = \{u_1(t), u_2(t), \dots, u_i(t), \dots, u_k(t)\}$. Delovanjem uticajnih faktora $q_1, q_2 \dots$ (opterećenje, temperatura, brzina...) iz oblasti definicija $R(q_1), R(q_2) \dots$ (vrednosti uticajnih faktora između minimalnih i maksimalnih veličina) u procesu upotrebe, u trenutku t , tehničko stanje $(u_1, u_2, \dots, u_n) \in U_1$ menja se u stanje $(u'_1, u'_2, \dots, u'_n) \in U_2$, posle vremena rada Δt . Veličina promene zavisi od ug-

rađene otpornosti r i veličine opterećenja q :

$$\Delta u = \delta(r, q) \quad (3)$$

gde je:

- δ — funkcija prelaza kojom se definiše transformacija stanja elementa tribomehaničkog sistema iz prethodnog u sledeće stanje za jedan ciklus rada. Ona karakteriše nivo rezistencije elemenata i uslove opterećenja. Prirast oštećenja na malom intervalu vremena Δt zavisi od stepena oštećenja u prethodnom periodu rada, odnosno u posmatranom trenutku t i od opterećenja koje deluje na tom intervalu,
 - r — nivo rezistencije elemenata tribomehaničkog sistema, definisan je inherentnim kvalitetom. Predstavlja rezervu čvrstoće elemenata posle vremena rada t , gde se pod čvrstoćom u širem smislu podrazumeva otpornost na zamor, trošenje, koroziju, itd.,
 - q — opterećenja, pod kojima se podrazumevaju sva delovanja koja se javljaju kao rezultanta unutrašnjih i spoljašnjih uticaja u procesu upotrebe (delovanje sila, toplota, vibracija, parametara sredine, tehnoloških procesa, itd.). Na primer, za elemente motora SUS varijabla q zavisi od opterećenja (P), intenziteta promene opterećenja (W_p), ugaone brzine (w) i ubrzanja kolenastog vratila (j), temperature (T_v) i intenziteta promene (W_v), tečnosti za hlađenje, temperature (T_u) i intenziteta promene (W_u) ulja za podmazivanje motora [13]:
- $$q = f(P, W_p, w, j, T_v, W_{T_v}, T_u, W_{T_u}) \quad (4)$$

Posle svakog delovanja opterećenja q , za vreme Δt vrši se slaganje trajektorija oštećenja koje slede jedna iza druge. Na taj način se delova-

njem trajektorija opterećenja q_i , kao ulaznih varijabli, menjaju trajektorije stanja u_i i trajektorije izlaznih varijabli y_i .

Sve promenljive tehničkog stanja imaju svoje dozvoljene oblasti definicije $R(u_1), R(u_2), \dots, R(u_n)$ koje su elementi prostora dozvoljenih stanja U . Kada trajektorije relevantnih parametara stanja $u_i(t)$ preseku graničnu površinu U_d , prostora dopuštenih stanja U , nastaje otkaz.

Interakcije opterećenja, akumuliranog istrošenja, intenziteta trošenja i određenih parametara uzrokuju različite realizacije procesa gubitka radne sposobnosti tribomehaničkih sistema. U tom smislu mogu se izdvojiti tri karakteristična slučaja procesa gubitka radne sposobnosti tarućeg para [16]:

- bez posledica,
- s posledicama prvog reda,
- s posledicama drugog reda.

Proces degradacije stanja tribomehaničkog sistema *bez posledica* je proces sa nezavisnim priraštajem $U(\Delta t) = U(t + \Delta t) - U(t)$, brzina trošenja $\gamma = du/dt$ je stacionarni proces i korelaciona funkcija $K_u(t_1, t_2)$ zavisi samo od razlike $(t_2 - t_1)$. Funkcija prelaza δ zavisi samo od veličine opterećenja q :

$$\delta(t) = f[q(t)] \quad (5)$$

Izlazni parametri $y(t)$ zavise od opterećenja, istrošenja i vremena:

$$y(t) = g[q(t), U(t), t] \quad (6)$$

Neophodno je primetiti da proces gubitka radne sposobnosti u periodu razrade i katastrofalnog razaranja površinskih slojeva ne može biti opisan pomoću izraza (5), zato što intenzitet trošenja u tom periodu zavisi i od veličine akumuliranog istrošenja tarućih površina.

U slučaju procesa gubitka radne sposobnosti tribomehaničkog sistema *s posledicama prvog reda* intenzitet

trošenja zavisi od delovanja opterećenja q i veličine akumulirane istrošenosti $U(t)$ do razmatranog momenta t :

$$\begin{aligned} \delta &= I(t) = f[q(t), U(t), t] \\ y(t) &= g[q(t), U(t), t] \end{aligned} \quad (7)$$

Variranje intenziteta trošenja u vremenu pri konstantnom opterećenju može nastati usled:

— razlike fizičko-mehaničkih svojstava materijala po dubini površinskog sloja delova tribološkog sistema, uslovljenih tehnologijom izrade i promenama karakteristika ovih površina u procesu rada;

— starenja ulja za podmazivanje i pogoršanja njegovih mazivih svojstava, izmene toplotnog režima rada spregnutih delova, a u nekim slučajevima i promena oblika trošenja površina;

— povećanje koncentracije abrazivnih čestica i produkata trošenja u ulju tokom upotrebe.

Ukoliko se karakter opterećenja q^* menja i zbog akumuliranog istrošenja površina delova tribološkog sistema, odnosno zbog povećanja zazora, transformacije makrogeometrije površina trenja i sl., izraz (7) se može prikazati u obliku:

$$\begin{aligned} \delta &= f[q^*(t), U(t), t] \\ y(t) &= g[q^*(t), U(t), t] \end{aligned} \quad (8)$$

gde je:

$$q^*(t) = \varphi[q(t), U(t), t].$$

Proces gubitka radne sposobnosti tribomehaničkog sistema *s posledicama drugog reda* karakteriše se promenama opterećenja u obliku posebnog prelaznog perioda sa trošenjem tarućih površina. U prelaznom periodu $[t_0, t_1]$ intenzitet trošenja razlikuje se od vrednosti koju je imao sa prethodnim nivoom opterećenja Q_{i-1} i od vrednosti koja odgovara novom nivou opterećenja q_i :

$$\delta = \begin{cases} f(q_i, q_{i-1}, \dots, q_{i-n}, t), t_0 \leq t \leq t_1 \\ f(q_i, t), t > t_1 \end{cases} \quad (9)$$

Pojava prelaznih perioda može se objasniti sledećim uzrocima:

— »eksploatacionim nasleđem« materijala koji se deformisao u procesu trenja površina delova;

— promenom dijagrama specifičnih pritisaka u zoni kontakta delova pri prelazu s jednog nivoa opterećenja na drugi i, povezano s tim, »dru-goj razradi« tarućih površina;

— postepenim obnavljanjem analogije između veličina opterećenja i raspodele maziva na tarućim površinama.

Ocena slučajnih funkcija promene tehničkog stanja obavlja se njihovim nepotpunim karakteristikama: matematičkim očekivanjem $M_u(t)$, disperzijom $D_u(t)$ i korelacionom funkcijom $K_u(t_1, t_2)$.

$$M_u(t) = M[U(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} uf(u, t) du \quad (10)$$

$$D_u(t) = M[u(t) - M_u(t)]^2 = \int_{-\infty}^{\infty} [u(t) - M_u(t)]^2 f(u, t) du \quad (11)$$

$$K_u(t_1, t_2) = \{[u(t_1) - M_u(t_1)] \cdot [u(t_2) - M_u(t_2)]\} \quad (12)$$

gde je:

$f(u, t) = f[u(t)]$ — jednodimenzionalni zakon raspodele za fiksiranu vrednost argumenta t , kako je prikazano na slici 2.

Transportna sredstva u svom eksploatacijskom veku rade u određenim periodima vremena u bitno različitim uslovima α_i , što se može izraziti na sledeći način:

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i (0/\theta) \quad (13)$$

S obzirom na to da vrednosti faktora uslova upotrebe bitno utiču na karakteristike funkcije prelaza, traje-

ktorije stanja elemenata zavisice od dužine intervala rada vozila u uslovima α_i .

Raspodela ukupnog resursa U »urošenog« u intervalima sa različitim uslovima rada, može se prikazati na sledeći način:

$$\frac{\alpha_1 U_g}{100} + \frac{\alpha_2 U_g}{100} + \dots + \frac{\alpha_n U_g}{100} = U_g \quad (14)$$

Zamenom resursa U_g ukupnim vremenom rada ili brojem aktiviranja sistema dobija se:

$$\frac{\alpha_1 t_s}{100} + \frac{\alpha_2 t_s}{100} + \dots + \frac{\alpha_n t_s}{100} = t_u \quad (15)$$

gde je:

t_u — ukupno vreme rada (ukupan pređeni put) do otkaza.

Iz izraza (13 — 15) proizilazi da se matematičko očekivanje graničnog istrošenja može izračunati pomoću izraza:

$$U_g = U_0 + \gamma_1 t_1 + \gamma_2 t_2 + \dots + \gamma_n t_n = U_0 + \sum_{i=1}^n \gamma_i t_i \quad (16)$$

gde je:

γ_i — matematička očekivanja intenziteta trošenja u i -tim uslovima,

t_i — vreme rada u i -tim uslovima.

Trajektorija stanja može, prema izrazu (16), menjati trend rasta u širim granicama, što može da rezultira velikim razlikama u vremenu rada elemenata do otkaza.

Iz navedenih razmatranja proizilazi da se proces realizacije modela sastoji od sledećih koraka:

1. Definisanje karakteristika procesa gubitka radne sposobnosti (bez posledica, sa posledicama prvog reda, sa posledicama drugog reda). Određivanje

funkcije prelaza stanja za definisane oblasti promena relevantnih faktora uslova upotrebe modeliranjem procesa, eksperimentisanjem na specijalnim uređajima, istraživanjima u realnim uslovima upotrebe i sl. Nužni preduslovi za pouzdano definisanje funkcije prelaza stanja jesu poznavanje relevantnih faktora opterećenja i zakonitosti njihove promene. Zbog toga se najpre mora izvršiti:

— istraživanje uslova upotrebe i definisanje relevantnih faktora opterećenja tribomehaničkog sistema ili sprega koji se razmatraju;

— istraživanje spektara promene faktora uslova upotrebe, određivanje zakona njihove promene korišćenjem najpogodnije od poznatih metoda za diskretizaciju slučajnih procesa promene opterećenja (kao što su metoda jednakih vremenskih intervala, maksimuma, ekstremuma, raspona, punih ciklusa, itd.) i njihovo prikazivanje na pogodan način, kao što su tabele ili funkcije raspodele parametara opterećenja $f(q)$.

2. Definisanje granične vrednosti stanja tribomehaničkog sistema.

3. Simulacija realizacije trajektorija stanja korišćenjem funkcije prelaza i rezultata istraživanja opterećenja u realnim uslovima.

4. Analiza slučajnih procesa što, najčešće, podrazumeva:

— izbor tipa slučajnog procesa:

— ispitivanje mogućnosti opisivanja poluslučajnim procesom tipa $u(t) = u_0 + \gamma \cdot t$, $u(t) = u_0 e^{\gamma t}$ i sl.;

— određivanje karakteristika slučajnih procesa $M[U(t)]$ i $K(t_1, t_2)$;

— ispitivanje stacionarnosti i ergodičnosti slučajnih procesa;

— određivanje karakteristika jednodimenzionalnih zakona raspodele $f(U, t_i)$ za fiksirane vrednosti argumenta t_i i vremena rada do graničnog stanja $f(t, U_g)$.

Paket programa

Radi realizacije eksperimenata s opisanim modelom urađeni su računski programi koji omogućuju istraživanja slučajnih procesa promene stanja u funkciji ugrađene rezistencije, relevantnih parametara uslova upotrebe i vremena rada.

Posle unošenja ulaznih varijabli, odnosno osnovnih karakteristika funkcija raspodele relevantnih faktora uslova upotrebe, $f(q_1), f(q_2), \dots, f(q_n)$ na slučajan način biraju se vrednosti parametara q_1, q_2, \dots, q_n i računaju vrednosti funkcije prelaza $\delta_i = f(q_1, q_2, \dots, q_n)$, odnosno vrednosti tehničkog stanja posle slaganja i -te trajektorije prelaza stanja.

Dobijeni podaci omogućuju detaljnu analizu procesa promene stanja za različite uslove rada i određivanje karakteristika kao što su $f(\delta), f(u, t), f(t, U_g), K_u(t_1, t_2)$, itd., nužnih za razumevanje statističke prirode procesa degradacije stanja, ocenu uticaja pojedinih faktora, itd. Posle svakog ciklusa od N realizacija δ_i , računaju se srednje vrednosti parametara stanja $\bar{x}_i(t)$ i standardna odstupanja $\bar{s}_i(t)$. Time je omogućena analiza osnovnih karakteristika slučajnih procesa promene stanja sa relativno malim uzorcima posle svake realizacije funkcije prelaza i bitno skraćenje vremena simulacije procesa do graničnog stanja elemenata.

U sledećem koraku proračunava se korelaciona funkcija $K_i(t_1, t_2)$ za izabrane argumente t_1, t_2 :

$$K(t_1, t_2) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [u_i(t_1) - m_u(t_1)] [u_i(t_2) - m_u(t_2)],$$

a zatim se vrši izbor tipa slučajnog procesa na osnovu realizacija trajektorija do izabranog trenutka. Tip funkcije prilagođava se stvarnoj varijaciji dobijenih slučajnih procesa metodom najmanjih kvadrata. Nepoznati

parametri funkcija regresije određuju se iz i uslova $\sum_i (U_i - U_i^*)^2 \rightarrow \min$, gde je $U_i^* = f(a, a_1, \dots, a_n)$ aproksimacija vrednosti iz uzorka teoretskom funkcijom. U slučaju linearne funkcije tipa $u(t) = u_0 + \gamma \cdot t$ koja se često može koristiti za rešavanje razmatranih problema, koeficijenti u_0 i γ određuju se iz uslova $\sum_i (u_i - u_0 - \gamma \cdot t_i)^2 \rightarrow \min$, odnosno izraza:

$$u_0 = \frac{\sum t_i \cdot \sum u_i^2 - \sum u_i \cdot t_i \cdot \sum u_i}{N \cdot \sum u_i^2 - (\sum u_i)^2},$$

$$\gamma = \frac{\sum u_i t_i - \sum u_i \sum t_i}{N \sum u_i^2 - (\sum u_i)^2}$$

Koeficijent korelacije r , kao mera jačine linearne veze između promenljivih i standardna greška regresije S , kao mera rasturanja eksperimentalnih podataka oko regresione linije, računaju se prema izrazima:

$$r = \pm \frac{\sum (u_i - \bar{x}_u)(t_i - \bar{x}_t)}{\sqrt{\sum (u_i - \bar{x}_u)^2 \sum (t_i - \bar{x}_t)^2}},$$

$$S_u = \sqrt{\frac{1}{N} (u_i - u_r)^2}$$

Program omogućuje regresionu analizu podataka samo u slučaju linearne veze, odnosno funkcije regresije tipa $u(t) = u_0 + \gamma \cdot t$. Veliki broj funkcija drugog tipa može se svesti na linearnu formu tipa $u(t) = u_0' + \gamma' \cdot t$ gde je $u_0' = \log u_0, \gamma' = \log \gamma$. U slučajevima kada linearna veza ne vredi, tip funkcije regresije može se odrediti korišćenjem specijalnih paketa programa, koji omogućuju i nelinearnu regresionu analizu. Takvi programi arhiviraju potrebne podatke u posebnim datotekama. Regresiona analiza obavlja se posle svakog ciklusa koje karakterišu uslovi rada $R(q_i)$.

S obzirom na to da je funkcija raspodele vremena rada do graničnog stanja $f(t, U_g)$ za elemente triboloških sistema najčešće Gausova [4, 14], pomoću matematičkog očekivanja $M(t)$ i

dispersije $D(t)$ slučajnog procesa mogu se odrediti i karakteristike normalne raspodele proračunom vremena rada sistema do presecanja ovih funkcija površine graničnog stanja U . U tom smislu treba najpre odrediti funkcije regresije matematičkog očekivanja $M(t)$ i dispersije $D(t)$:

$$M_u(t) = M(t, a_1, \dots, a_n),$$

$$D_u(t) = D_u(t, a_1, \dots, a_n),$$

a zatim vremena u kojima ove funkcije presecaju površinu prostora graničnog stanja U_g iz jednačina $M(t) = U_g$ i $D(t) = U_g$.

Ovakva ekstrapolacija moguća je samo u slučajevima u kojima se oblasti definicije ulaznih promenljivih parametara uslova rada $R(q_1), R(q_2) \dots$ ne menjaju, odnosno u slučajevima stacionarnih serija kod kojih se dinamičke karakteristike ne menjaju u vremenu. Ovakvi slučajevi su u praksi mogući kada se vozila koriste u približno jednakim uslovima.

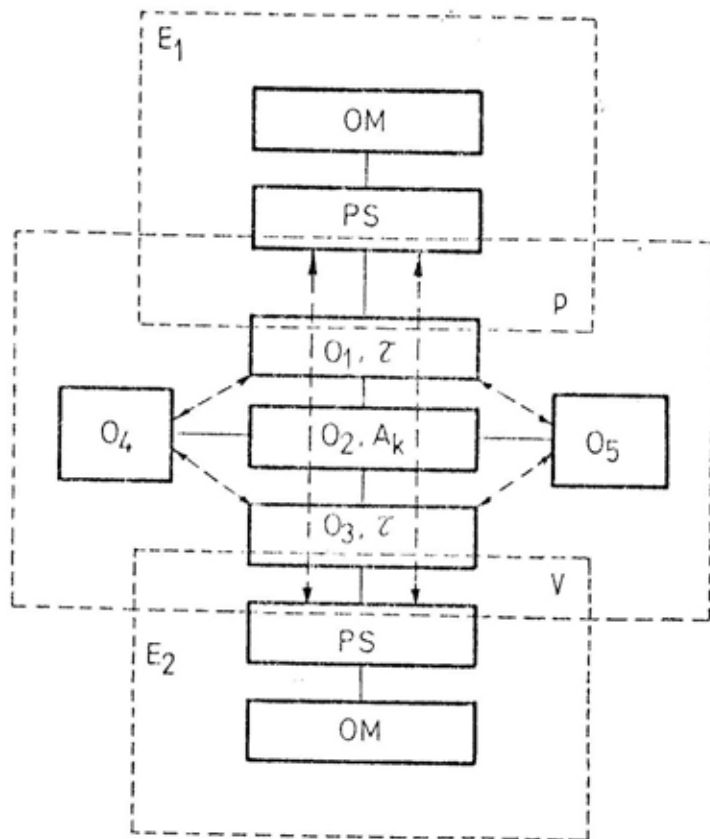
Česti su slučajevi korišćenja vozila u mešovitim uslovima sa kraćim ili dužim intervalima koji se karakterišu različitim oblastima definicije ulaznih parametara. Zbog toga računski program omogućuje eksperimentisanje sa modelom u kojem se izmenjuju intervali korišćenja vozila u različitim uslovima.

Primeri

Osnovni ograničavajući faktor primene razmatranog modela jeste nepoznavanje funkcije prelaza (intenziteta trošenja) u funkciji relevantnih faktora — ugrađenog kvaliteta i uslova rada. U literaturi [13, 16, 17] je pokazano da se ovaj problem može rešiti istraživanjima u laboratorijskim i eksploatacionim uslovima. Na primer, u [13] su prikazani modeli intenziteta trošenja elemenata tribomehaničkog sistema: ležaj — rukavac radilice, klip-

ni prstenovi — cilindar, a u [16, 17] elemenata tribomehaničkog sistema obloga kočione papuče — doboš i disk kočnice — pločice. U ovom radu se, kao primer, koristi funkcija prelaza tribomehaničkog sistema obloge papu-

Kao što se vidi, osnovni eksploatacioni uticajni faktori za dati ugrađeni kvalitet obloga jesu brzine vozila na početku (v_1) i na kraju kočenja (v_2), masa vozila (m) i temperatura elemenata tribomehaničkog sistema (τ).



Sl. 4 — Tribomehanički model:

OM — osnovni materijal, PS — površinski sloj, O_1 — istrošenost obloga, O_2 — pad koeficijenta trenja i rada kočenja, O_3 — oštećenje doboša, O_4 — zamašćenost obloga, O_5 — veliki zazor između tarućeg para, E_1 — obloga papuče, E_2 — doboš, p — srednji pritisak, v — brzina klizanja, τ — temperatura tarućih površina, A_k — rad kočenja

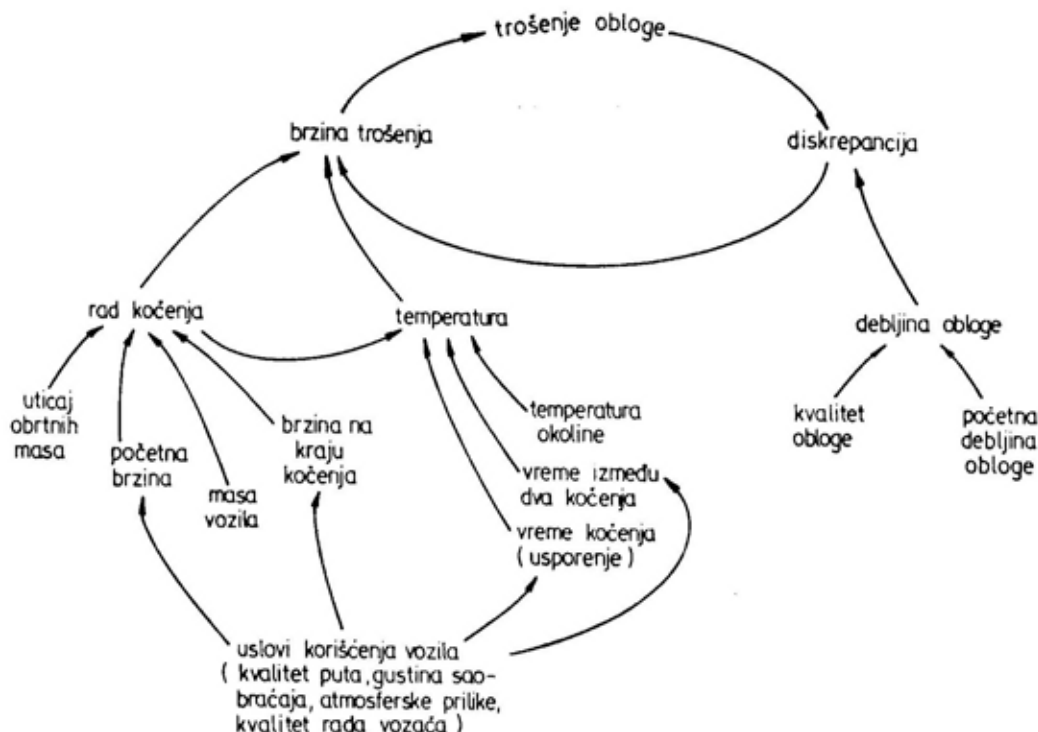
ča — doboš, koja je dobijena na osnovu rezultata istraživanja u [16, 17]. Ovaj tribomehanički model prikazan je na slici 4, a njegov strukturni model na slici 5.

$$\gamma = f(v_1, v_2, m, \tau) = 1,1372 \cdot 10^{-9} v_1^{-0,00555} v_2^{0,000229} m^{-0,00189}$$

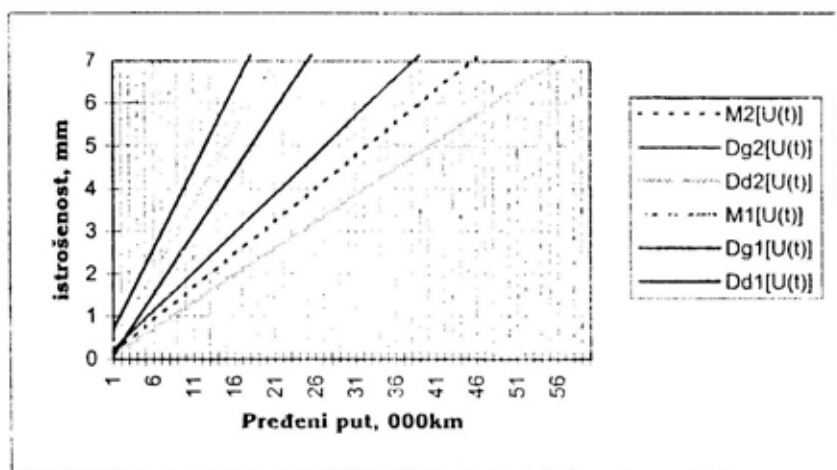
$(-29,16 + 6,675v_1 - 2,963v_2 + 5,122m)^{2,63}$
 Deo rezultata eksperimentisanja sa opisanim modelom prikazan je na slikama 6 do 8.

Na slici 6 prikazan je deo rezultata istraživanja uticaja varijacionog intervala faktora uslova rada na karakteristike procesa promene tehni-

čkog stanja elemenata tribomehaničkog sistema. Domene ulaznih varijabli $R(v_1)$, $R(v_2)$ i $R(m)$ definisane su zakonom Wejbulove raspodele. U prvom



Sl. 5 — Strukturalni model



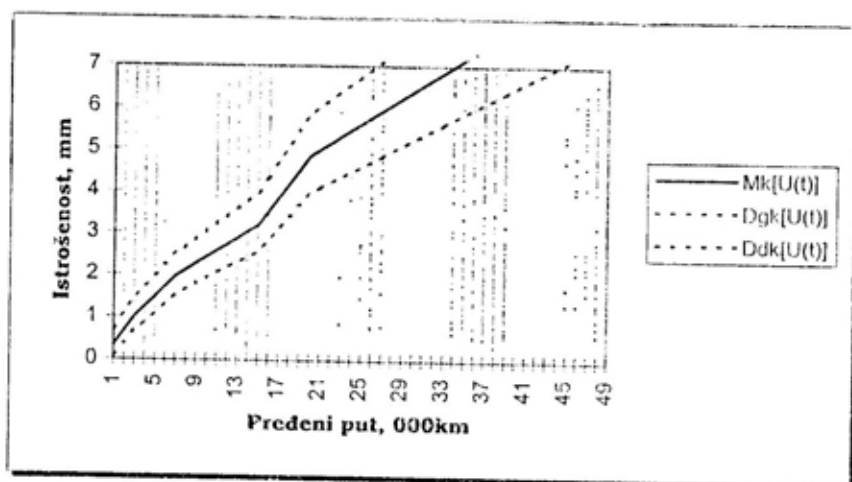
Sl. 6 — Karakteristike procesa promene tehničkog stanja za teške i lake uslove upotrebe

slučaju razmatran je uticaj maksimalnog rasipanja relevantnih faktora, ($v=1,0$; $\beta_{v1}=1,0$; $\Theta_{v1}=12\text{ms}^{-1}$; $\beta_{v2}=1,0$; $\Theta_{v2}=3,5\text{ms}^{-1}$; $\beta_m=1,0$; $\Theta_m=8t$), a u drugom vrlo malog varijacionog intervala uticajnih faktora: $v=0,27$; $\beta_{v1}=4,18$; $\Theta_{v1}=13,19\text{ms}^{-1}$; $\beta_{v2}=4,18$; $\Theta_{v2}=3,85\text{ms}^{-1}$; $\beta_m=4,18$; $\Theta_m=8,79t$.

Kao što se vidi, slučajni proces promene tehničkog stanja može se opisati funkcijom tipa $u(t)=u_0+\gamma \cdot t$ u oba slučaja: ($M[U(t)]=0,002+3,3232 \cdot 10^{-4}t, \text{mm}$ u prvom i, $M[U(t)]=1,15384 \cdot 10^{-4}t, \text{mm}$ u drugom slučaju). Varijacioni interval relevantnih uticajnih faktora ima vrlo veliki uticaj na vek trajanja razmatranih elemenata, kao i na stepen rasipanja parametara stanja u trenucima t . U prikazanom primeru, matematičko očekivanje vremena ra-

zmatranog ekstrapolacije ili metodom imitacionog modeliranja.

Drugi eksperiment realizovan je sa sledećom pretpostavkom: grupa vozila radi naizmenično u intervalima vremena koje karakterišu bitno različiti uslovi upotrebe, odnosno bitno različiti varijacioni intervali relevantnih uticajnih faktora. Rezultati su prikazani na slici 7. Kao što se vidi, matematičko očekivanje celog procesa ne može se opisati linearnom funkcijom tipa $u(t)=u_0+\gamma \cdot t$, jer se znatno razlikuju parametri funkcija u procesima stanja $f(U,t)$, a karakteristike funkcije raspodele vremena rada do otkaza $f(t,U_g)$ zavise od broja, trajanja i karakteristika intervala. U ovom slučaju prognoza vremena rada do otkaza je mnogo složenija.



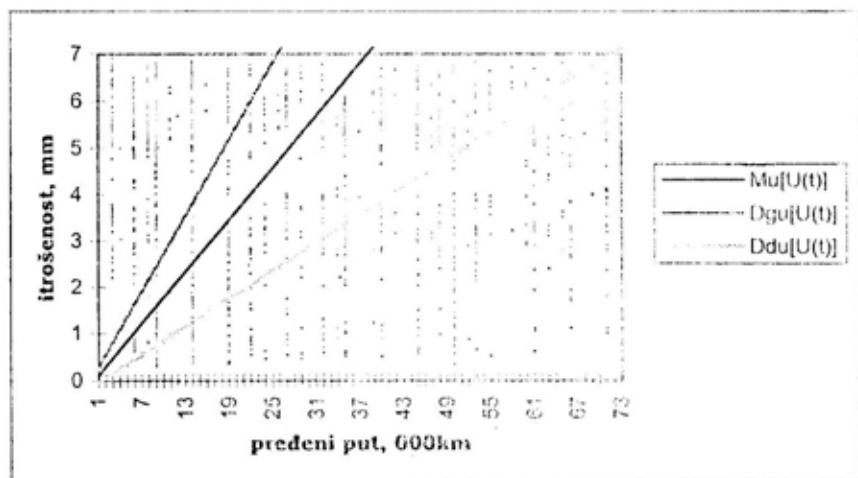
Sl. 7 — Karakteristike procesa promene tehničkog stanja za kombinovane uslove rada sa velikim intervalima u istim uslovima

da do graničnog stanja za $v=1,0$ je duplo manje u odnosu na slučaj minimalnog varijacionog intervala uticajnih faktora ($v=0,27$). Prognoza stanja elemenata istog tipa, koji rade u istim uslovima, uspešno se može izvršiti me-

Treći eksperiment realizovan je sa pretpostavkama da vozila rade u mešovitim uslovima sa vrlo kratkim intervalima koji se izmenjuju na slučajan način do graničnog stanja elemenata tribomehaničkog sistema. Deo

rezultata prikazan je na slici 8. Pored ostalog, uočavaju se relativno velika standardna odstupanja funkcija $f(U, t_i)$ i $f(t, U_g)$. To uzrokuje znatne teškoće

pri prognozi tehničkog stanja, izboru intervala za periodičnu preventivnu zamenu elemenata, periodičnosti kontrole tehničkog stanja i sl.



Sl. 8 — Karakteristike procesa promene tehničkog stanja za kombinovane uslove rada sa malim intervalima u istim uslovima

Zaključak

Prezentirani model jedan je od mogućih pristupa za ocenu karakteristika slučajnog procesa promene tehničkog stanja elemenata tribomehaničkih sistema u funkciji relevantnih parametara inherentne pouzdanosti i uslova upotrebe. Pod uslovom da su is-

punjeni osnovni zahtevi (eksperimentalno određivanje funkcije prelaza, istraživanje karakteristika uslova rada vozila i sl.), model omogućuje definisanje svih karakteristika slučajnog procesa, što pruža realnu osnovu za upravljanje tehničkim stanjem elemenata u procesu eksploatacije.

Literatura:

- [1] Garkunov, D. N.: Tribotehnika, Mašinstroenie, Moskva, 1989.
- [2] Alekseev, N. M. i drugi: Spravočnik po tribotehnike, Mašinstroenie, Moskva, 1989.
- [3] Tanasijević, S.: Osnovi tribologije mašinskih elemenata, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
- [4] Krageljki, S.: Osnovi raschetov na trenie i iznos, Mašinstroenie, Moskva, 1977.
- [5] Miltenović, V.: Prilog razvoju metoda prognoziranja pouzdanosti mašinskih sistema, disertacija, Mašinski fakultet, Niš, 1982.
- [6] Pronikov, A. S.: Nadežnost mašin, Mašinstroenie, Moskva, 1978.
- [7] Rac, A.: Prognoziranje veličine habanja, Tribologija u industriji, br. 4, 1987.
- [8] Tanasijević, S.: Tribologija u konstruisanju, Tribologija u industriji, br. 1, 1990.
- [9] Callacott, R. A.: Mechanical fault diagnosis and Condition monitoring, Chapman and Hall, London, 1997.
- [10] Rac, A.: Uzroci i manifestacije oštećenja kliznih ležišta motora SUS, Zbornik radova Motori i motorna vozila, Kragujevac, 1983.
- [11] Jeremić, B.: Osvrt na tribološka istraživanja u SAD, Tribologija u industriji, br. 4, 1988.
- [12] Verčon, J.: Vrste trošenja i oštećenja površina mašinskih elemenata i dejstvo maziva na njihovo smanjenje, Goriva i maziva 19(5-6)80.
- [13] Kanarčuk, V. E.: Dugovečnost i iznos dvigatelja pri dinamičeskikh režimakh raboti, Naukova dumka, Kiev, 1978.
- [14] Družinin, G. V.: Nadežnost avtomatizirovanih proizvodstvenih sistem, Energoatomizdat, Moskva, 1988.
- [15] Belčić, B. I. i dr.: Nadežnost i efektivnost v tehnike, tom pet, Mašinstroenie, Moskva, 1988.
- [16] Todorović, J.: Istraživanje osnovnih karakteristika pouzdanosti frikcionih obloga kočnica u uslovima eksploatacije teških motornih vozila u našoj zemlji, disertacija, Beograd, 1972.
- [17] Todorović, J.: Kočenje motornih vozila, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1988.
- [18] Lukinski, V. S. i dr.: Dugovečnost detaleli šasii avtomobila, Mašinstroenie, Lenjingrad, 1984.

Dr Dušan Regodić,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

PRORAČUN AKSIJALNOG AERODINAMIČKOG KOEFICIJENTA PRIMENOM METODE AERODR

UDC: 533.665.013.12

Rezime:

U radu je prezentiran uticaj dimenzija i oblika projektila na ukupni aksijalni aerodinamički koeficijent otpora. Proračun je napravljen metodom AERODR, a dobijene vrednosti na dijagramima označene su sa CXDR. Autor je izvršio korekciju koeficijenta B1 i koeficijenta pritiska po Moru čime se otklanjaju nedostaci poluempirijske metode date u literaturi. Aerodinamički koeficijenti CXDR, dobijeni metodom AERODR upoređeni sa poznatim metodama koje su uzete za etalon CXMC, CXAD i CXI.

Ključne reči: aerodinamika, aerodinamički koeficijent, Mahov broj, otpor dna projektila, otpor trenja, otpor vodećeg prstena, talasni otpor.

CALCULATION OF THE AXIAL AERODYNAMIC COEFFICIENT BY THE AERODR METHOD

Summary:

The effects of dimensions and shapes of missiles on the total axial aerodynamic coefficient of resistance are presented in the paper. The calculation is done by the AERODR method and the obtained values on the diagrams are marked by CXDR. The author has corrected the B1 coefficient as well as the More pressure coefficient thus eliminating disadvantages of the semi-empirical method given in the literature. The CXDR aerodynamic coefficients obtained by the AERODR method are then compared with the already known methods taken for CXMC, CXAD and CXI standards.

Key words: aerodynamics, aerodynamic coefficient, Mach number, missile bottom resistance, friction resistance, leading ring resistance, wave resistance.

Uvod

Aksijalni aerodinamički koeficijent predstavlja bezdimenzionalnu veličinu komponente aksijalne aerodinamičke sile. Dobija se kada se stvarna komponenta aksijalne aerodinamičke sile podeli sa referentnom. U literaturi se može naći veliki broj razvijenih teorijskih, empirijskih i poluempirijskih metoda za proračun aerodinamičkih koeficijenata, a jedna od njih je data u literaturi [1]. Autor ove metode iz-

vršio je usklađivanje teorijskih odnosa između parametara atmosfere sa empirijskim vrednostima preko koeficijenata. Vrednost aksijalnog aerodinamičkog koeficijenta $C_x(M)$ nalazi se u intervalu od 0,15 do 0,4. Na osnovu literature [1, 6] vrednost ovog koeficijenta je za 4 do 10% veća od normalnih etalon-vrednosti za podzvučno i nadzvučno kretanje projektila. Cilj ovog rada jeste da se ovaj nedostatak otkloni i time dobiju realne vrednosti dometa projektila pri numeričkim pro-

računima. Izborom najpovoljnijih aerodinamičkih karakteristika projektila i njihovom kombinacijom sa početnim uslovima može se uticati na žiroskopsku stabilnost.

Metoda AERODR je poluempirijska [1, 4, 5, 6]. Ona osnovni sistem jednačina rešava odgovarajućim matematičkim aparatom i u svom konačnom obliku daje međusobni odnos komponenti aksijalnog aerodinamičkog koeficijenta za osnosimetrično opstrujavanje.

Programsko rešenje metode AERODR za aerodinamički proračun urađeno je u programskim jezicima FORTRAN i PASCAL na personalnom računaru. Sastoji se od tri celine — datoteke (file):

— programa AERODR — glavni program,

— datoteke ULAZ — ulazni podaci,

— datoteke IZLAZ — rezultati proračuna sa komentarom.

Program AERODR organizovan je tako da se proračun izvodi po celinama aerodinamičkog koeficijenta aksijalnog otpora. Naredbom READ učitavaju se polazni podaci sa datoteke ULAZ. Potom se računaju aerodinamički koeficijenti otpora za različite vrednosti Mahovih brojeva. Na osnovu intervala nezavisne promenljive i broja tačaka definiše se korak proračuna. Pomoću FOR-petlje, redosledom za svaki korak računaju se komponente ukupnog aerodinamičkog koeficijenta $C_x(M)$: $C_{x1}(M)$, $C_{xSF}(M)$, $C_{xVP}(M)$, $C_{x3}(M)$, $C_{xB}(M)$, i $P_B/P_1(M)$. Na kraju proračuna komponenti one se sabiraju i proračunava ukupni aerodinamički koeficijent za različite Mahove brojeve.

Datoteka ULAZ sadrži polazne podatke odvojene zarezom i grupisane u tri retka:

— prvi redak sadrži broj projektila za koji se vrši proračun,

— drugi redak sadrži karakteristike projektila,

— treći redak sadrži vrstu graničnog sloja oko projektila.

Datoteka IZLAZ kreira se u toku izvršenja programa. U nju se smeštaju informacije dobijene izvršenjem WRITE naredbi programa. To su rezultati aerodinamičkog proračuna. Strukturirani su tako da se na početku daju polazni podaci za koje se kasnije daju tabelarni rezultati za ukupni aerodinamički koeficijent aksijalne sile i njene komponente u funkciji zadatih Mahovih brojeva.

Ovako koncipirano programsko rešenje je univerzalno i može da se upotrebi za sve vrste klasičnih žiroskopski stabilisanih projektila pri osnosimetričnom opstrujavanju. Za aerodinamički proračun novog, željenog žirostabilisanog projektila neophodno je datoteku ULAZ modifikovati ili kreirati novu sa polaznim podacima odabranog projektila.

Sistem jednačina i analitičko rešenje

Ukupni aerodinamički koeficijent otpora aksijalne sile po metodi AERODR iznosi:

$$C_x = C_{x1} + C_{xSF} + C_{xVP} + C_{x3} + C_{xD} \quad (1)$$

gde je:

C_{x1} — koeficijent talasnog otpora vrha projektila,

C_{xSF} — koeficijent otpora trenja,

C_{xVP} — koeficijent otpora vodećeg prstena,

C_{x3} — koeficijent talasnog otpora zadnjeg konusa,

C_{xD} — koeficijent otpora dna projektila.

Koeficijent talasnog otpora vrha projektila

Vrh projektila može biti izveden u obliku tangentsnog ili sekantnog oživala, konusa ili kombinovano. Koeficijent talasnog otpora vrha projektila iznosi [1, 4, 5, 6, 7]:

$$C_{X1} = \frac{f(\beta \sqrt{M_\infty^2 - 1}, \beta)}{(M_\infty^2 - 1)}$$

odnosno

$$C_{X1} = \frac{(B_1 - B_2 \beta^2) \cdot (\beta \sqrt{M_\infty^2 - 1})^{(B_3 + B_4 \beta)}}{(M_\infty^2 - 1)} \quad (2)$$

$$C_{X1} = C_{X1V} + C_{XZ} \quad (3)$$

gde je:

$$C_{X1V} = (B_1 - B_2 \beta^2) \cdot (\beta \sqrt{M_\infty^2 - 1})^{(B_3 + B_4 \beta)} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{d - d_M}{L_N}$$

— nagib koničnog vrha,

$$B_1 = 0,6256 - 0,5313(R_T/R) + 0,595(R_T/R)^2$$

— konstanta,

$$B_2 = 0,0796 + 0,0779(R_T/R)$$

— konstanta,

$$B_3 = 1,587 + 0,049(R_T/R)$$

— konstanta,

$$B_4 = 0,1122 + 0,1658(R_T/R)$$

— konstanta,

$$RF = \sqrt{M_\infty^2 - 1}$$

— konstanta,

$$Z = \frac{1}{M_\infty^2 - 1}$$

— konstanta,

$$M_C = 1 + 0,9567\beta^{1,85}$$

— kritični Mahov broj.

Za $M_\infty < M_C$ uvodi se oznaka $ZE = RF = \sqrt{M_\infty^2 - 1}$ i sledi da je

$$C_{X1} = \frac{M_\infty^2 - 1}{2,4M_\infty^2}$$

Za $M_\infty < 1$ uvodi se oznaka

$$P_{TP} = (1 + 2M_\infty^2)^{3,5} \quad (5)$$

Za nadzvučno strujanje $M_\infty > 1$, pa je

$$P_{TP} = (1 + 2M_\infty^2)^{3,5} \left(\frac{6}{7M_\infty^2 - 1} \right)^{2,5} \quad (6)$$

$$C_{X1P} = \frac{1,22 \cdot (P_{TP} - 1) \cdot d_M^2}{M_\infty^2} \quad (7)$$

Za podzvučno strujanje $M < 0,91$ vrednost koeficijenta $C_{XZ} = 0$, a za nadzvučno strujanje pri $M > 1,41$ vrednost koeficijenta $C_{XZ} = 0,85C_{X1P}$. U intervalu $0,91 < M < 1,4$

$$C_{XZ} = (0,245 + 2,88C_{X1})C_{X1P} \quad (8)$$

Radius tangentsnog oživala iznosi

$$R_T = \sqrt{c^2 + \frac{c^2 \cdot n^2}{(b-a)^2}}$$

$$c = \sqrt{\frac{1}{4} (b-a)^2 + n^2}$$

gde je:

n — dužina oživala,

a i b — poluprečnici baze oživala, i

R — stvarni radius, za konus $R = \infty$.

Na osnovu dimenzija radiusa tangentsnog oživala i stvarnog oživala dobija se da je:

$RT/R = 0$ — za konus,

$RT/R = 1$ — za tangentsni ožival,

$RT/R = 0$ do 1 — za varijacije sekantnog oživala.

Jednačina koeficijenta otpora za konični vrh C_{X1} koriguje se sa koeficijentom promene pritiska C_{PS} i iznosi:

$$C_{X1} = \frac{(C_1 - C_2 \beta^2)}{M_\infty^2 - 1} [\beta \sqrt{M_\infty^2 - 1}]^{(C_3 + C_4 \beta)} + \frac{\pi}{4} d_{M}^2 C_{PS}, \quad (9)$$

gde je po Mooru:

$$C_{PS} = \frac{2}{\chi M_\infty^2} \left[0,9 \left(\frac{\chi + 1}{2} \right)^{\frac{\chi}{\chi - 1}} \left(\frac{\chi + 1}{2\chi M_\infty^2 - (\chi - 1)} \right)^{\frac{\chi}{\chi - 1} - 1} - 1 \right], \quad (10)$$

$$C_{X1} = \frac{\pi}{4} C_{PS} = 1,122 \left[(1,2 M_\infty^2)^{3,5} \left(\frac{6}{7 M_\infty^2 - 1} \right)^{2,5} \right], \quad (11)$$

Koeficijent korekcije K , zbog promene pritiska na površini projektila, Chartes i Stein su predložili da bude $K=0,9$ [1, 7]. Dickinson je dao eksperimentalne rezultate, za konični oživalni vrh pri supersoničnim brzinama $K=0,75$. Za vitke oživale Cole, Solomon i Wilmarth su predložili da je:

$$\frac{C_{X1}}{\beta^3} + \ln \beta = f \left[\frac{M_\infty^2 - 1}{(\chi + 1) M_\infty^2 \beta^2} \right]$$

Proračunate vrednosti su približno jednake eksperimentalnim. Von Karman je za dvodimenzionalnu transoniku vitkih tela dao pojednostavljenu formulu:

$$C_{X1} \sqrt{(\chi + 1) M_\infty^2} = f \left\{ \frac{M_\infty^2 - 1}{[(\chi + 1) M_\infty^2 \beta]^{\frac{2}{3}}} \right\}$$

Za osnosimetrični trodimenzionalni oblik za transoniku je:

$$C_{X1} = F(\beta) + f \left[\frac{\beta(M_\infty^2 - 1)}{(\chi + 1) M_\infty^2} \right]$$

za $M_\infty > M_c$ gde je:

$$M_c = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,552 \sqrt{\beta^4}}}$$

Koeficijent talasnog otpora zadnjeg konusa

Pri supersoničnom opstrujavanju koničnog dna projektila, za male vrednosti ugla zadnjeg konusa Θ_d predlaže se jednačina otpora zadnjeg konusa [1, 4, 5]:

$$C_{X3}^* = \frac{4Z_1 \tan \Theta_d}{\lambda} \left[(1 - e^{-\lambda L_{BT}}) + 2 \tan \Theta_d \left(e^{-\lambda L_{BT}} \left(L_{BT} + \frac{1}{\lambda} \right) - \frac{1}{\lambda} \right) \right] \quad (12)$$

gde je:

C_{X3}^* — proračunata vrednost talasnog otpora zadnjeg konusa,

Θ_d — ugao zadnjeg konusa (negativna vrednost za konični deo),

L_{BT} — dužina zadnjeg konusa u kalibrima,

Z_1 — odgovarajući koeficijent promene pritiska za Prandl-Majerovu ekspanziju,

λ — koeficijent popravke pritiska zadnjeg konusa.

Koeficijenti Z_1 i λ dobijeni su metodom karakteristika za projektil čiji je zadnji deo oblika konusa:

$$Z_1 = Z_2 e^{-\sqrt{\frac{2}{M_\infty^2}} L_{CIL}} + \frac{2 \tan \Theta_d}{\sqrt{M_\infty^2 - 1}} - \frac{[(\chi + 1) M_\infty^4 - 4(M_\infty^2 - 1)] \tan^2 \Theta_d}{2(M_\infty^2 - 1)} \quad (13)$$

Prednji korekcionni faktor otpora zadnjeg konusa za supersonične brzine je:

$$Z_2 = \left[1 - \frac{3 \left(\frac{R_T}{R} \right)}{5M_\infty^2} \right] \cdot \left[\frac{5\beta}{6\sqrt{M_\infty^2 - 1}} + \left(\frac{\beta}{2} \right)^2 - \frac{0,7435}{M_\infty^2} (\beta \cdot M_\infty)^{1,6} \right], \quad (14)$$

$$k = \frac{0,85}{\sqrt{M_\infty^2 - 1}}$$

Sykes [1, 4, 5, 7] je dao distribuciju $C_{X3} = f(C_{X3}^*)$ za transoničnu oblast:

$$C_{X3} = 4 \tan^2 \Theta_d \left(1 + \frac{1}{2} \tan \Theta_d \right) \left\{ 1 - e^{-2L_{BT}} + 2 \tan \Theta_d \left[e^{-2L_{BT}} \left(L_{BT} + \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{2} \right] \right\} \quad (15)$$

Aerodinamički koeficijent otpora trenja

Koeficijent otpora trenja C_{XSF} može se izračunati na osnovu izraza [1, 7]:

$$C_{XSF} = \frac{C_{XSFL} \cdot S_{VV} + C_{XSFT} \cdot S_{VCIL}}{S_V} \quad (16)$$

gde je za turbulentni granični sloj (IBLC=2) vrednost $C_{FL} = C_{FT}$

$$C_{XSFT} = \frac{4}{\pi} C_{FL} S_V$$

Za laminarni granični sloj po Blasiusu (IBLC=1) vrednost

$$C_{FLT} = \frac{1,328}{\sqrt{Re}} (1 + 0,12M_\infty^2)^{-0,12} \quad (17)$$

Ukupna opstrujavana površina je:

$$S_V = S_{VV} + S_{VCIL}$$

gde je površina cilindričnog dela

$$S_{VCIL} = \pi(L_T - L_N)$$

Površina vrha projektila je:

$$S_{VV} = \frac{\pi}{2} L_N \left[1 + \frac{1}{8L_N^2} \right] \left[1 + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{50L_N^2} \right) \left(\frac{R_T}{R} \right) \right],$$

gde je:

$$D_{UM} = 1 + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{50L_N^2} \right) \left(\frac{R_T}{R} \right).$$

Prandl je empirijsku formulu za turbulentni granični sloj korigovao zbog promene pritiska:

$$C_{FT} = \frac{0,455}{(\log R_e)^{2,58}} (1 + 0,21M_\infty^2) \quad (18)$$

gde je:

$$R_e = \frac{V_\infty \cdot l}{\nu_\infty} \text{ — Reynoldsov broj,}$$

$V_\infty = a_\infty M_\infty$ — brzina opstrujavanja,

$l = L_T \cdot d_{REF}$ — opstrujavana dužina,

d_{REF} — kalibar projektila.

Schlichting je pokazao veliku podudarnost Prandlove empirijske formule i rezultata Van Driesta. Za $t = 15^\circ C$, $\mu_\infty = 1,7894 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$ i $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ vrednost Reynoldsovog broja iznosi $R_e = 23296,3 \cdot M_\infty \cdot L_T \cdot d_{REF}$.

Aerodinamički koeficijent otpora dna projektila

Tačno određenje koeficijenta otpora dna projektila bio je predmet izučavanja mnogih analitičara. Champan je posmatrao ravno dno na koje deluje bazni pritisak pri supersoničnim br-

zinama [1, 4, 7]. Mahov broj određuje karakter graničnog sloja vazduha u okolini dna. Većina artiljerijskih projektila ima turbolentni granični sloj u okolini dna. Odnos baznog pritiska p_B i pritiska neporemećene struje p_∞ , na osnovu teorijskih i empirijskih istraživanja, iznosi:

$$\frac{p_B}{p_\infty} = [1 + 0,096M_\infty^2 (1 - e^{-L_{CIL}})] \left[1 + \frac{1}{4} M_\infty^2 (1 - d_B) \right], \quad (19)$$

gde je:

$$L_{CIL} = L_T - L_N.$$

Zbog uticaja Reynoldsovog broja na karakter strujanja ne postoji mogućnost potpunog poklapanja podataka efektivnog baznog pritiska dobijenog teorijskim i eksperimentalnim putem. Dobra korelacija postiže se za zadnji konus dužine do $L_{BT} = 1,5d$ i prečnik baze do $d_B = 0,065d$. Aerodinamički koeficijent otpora dna projektila dat je relacijom:

$$C_{XD} = \frac{2d_B^2}{\chi M_\infty^2} \left(1 - \frac{p_B}{p_\infty} \right) = 1,4286 \cdot \left(1 - \frac{p_B}{p_\infty} \right) \frac{d_B^2}{M_\infty^2} \quad (20)$$

Prethodna analiza odnosi se na projektele sa koničnim dnom, najveće debljine $d_B = 1$, i pokazuju veliku sličnost sa eksperimentalnim rezultatima.

Aerodinamički koeficijent otpora vodećeg prstena

Vodeći prsten kod klasičnih projektila uglavnom je lociran na zadnjem delu cilindričnog dela projektila, uz krivinu zadnjeg konusa. Za takav položaj vodećeg prstena otpor ima manju vrednost nego kod vodećih prste-

nova udaljenih od zadnjeg konusa. Promenom konfiguracije projektila uz veći broj eksperimenata mogao bi se smanjiti otpor vodećeg prstena. Na osnovu eksperimentalnih i teorijskih rezultata dobijena je poluempirijska analitička zavisnost promene aerodinamičkog koeficijenta otpora vodećeg prstena u funkciji Mahovog broja [1, 4, 7]:

$$a) \quad C_{XVP} = M_\infty^{12,5} (d_{BND} - 1) \quad \text{za } M < 0,85, \quad (21)$$

$$b) \quad C_{XVP} = 0,76175 M_\infty^{12,62529} (d_{BND} - 1) \quad \text{za } 0,85 < M < 0,95, \quad (22)$$

$$c) \quad C_{XVP} = \left(0,21 + \frac{0,28}{M_\infty^2} \right) (d_{BND} - 1) \quad \text{za } M > 0,95. \quad (23)$$

Upotrebljene oznake i algoritam programskog rešenja

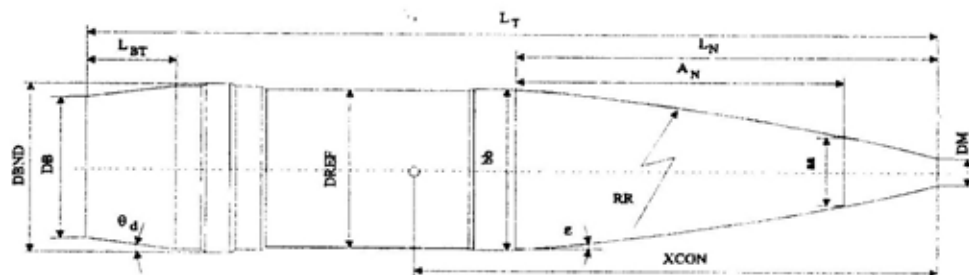
Na slici 1 prikazani su konstrukcioni parametri koji utiču na vrednost aerodinamičkog koeficijenta a upotrebljeni su kao ulazne veličine u programskom rešenju AERODR. Program za personalni računar napravljen je prema prikazanim jednačinama.

Algoritam programskog rešenja metode AERODR prikazan je na slici 2. SLIKA 2

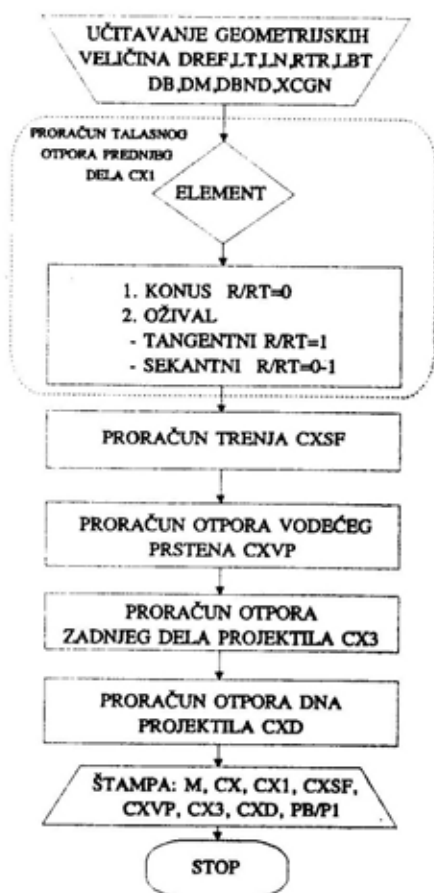
Rezultati aerodinamičkog proračuna

Usporedni prikaz aksijalnog aerodinamičkog koeficijenta i njegovih komponenti, za kalibar $d = 122$ mm, dužine $L = 596$ mm i za interval $M = 0,5$ do 4, dat je na slici 3.

Usporedni prikaz aksijalnog aerodinamičkog koeficijenta i njegovih kom-



Sl. 1 — Konstrukcioni parametri projektila



Sl. 2 — Algoritam metode AERODR

ponenti, za kalibar $d=122$ mm, dužine $L=616$ mm i za interval $M=0,5$ do 4, dat je na slici 4.

Prikaz aksijalnog aerodinamičkog koeficijenta C_x za projektil 122 mm ra-

zličitih dužina: $L_T=559$ mm, $L_T=560$ mm, $L_T=593$ mm, $L_T=598$ mm, dat je na slici 5.

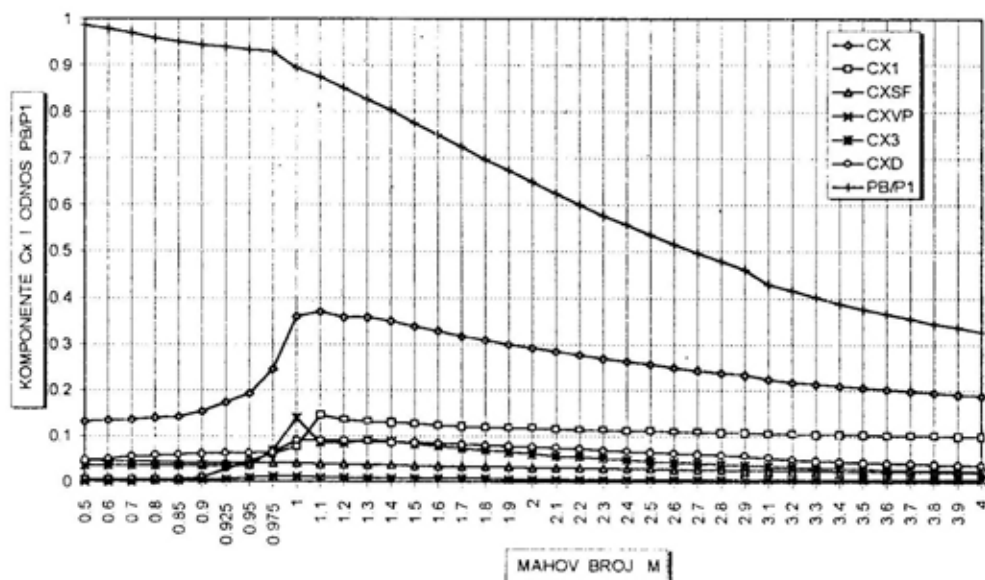
Uporedni prikaz aerodinamičkog koeficijenta C_x i njegovih komponenti za hipotetički projektil 152 mm u funkciji promene Mahovog broja $M=0,5$ do 4, dat je na slici 6.

Uporedni prikaz ukupnog aerodinamičkog koeficijenta C_x za hipotetički projektil 152 mm u funkciji promene Mahovog broja $M=0,5$ do 4, dat je na slici 7.

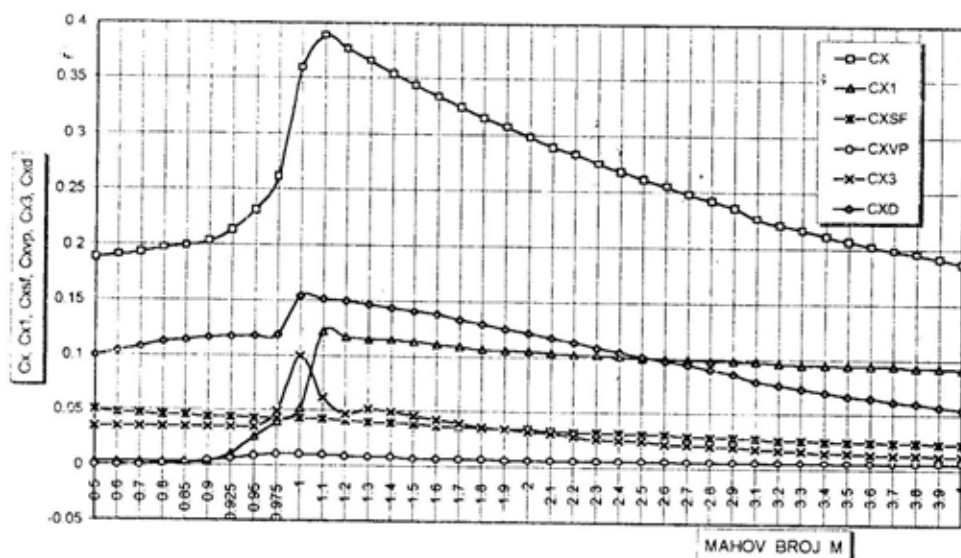
Uticaj dimenzija zadnjeg konusa na aksijalni aerodinamički koeficijent pri $M=1,7$ i prečniku dna projektila $d_b=0,7d$ prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1

$l_{BT}(d)$	$C_{XMC} = f(l_{BT})$	$C_{XAD} = f(l_{BT})$	$C_{XDR} = f(l_{BT})$
0,25	0,385	0,38	0,35
0,5	0,395	0,39	0,355
0,7	0,35	0,34	0,32
1	0,325	0,319	0,29
1,25	0,310	0,303	0,26
1,5	0,305	0,305	0,26
1,75	—	0,307	0,255
2	—	0,3	0,252
2,5	—	0,299	0,25
3	—	0,297	0,246
3,5	—	0,296	0,244
4	—	0,295	0,242



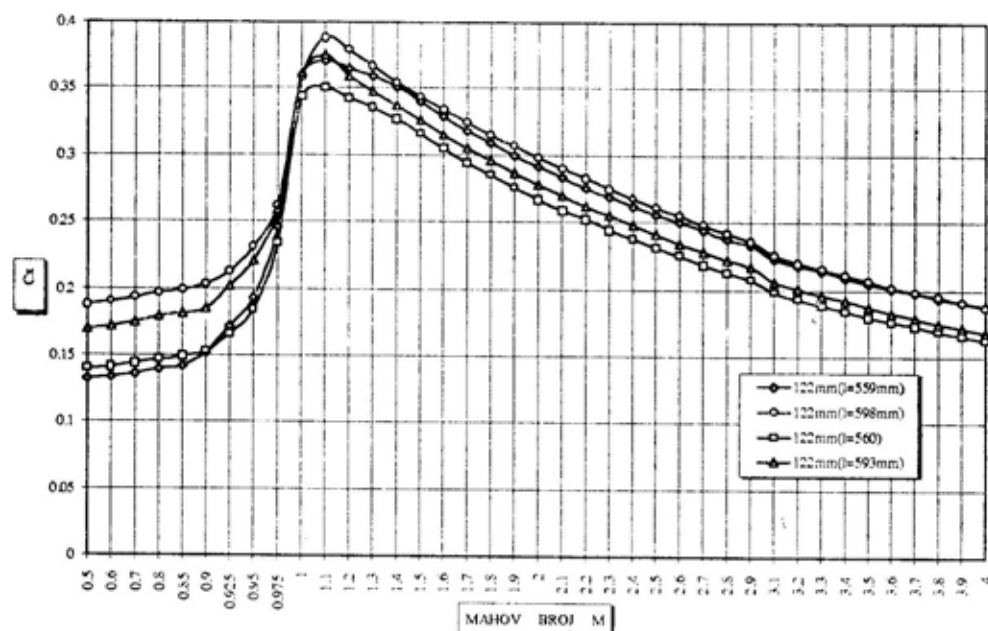
Sl. 3 — Aksijalni aerodinamički koeficijent C_x i njegove komponente u zavisnosti od Mahovog broja



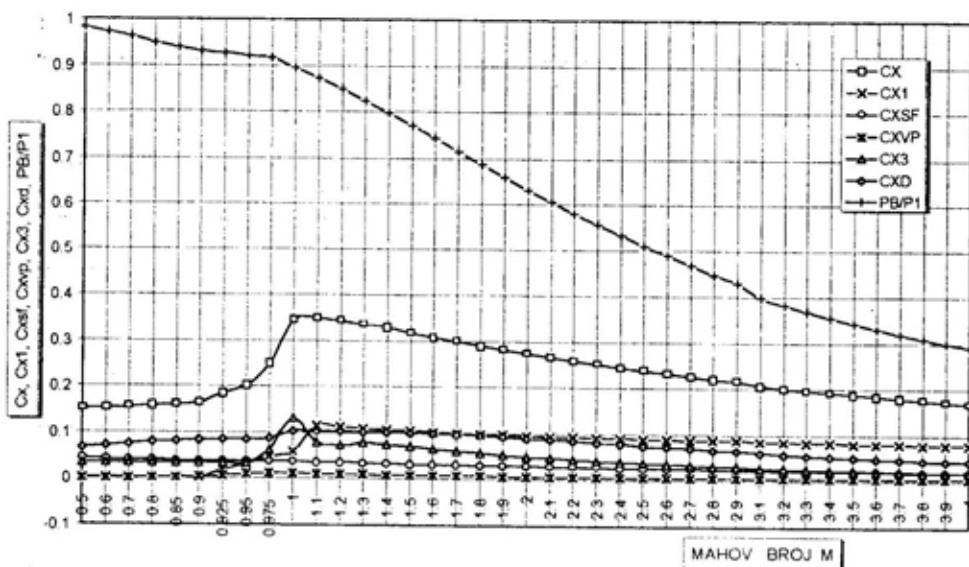
Sl. 4 — Prikaz aksijalnog aerodinamičkog koeficijenta C_x i njegovih komponenti za projektil $d=122$ mm i $L=616$ mm u zavisnosti od Mahovog broja

Grafički prikaz uticaja zadnjeg konusa na aksijalni aerodinamički koeficijent pri $M=1,7$ i prečniku dna projektila $d_b=0,7d$ dat je na slici 8.

Uticaj ugla zadnjeg konusa Θ na aksijalni aerodinamički koeficijent, dat je u tabeli 2.



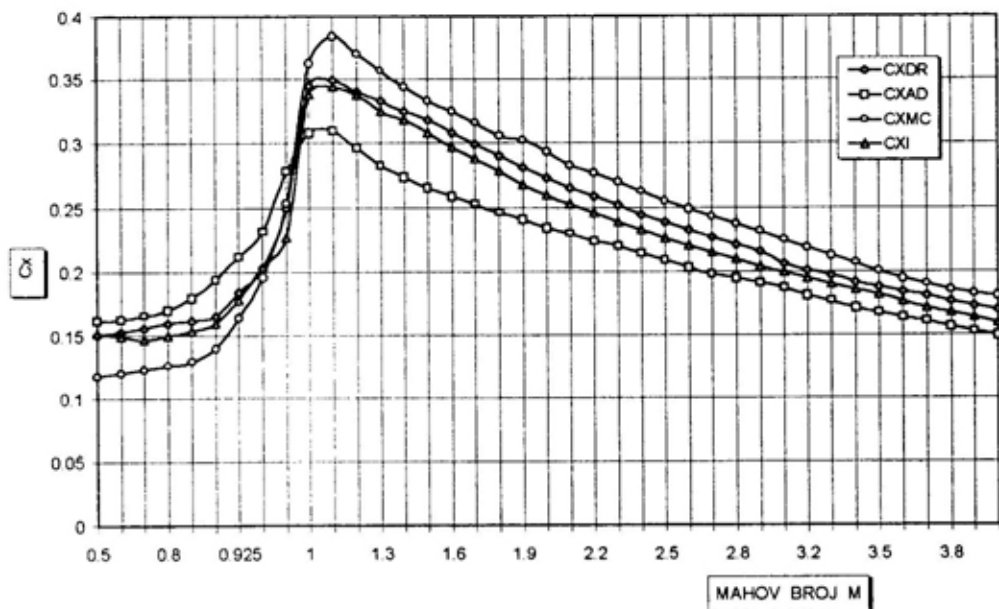
Sl. 5 — Uporedni prikaz aksijalnih aerodinamičkih koeficijenata C_x za projekte 122 mm različite dužine i $M=0,5-4$



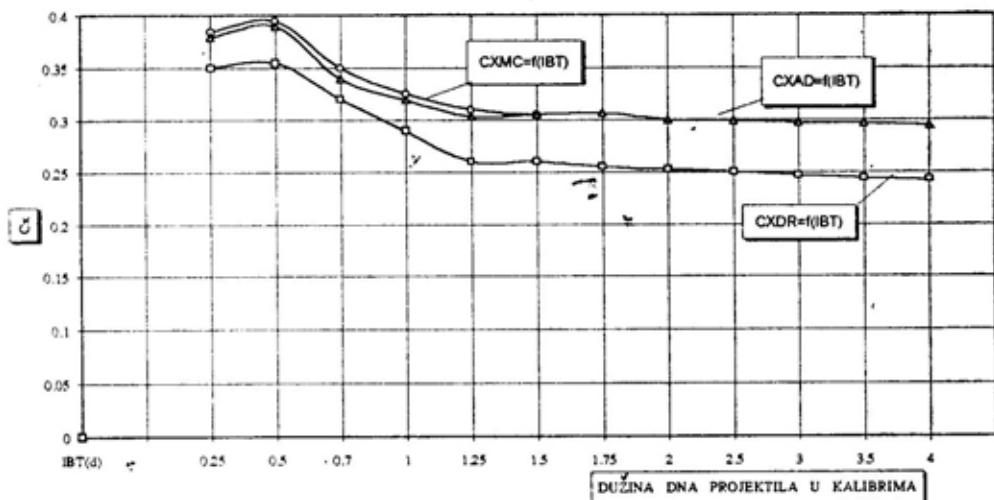
Sl. 6 — Prikaz promene aksijalnog aerodinamičkog koeficijenta C_x i njegovih komponenti u zavisnosti od Mahovog broja

Grafički prikaz uticaja ugla zadnjeg konusa $\Theta d = (0^\circ, 2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ)$ na aksijalni aerodinamički koeficijent pri dužini zadnjeg konusa $L_{BT} = 0,6d$ i $M = 1,7$ dat je na slici 9.

Uporedni prikaz uticaja dužine zadnjeg konusa $L_{BT} = (0; 0,5d; 1d; 1,5d)$ i Mahovog broja pri $M = (2,3; 3,0; 4,0)$ dat je u tabeli 3.



Sl. 7 — Uporedni prikaz aksijalnih aerodinamičkih koeficijenata C_x



Sl. 8 — Uporedni prikaz uticaja dužine dna projektila na ukupni aerodinamički koeficijent pri prečniku baze $d_b = 0,7d$ i $M = 1,7$

Tabela 2

$\Theta d(^{\circ})$	CXMC	CXAD	CXDR
0	0,38	0,376	0,34
2	0,36	0,362	0,32
4	0,35	0,354	0,315
6	0,342	0,344	0,31
8	0,343	0,343	0,312
10	0,349	0,344	0,314
12	0,355	0,35	0,319

Na slici 10 dat je uporedni prikaz uticaja dužine zadnjeg konusa $L_{BT} = (0; 0,5d; 1d; 1,5d)$ i Mahovog broja pri $M = (2,3; 3,0; 4,0)$ pri $\Theta d = 7^{\circ}$.

U tabeli 4 dat je uporedni prikaz uticaja dužine prednjeg dela projektila $L_H = (1,5d; 1,75d; 2d; 2,25d; 2,5d; 2,75d; 3,0d; 3,25d; 3,5d; 3,75d)$ na aksijalni aerodinamički koeficijent pri $M = 1,8$.

Na slici 11 dat je grafički prikaz uticaja dužine prednjeg dela projektila $L_H = (1,5d; 1,75d; 2d; 2,25d; 2,5d; 2,75d; 3,0d; 3,25d; 3,5d; 3,75d)$ na aksi-

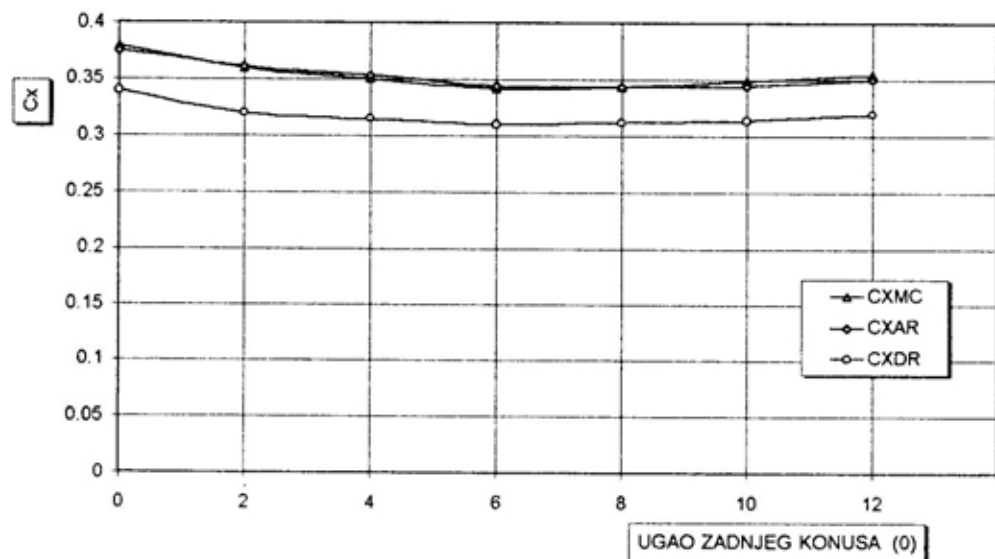
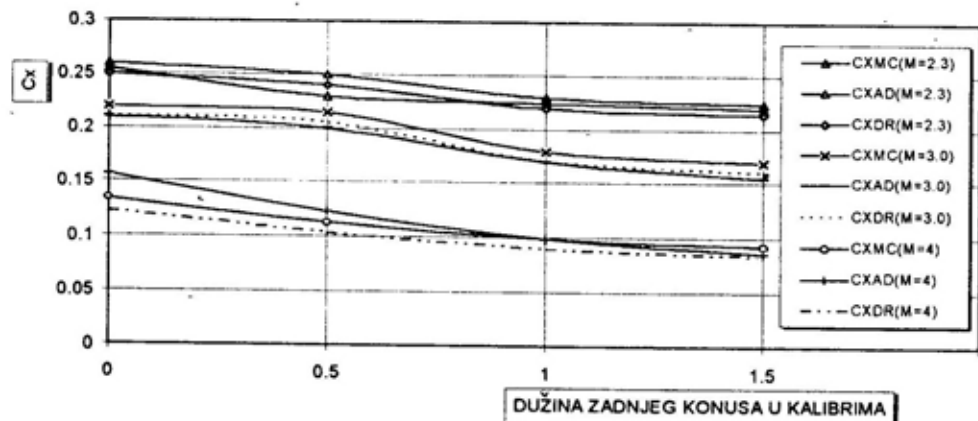
Sl. 9 — Uticaj ugla zadnjeg konusa na vrednosti C_x pri $L_{BT} = 0,6d$ i $M = 1,7$ Sl. 10 — Uticaj dužine zadnjeg konusa na aerodinamički koeficijent C_x pri uglu zadnjeg konusa od 7°

Tabela 3

L_{BT} (d)	CXMC (M=2,3)	CXAD (M=2,3)	CXDR (M=2,3)	CXMC (M=3,0)	CXAD (M=3,0)	CXDR (M=3,0)	CXMC (M=4)	CXAD (M=4)	CXDR (M=4)
0	0,26	0,255	0,25	0,22	0,21	0,21	0,134	0,157	0,123
0,5	0,25	0,23	0,24	0,215	0,2	0,205	0,113	0,123	0,103
1	0,23	0,225	0,22	0,18	0,17	0,17	0,099	0,099	0,089
1,5	0,225	0,22	0,215	0,17	0,155	0,16	0,0924	0,086	0,0824

Tabela 4

L_{rt} (d)	CXAD (KON)	CXMC (KON)	CXDR (KON)	CXAD (SO)	CXMC (SO)	CXDR (SO)
1,5	—	—	—	0,44	0,45	0,39
1,75	—	—	—	0,4	0,42	0,36
2	—	—	—	0,37	0,38	0,33
2,25	—	—	—	0,345	0,35	0,311
2,5	0,348	0,328	0,306	0,328	0,328	0,295
2,75	0,328	0,32	0,29	0,29	0,29	0,28
3	0,3	0,298	0,28	0,278	0,278	0,27
3,25	0,29	0,29	0,27	0,265	0,27	0,26
3,5	0,275	0,28	0,26	0,255	0,26	0,25
3,75	0,26	0,265	0,246	0,245	0,252	0,24
4	0,25	0,26	0,24	—	—	—

Tabela 5

L_{rt} (d)	CXAD (2d)so	CXMC (2d)so	CXDR (2d)so	CXAD (3d)ko	CXMC (3d)ko	CXDR (3d)ko	CXAD (3d)so	CXMC (3d)so	CXDR (3d)so
1	0,36	0,38	0,35	0,315	0,321	0,31	0,287	0,298	0,27
1,5	0,348	0,37	0,34	0,312	0,318	0,3	0,279	0,292	0,264
2	0,348	0,37	0,34	0,315	0,318	0,31	0,281	0,292	0,264
2,5	0,359	0,36	0,335	0,321	0,33	0,31	0,284	0,295	0,268
3	0,364	0,365	0,341	—	—	—	0,291	0,301	0,274
3,5	0,369	0,372	0,343	—	—	—	0,294	0,305	0,28
4	0,375	0,384	0,353	—	—	—	0,30	0,31	0,283
4,5	0,379	0,389	0,357	—	—	—	—	—	—
5	0,382	0,391	0,362	—	—	—	—	—	—
5,5	0,389	0,399	0,366	—	—	—	—	—	—
6	0,392	0,399	0,366	—	—	—	—	—	—
6,5	0,399	0,41	0,38	—	—	—	—	—	—
7	0,4	0,42	0,39	—	—	—	—	—	—

jalni aerodinamički koeficijent pri $M=1,6$.

U tabeli 5 dat je uporedni prikaz uticaja dužine projektila $L_T=(d; 1,5d;$

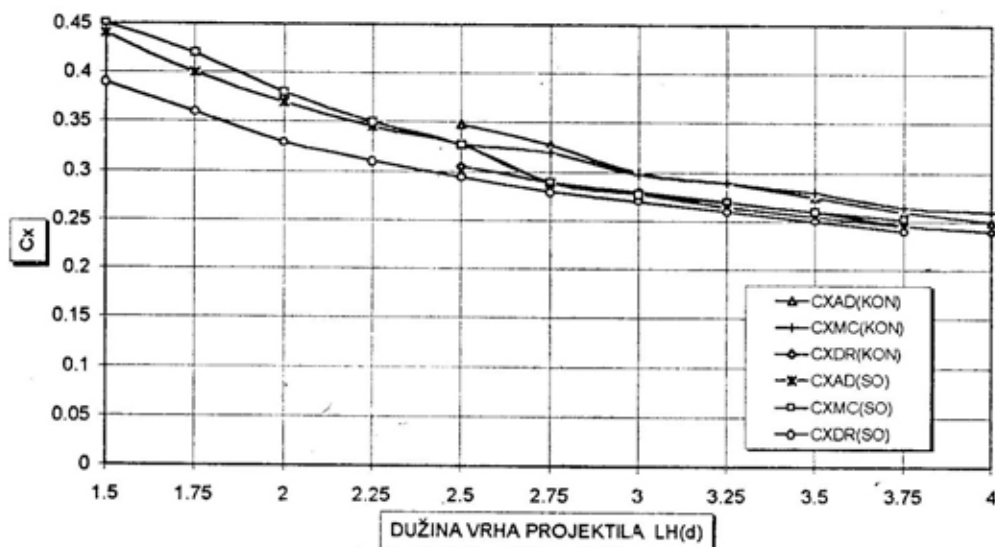
Tabela 6

RT/R	CXAD (M=2,4)	CXMC (M=2,4)	CXDR (M=2,4)
0	0,217	0,222	0,21
0,2	0,209	0,212	0,2
0,4	0,205	0,207	0,195
0,6	0,207	0,21	0,2
0,8	0,217	0,215	0,205
1	0,235	0,226	0,216

2d; 2,5d; 3d; 3,5d; 4d; 4,5d; 5d; 5,5d; 6d; 6,5d; 7d) na aksijalni aerodinamički koeficijent pri $M=1,8$.

U tabeli 6 dat je uporedni prikaz uticaja radijusa prednjeg dela projektila $RT/R=(0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1)$ na aksijalni aerodinamički koeficijent pri $M=2,4$.

U tabeli 7 dat je uporedni prikaz vrednosti aksijalnih aerodinamičkih koeficijenata C_x projektila 122 mm različitih dužina i projektila 152 mm dobijenih poluempirijskim metodama AERODR i MCD [1] i procentualno smanjenje ovog koeficijenta.



Sl. 11 — Uticaj dužine vrha projektila $L_n(d)$ na ukupni aerodinamički koeficijent C_x

Zaključak

Poluempirijska metoda AERODR vrlo je praktična za analizu uticaja pojedinih delova projektila na aksijalni aerodinamički koeficijent.

Na osnovu numeričkog eksperimenta predloženo je povećanje vitkosti zadnjeg dela projektila na $L_{BT}=0,25$ do $4d$, a optimalna vrednost ugla zad-

njeg konusa iznosi $\Theta d=7^\circ$. Povećanjem vitkosti sekantnog oživala na $\lambda=2,5$ do 4 aksijalni aerodinamički koeficijent se smanjio za 22%. Najmanja vrednost talasnog otpora je za odnos $RT/R=0,4$ dok je za tangentni ožival $RT/R=1$ ovaj otpor najveći. Navedena metoda može se vrlo efikasno koristiti pri optimizaciji dimenzija i oblika projektila pri aerodinamičkom projektovanju.

Tabela 7

Projektili kalibra 122 mm različitih dužina i projektil 152 mm														
M	l = 559 mm		l = 560 mm		l = 593 mm		l = 596 mm		l = 598 mm		l = 621 mm		d = 152 mm	
	C _{AERODR}	%	C _{AERODR}	%	C _{AERODR}	%	C _{AERODR}	%	C _{AERODR}	%	C _{AERODR}	%	C _{AERODR}	%
	C _{XMCDRAG}		C _{XMCDRAG}		C _{XMCDRAG}		C _{XMCDRAG}		C _{XMCDRAG}		C _{XMCDRAG}		C _{XMCDRAG}	
0,975	0,246	-0,1	0,234	-1,3	0,259	-1,6	0,257	-2	0,262	-2	0,241	-2,1	0,25	-1,6
	0,25		0,237		0,263		0,262		0,267		0,246		0,254	
1,1	0,371	-7,1	0,35	-5,6	0,375	-6	0,354	-9,5	0,388	-5	0,327	-10	0,349	-9,1
	0,399		0,371		0,399		0,391		0,407		0,366		0,384	
1,5	0,34	-5,8	0,316	-5	0,326	-5,5	0,313	-8	0,344	-4,5	0,3	-9	0,318	-4,5
	0,361		0,332		0,345		0,341		0,36		0,329		0,333	
2,0	0,292	-5,8	0,267	-5	0,278	-5,4	0,269	-7	0,298	-4,2	0,265	-7,6	0,273	-6,8
	0,31		0,281		0,294		0,29		0,311		0,287		0,293	
3,5	0,205	-6,4	0,18	-5,8	0,187	-6	0,182	-6	0,207	-4,2	0,183	-6,1	0,188	-6
	0,219		0,191		0,199		0,195		0,216		0,195		0,2	
4,0	0,188	-6,5	0,162	-5,8	0,168	-6,2	0,164	-6	0,187	-4,6	0,164	-7	0,17	-6,1
	0,201		0,172		0,179		0,175		0,196		0,176		0,181	

Literatura:

- [1] McGoy, R. L.: MC DRAG -A Computer program for estimating the DRAG coefficients of projectiles, Ballistic Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD ARBRL-TR-02293, 1981.
- [2] Etkin, B.: Dynamics of flight, Wiley, New York, 1959.
- [3] **: 15th International symposium on ballistics, Zbornik radova, Jerusalem-Israel, May 21-24, 1985.
- [4] Janković, S.: CAD of the unguided missiles, 11th International Symposium on Ballistics, Brussels, May 09-11, 1989.
- [5] Regodić, D., Perme, B.: Određivanje aerodinamičkih karakteristika projektila pri različitim napadnim uglovima, XXII Jugoslovenski kongres teorijske i primenjene mehanike, Vrnjačka Banja, 1997.
- [6] Regodić, D.: Aerodinamika rotacionog tela, VTA, Beograd, 1994.
- [7] Regodić, D., Vučković, S.: Ispitivanje etalon modela hipotetičkog projektila 122 mm u superpersoničnom aerotunelu T-36, Međunarodni naučno-stručni skup Vazduhoplovstva, Aerodinamika i projektovanje, Zbornik radova, Beograd, 1995.
- [8] Regodić, D., Bojanić, Z.: Uticaj dimenzija i oblika projektila na domet, VTC 3-4, 1994.

Dr Dragan Lazarević,
pukovnik, dipl. inž.
Uprava za snabdevanje SMO,
Beograd
Mr Zoran Popović,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

REŽIMI OPTEREĆENJA POGONSKOG TOČKA GUSENIČNOG VOZILA

UDC: 621.86.033:629.115.8

Rezime:

Parametre režima, opterećenja pogonskog točka guseničnog vozila (broj obrtaja i obrtni moment) u realnim eksploatacionim uslovima moguće je relativno lako snimiti postojećom mernom opremom. Uz uvažavanje prosečnih uslova eksploatacije brzohodnih guseničnih vozila snimljene podatke je moguće, korišćenjem standardnih ili za to posebno razvijenih programa, pripremiti i prezentirati u vidu oscilograma ili histograma radi odgovarajuće analize i potreba proračuna. S obzirom na to da, zbog kompaktnosti konstrukcije transmisije te vrste vozila parametre režima opterećenja nije moguće snimiti direktno, moguće je parametre snimljene na pogonskom točku, uz poznavanje kinematske šeme, koristiti za proračun elemenata, sklopova i uređaja transmisije.

Ključne reči: pogonski točak, transmisija, obrtni momenat, broj obrtaja, histogram.

LOAD CONDITIONS OF THE TRACKED VEHICLE DRIVING WHEEL

Summary:

Parameters of the load conditions of the tracked vehicle driving wheel (number of revolutions and torque) in real service conditions are relatively simple to measure using the existing measuring equipment. Taking into account the average service conditions of fast tracked vehicles, it is possible to prepare and represent the measured data using standard or specially developed programs in the form of oscilograms or histograms for appropriate analyses and calculations. Because of the compact construction of the transmission of tracked vehicles, it is not possible to measure its load conditions directly on it, but it is possible, with the knowledge of the kinematic scheme, to use data measured on the driving wheel for calculations of elements, assemblies and transmission devices.

Key words: driving wheel, transmission, torque, number of revolutions, histogram.

Uvod

Transmisije guseničnih vozila bitno se razlikuju po konstrukciji od transmisija vozila točkaša. Kod transmisija guseničnih vozila sve funkcije se najčešće objedinjavaju u okviru jednog sklopa, kinematski posebno razrađenog koji se naziva transmisijom u

bloku (TUB). Analizom kinematske veze pojedinih delova, podsklopova i uređaja, dolazi se do zaključka da transmisija obavlja sve funkcije kretanja, kočenja i zaustavljanja vozila. Parametri pogona vozila, od transmisije na podlogu, prenose se posredstvom pogonskih točkova i gusenica.

Merenje parametara na pogonskom točku

Pogonski točak na guseničnim vozilima ima takav položaj da omogućava postavljanje odgovarajućih davača za snimanje parametara režima opterećenja. Izmereni parametri lako se mogu preračunavanjem, uz poznavanje ulaznih parametara u transmisiju, koristiti za određivanje režima opterećenja pojedinih elemenata i sklopova transmisije. To je veoma važno pošto konstrukcija transmisije guseničnih vozila, zbog svoje homogenosti, najčešće ne omogućava direktno postavljanje davača za snimanje parametara režima opterećenja.

Utvrđivanje režima opterećenja svakog dela, podsklopa i uređaja guseničnog, pa i drugih vozila, veoma je

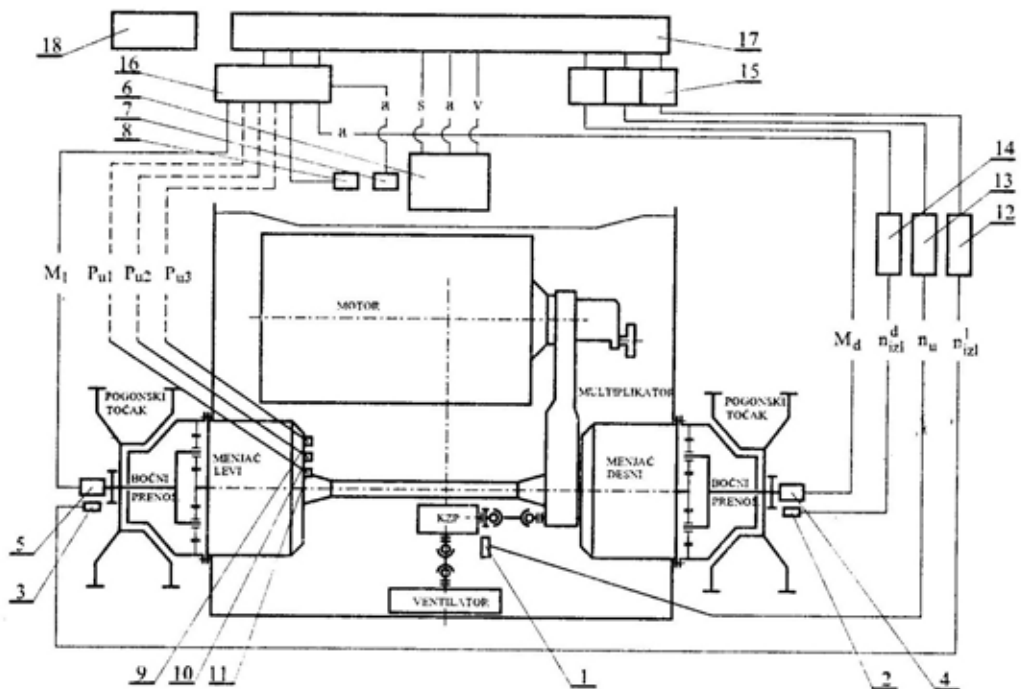
važno za sve proračune, pa se njihovom utvrđivanju mora posvetiti posebna pažnja. Na pogonskim točkovima (levom i desnom) može se snimiti:

- broj obrtaja pogonskog točka,
- obrtni moment.

Snimanje ovih parametara obavlja se pomoću davača, odgovarajućih uređaja za prenos, kalibraciju i pojačanje signala i instrumenata koji beleže promenu signala, a povezuju se u merni lanac.

Primer mernog lanca formiranog za merenje parametara režima opterećenja transmisije brzohodnog guseničnog vozila (BGV) prikazan je na slici 1 [2].

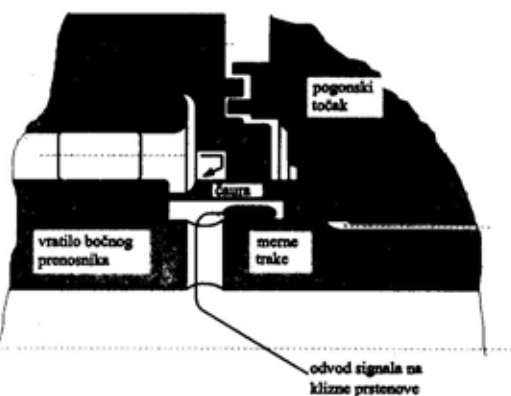
Na slici 2 prikazan je način postavljanja mernih traka na vratilu po-



Sl. 1 — Merni lanac za merenje parametara režima opterećenja transmisije BGV:

1, 2, 3 — magnetni davači impulsa, 4, 5 — klizni prstenovi SK 6, 6 — stabilna platforma K 212-2B, 7, 8 — davači ubrzanja B-12, 9, 10, 11 — davači pritiska, 12, 13, 14 — pojačavači impulsa DV 2556, 15 — konvertorske jedinice, 16 — pojačivači KWS 3073, 17, magnetofon HP 3968A, 18 — instrument za merenje temperature

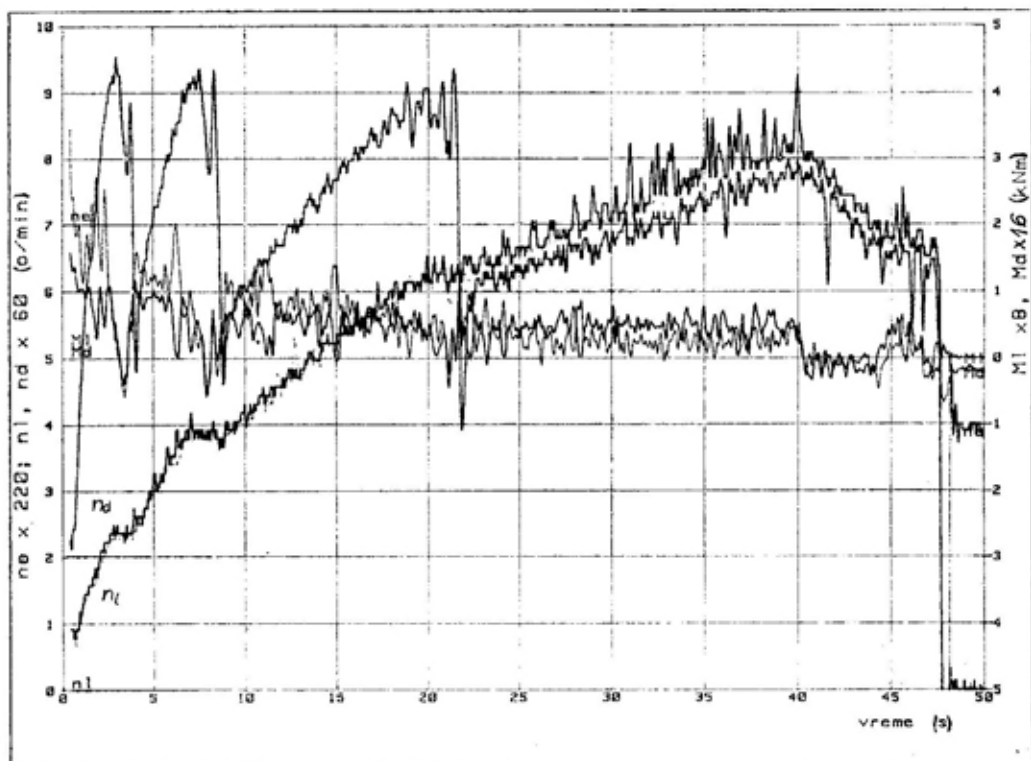
gonskog točka BGV radi snimanja parametara režima opterećenja.



Sl. 2 — Postavljanje merne trake na vratilo pogonskog točka

Ovako organizovanim merenjem dobijaju se zapisi podataka koji se obradom mogu prevesti u oscilogramе. Oni prikazuju promenu snimljenih parametara u određenom vremenskom intervalu. Na osnovu snimljenih podataka za broj obrtaja i obrtne momente realizovane na pogonskim točkovima, uz poznavanje podataka o broju obrtaja i obrtnom momentu realizovanom na ulasku u transmisiju, može se proračunati svaki element transmisije. Primer tako dobijenog oscilograma prikazan je na slici 3.

Na osnovu tih podataka, uz uvažavanje prosečnih uslova eksploatacije BGV [3], obrađuju se dobijeni podaci — signali. Da bi se podaci obradili mora se prethodno izvršiti provera snimljenih signala (provera stacionarnosti i ergodičnosti).



Sl. 3 — Oscilogram urađen na osnovu eksperimenta 6 (ubrzanje vozila)

Priprema podataka za obradu

Snimljene podatke parametara režima opterećenja, u vidu odgovarajućih električnih veličina, treba klasirati prema nivou napona signala po unapred definisanim intervalima. Pre početka obrade utvrđeno je da je napon signala svih mernih veličina bio u intervalu od -10 V do $+10$ V. U odnosu na tačnost očitavanja digitalnog voltmetra, određena je veličina intervala klasifikacije od ukupno 200 intervala. Postupak klasifikacije, koji je programski izvršavan u realnom vremenu, podrazumevao je brojanje koliko puta se izmereni naponski signal našao u okviru određenog intervala klasifikacije (šematizacija metodom preseka [4]). Svi ovi podaci preneti su na disketu i korišćeni za izračunavanje učestanosti pojava i izradu histograma raspodele učestanosti, kao konačnih rezultata obrade.

Tokom ispitivanja pojavljivao se problem »pomeranja nule« pri merenju momenta vuče, kao i problem promene prelaznog otpora zbog povećanja temperature u motorno-transmisionom prostoru. Problemi su rešavani intervencijama na BGV ili pri obradi snimljenog materijala (izradom posebnog potprograma).

Rezultati obrade podataka snimljenih istraživanjem režima opterećenja u realnim eksploatacionim uslovima

Kao rezultat obrade signala snimljenih u realnim eksploatacionim uslovima, za svaku neprekidnu vožnju, dobijeni su histogrami raspodele učestanosti merenih veličina. Završetkom kompletnog postupka obrade, uz pomoć elektronskog računara i odgovarajućeg programa, urađeni su histogrami svakog parametra izabranih merenih veličina. Primer urađenih histo-

grama, sa podacima o broju obrtaja motora i pogonskih točkova za po 4 eksperimenta, prikazani su na slikama 4, 5 i 6. Histogrami su urađeni tako da se vrednost obrtnog momenta i broja obrtaja, sa odgovarajućom učestanosti, može dovoljno tačno očitati, radi dobijanja što kvalitetnijih podataka za kasniju obradu. U tabeli 1 dat je pregled verovatnosnih karakteristika empirijskih raspodela svih mernih veličina za odabrane eksperimente.

Histogrami su testirani na normalnu i Vejbulovu raspodelu. Testiranja su, uglavnom, pokazala nesaglasnost dobijenih empirijskih raspodela sa normalnom raspodelom. Kada je u pitanju Vejbulova raspodela pojedini histogrami su pokazali izvesnu podudarnost, dok vrlo mali broj histograma podleže nekoj analitičkoj raspodeli. Zbog karaktera eksperimenata, kod svakog se, u suštini, uočavaju dve raspodele. Radi toga su histogrami pojedinačnih eksperimenata razmatrani samo sa stanovišta učestanosti pojave određenih vrednosti konkretnih parametara. Inače, ako se po χ^2 testu proverava normalna raspodela, preporučuje se da se ne uzima više od 20 klasa. To, za vrednosti obrtnog momenta i broja obrtaja, ne predstavlja vredan parametar, jer bi dijapazon obrtnog momenta bio isuviše širok. Kada se uradi zbirni histogram (od prosečnih terena) on se testira na sve raspodele i odredi kojoj analitičkoj raspodeli je najpribližiji.

Histogrami broja obrtaja na ulasku u transmisiju

Na slici 4 prikazani su histogrami broja obrtaja motora četiri odabrana snimka (analogno su obrađeni i ostali snimci). Njihovom analizom dolazi se do značajnih podataka o opterećenju motora, a analogno i transmisije kao celine.

Mereni paramet.	Statistički parametar	Eksperiment broj									
		6	26	41	43	306	410	423	22		
n	Max. vrednost (min ⁻¹)	2100	2200	2080	2040	2030	2020	1994	1950		
	Max. učestanost	67	250	324	388	100	109	510	105		
	Vrednost pri max. učestan. (min ⁻¹)	1480	1410	1950	1980	1960	1540	1550	1650		
	Matematičko očekivanje (min ⁻¹)	1527,3	1506,1	1820,3	1602,9	141,6	1689,3	1942,9	1510		
n ₁	Standardna devijacija (min ⁻¹)	331,6	168,6	360,1	472,8	212,2	190,6	24,3	170,7		
	Max. vrednost (min ⁻¹)	560	250	150	93,8	376	738	625	360		
	Max. učestanost	60	320	355	735	198	195	560	160		
	Vrednost pri max. učestan. (min ⁻¹)	480	142	87	1	227	290	555	275		
n ₂	Matematičko očekivanje (min ⁻¹)	338,4	158,8	105,4	10,2	259,8	325,9	559,1	294,8		
	Standardna devijacija (min ⁻¹)	134,9	28,3	32,3	19,2	48,9	27,4	12,1	23,9		
	Max. vrednost (min ⁻¹)	500	232	144	95	375	365,5	579	390		
	Max. učestanost	60	440	422	615	180	170	725	155		
n ₃	Vrednost pri max. učestan. (min ⁻¹)	400	163	89	88,5	204	345,5	552	245		
	Matematičko očekivanje (min ⁻¹)	331,3	172,1	101,3	59,4	253,1	322,5	550,9	297,8		
	Standardna devijacija (min ⁻¹)	135,3	22,5	37,7	39,0	55,9	25,8	5,6	33,9		
	Max. vredn. mom. vuče (daNm)	3850	130	3600	2350	1570	1625	390	310		
M ₁	Max. vred. mom. koč. (daNm)	-550	-2640	-3800	-4000		-1490	-170	190		
	Max. učestanost MV*	57	26	42,9	11,5	246	36	121	45		
	Max. učestanost MK**	19	61	60,4	130	1500	24	65	28		
	Vred. pri max. učest. MV (daNm)	180	20	2460	500	600	600	100	30		
M ₂	Vred. pri max. učest. MK (daNm)	50	-1280	-1260	-2100		-170	-25	15		
	Matematičko očekivanje (daNm)	377,8	-679,8	579,3	-1212,7	1421,8	466,4	90,4	751,9		
	Standardna devijacija (daNm)	468,4	769,9	1804,8	1284,7	87,9	472,7	106,9	828,9		
	Max. vredn. mom. vuče (daNm)	2560	3360	3100	3260	1740	1640	1090	310		
M ₃	Max. vred. mom. koč. (daNm)	-800	-1300	-1660	-700	-1640	-1400	-540	220		
	Max. učestanost MV	110	66	55	58	21	61	123	32		
	Max. učestanost MK	38	10	52	160	63	42,5	-1,8	38		
	Vred. pri max. učest. MV (daNm)	760	2340	2680	2000	1040	750	220	60		
M ₄	Vred. pri max. učest. MK (daNm)	-280	-600	-1040	-280	-800	-120	-110	136		
	Matematičko očekivanje (daNm)	315,1	832,5	322,4	658,9	-179,9	138,9	117,1	-184,9		
	Standardna devijacija (daNm)	266,7	510,4	893,4	545,1	392,7	284,8	138,6	568,5		

* MV — moment vuče,

** MK — moment kočenja.

Iz histograma za eksperiment broj 6 (postupak ubrzavanja vozila) vidi se da je najveća učestanost broja obrtaja između 1400 i 2050 min^{-1} i da je gustina te raspodele kompaktna. Najveća učestanost broja obrtaja (73 pojave) iznosi oko 1500 i oko 1900 min^{-1} , gde je učestanost pojave 55, što se i očekivalo, imajući u vidu da je vozilo ubrzavano.

Kod eksperimenta broj 22 (vožnja na pravcu uz izvođenje blagog zaokreta po $R=40$ m), motor je radio u di-japazonu broja obrtaja od 900 do 1950 min^{-1} , sa najvećom učestanošću (210 pojava) broja obrtaja oko 1650 min^{-1} i oko 1450 min^{-1} , sa učestanošću od oko 200 pojava. Dakle, najveća učestanost broja obrtaja bila je od 1400 do 1700 min^{-1} . To je područje rada oko maksimalne vrednosti obrtnog momenta, što se, imajući u vidu težinu eksperimenta, i očekivalo.

Kod eksperimenta broj 26 (zaokret u levu stranu u III stepenu prenosa), najveća učestanost broja obrtaja bila je oko vrednosti maksimalnog obrtnog momenta (1450 min^{-1}), gde je evidentirana učestanost od 250 pojava, što se i očekivalo jer su tada najveći otpori kretanju (zaokretu). Levo i desno od te vrednosti učestanost je daleko manja — naglo opada.

U eksperimentu broj 41 (izvođenje »osmice«), broj obrtaja bio je na režimu maksimalne snage (oko 2000 min^{-1}), a najveća učestanost (310 pojava) zabeležena je kod 1980 min^{-1} . Eksperiment je izvođen u II stepenu prenosa. Vrlo mala učestanost pojave ostalih brojeva obrtaja je levo od te vrednosti, a pojavljuju se sa približno jednakom učestanošću sve do minimalnog broja obrtaja.

Standardna devijacija (srednje kvadratno odstupanje), kao mera rasipanja vrednosti neke slučajne veličine oko njene srednje vrednosti (matematičkog očekivanja), kod broja o-

brtaja na ulasku u transmisiju (tabela 1) je ujednačena u skoro svim neprekidnim vožnjama, i kreće se u granicama od 24 do 472 min^{-1} .

Histogrami broja obrtaja pogonskih točkova

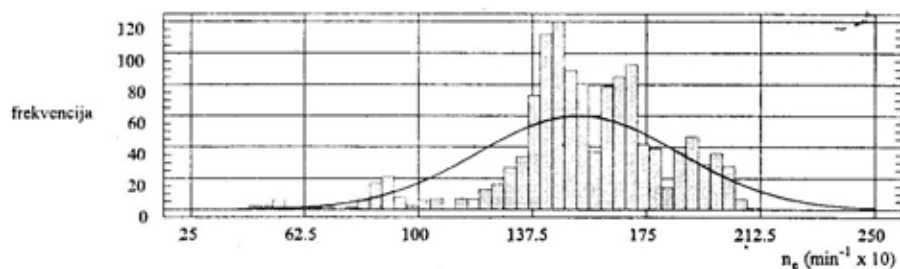
Na slikama 5 i 6 prikazani su histogrami broja obrtaja levog i desnog pogonskog točka, pošto je snimanje tih parametara obavljano posebno, zbog praćenja ponašanja svakog pogonskog točka. Za analizu nije bitno da li se eksperiment obavljao oko levog ili desnog pogonskog točka, već kakav to uticaj ima na opterećenje transmisije u celini.

Pri izvođenju eksperimenta br. 6 iz histograma vidi se da je učestanost broja obrtaja pogonskih točkova oko nule bila dosta velika, što je posledica uključivanja magnetnog pisača pre pokretanja BGV sa mesta i isključivanja tek nakon zaustavljanja vozila. Najveća učestanost broja obrtaja (30 do 60 pojava) zabeležena je od 360 do 520 min^{-1} , što odgovara brzini vozila od 12,5 do 18,1 m/s.

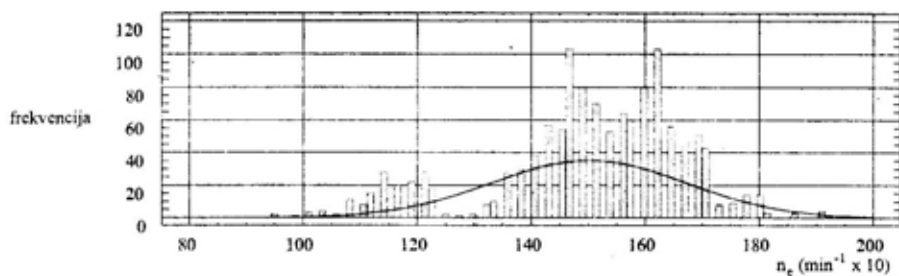
Pri izvođenju eksperimenta br. 22 velika učestanost broja obrtaja pogonskog točka zastupljena je od 220 do 350 min^{-1} , što odgovara brzini kretanja BGV od 7,7 do 12,2 m/s. Najveća učestanost brojeva obrtaja levog pogonskog točka (160 pojava) bila je pri 275 min^{-1} , dok je kod desnog pogonskog točka to bilo pri 245 min^{-1} , sa učestanošću od 155 pojava. Može se zaključiti da se pri ovom eksperimentu blagi zaokret odvijao u desnu stranu (gde je i manja srednja vrednost broja obrtaja pogonskog točka).

Pri izvođenju eksperimenta br. 26 uočljiva je približno ista učestanost broja obrtaja pogonskih točkova. Kod levog pogonskog točka to je 142 min^{-1} , gde je zabeležena učestanost od 320

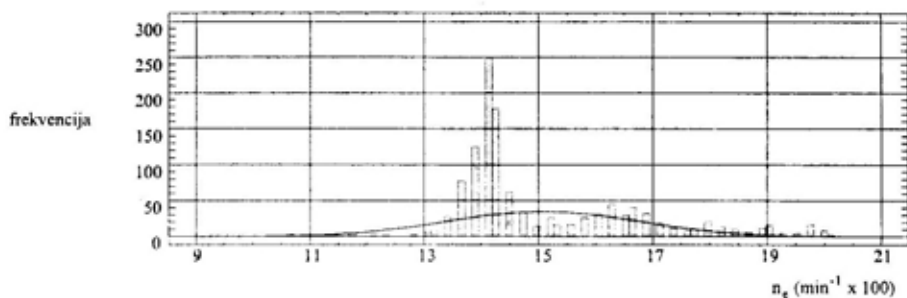
Ekperiment broj 6



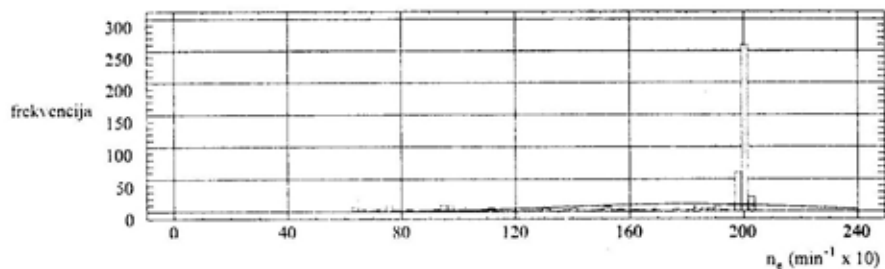
Ekperiment broj 22



Ekperiment broj 26



Ekperiment broj 41



Sl. 4 — Histogrami broja obrtaja na ulasku u transmisiju (broj obrtaja motora)

pojava, a kod desnog pogonskog točka 163 min^{-1} , sa učestanošću od 440 pojava.

Do slične pojave došlo je i kod eksperimenta br. 41 gde se, zbog karaktera kretanja (»osmice«), pojavljuju dva karakteristična broja obrtaja pogonskih točkova, sa jako velikom učestanošću. Standardna devijacija u svim eksperimentima na oba pogonska točka dosta je ujednačena i kreće se u granicama od 5 do 135 min^{-1} .

Histogrami obrtnog momenta pogonskih točkova

Na slikama 7 i 8 prikazani su histogrami obrtnog momenta na levom i desnom pogonskom točku.

Kod eksperimenta br. 6 histogrami imaju približno jednak karakter, što se i očekivalo. Međutim, analizom izračunatih verovatnosnih parametara vidi se da je srednja vrednost (matematičko očekivanje) veće kod levog pogonskog točka. Takva razlika nije očekivana, a njen uzrok se vidi na oscilogramu snimljenom za taj eksperiment. Krive koje pokazuju karakter promene obrtnog momenta na levom i desnom pogonskom točku znatno se razlikuju (odstupaju) tokom čitavog eksperimenta zbog korekcija pravca koje je zahtevala staza, a mogu da budu i zbog nejednakih otpora kretanju, kao i nejednakih gubitaka na levoj i desnoj strani guseničnog pokretača ili neadekvatno regulisanih (usaglašanih) menjača transmisije BGV.

Negativne vrednosti obrtnog momenta pojavile su se na oba pogonska točka, kao rezultat uticaja inercijalnih sila pri promeni stepena prenosa, pri zaustavljanju BGV i sl.

Na histogramima obrtnog momenta, dobijenim u toku eksperimenta br. 22, vidi se da je BGV veći deo vremena bilo u blagom zaokretu na desnu stranu. Obrtni momenti na pogonskim

točkovima kretali su se od -2800 do $+3100 \text{ daNm}$, što predstavlja visok nivo opterećenja. Najveća učestanost pojave obrtnog momenta (momenta vuče) na levom pogonskom točku (50 pojava) zabeležena je pri vrednosti od 300 daNm . Inače, srednja vrednost obrtnog momenta na tom pogonskom točku bila je 750 daNm . Iz histograma obrtnog momenta na levom pogonskom točku očitava se da su prisutna dva grupisanja (koja se mogu opisati sa dve posebne raspodele) učestanosti pojave određenih vrednosti obrtnih momenata (jedna u dijapazonu od -300 do $+700 \text{ daNm}$ i druga u dijapazonu od 700 do 2300 daNm). Na desnom pogonskom točku srednja vrednost obrtnog momenta bila je -1850 daNm , što predstavlja momenat kočenja. Na histogramu za taj pogonski točak takođe se jasno uočavaju dva grupisanja obrtnih momenata:

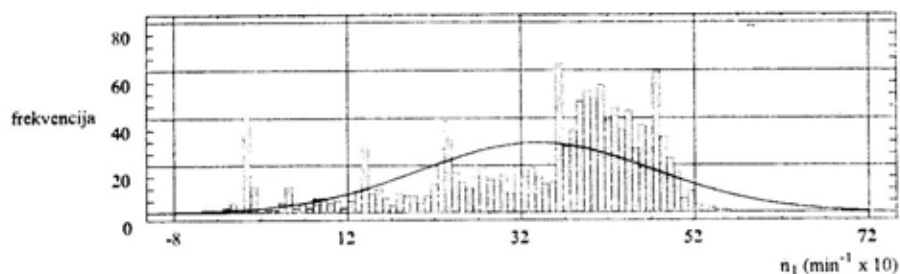
— momenta kočenja, oko vrednosti 600 daNm ;

— momenta vuče, oko vrednosti 300 daNm .

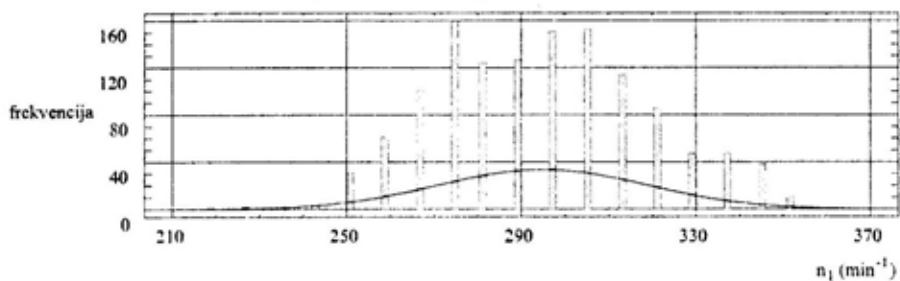
Na histogramima snimljenim pri izvođenju eksperimenta br. 26 uočava se da je obrtni moment na levom pogonskom točku imao negativnu srednju vrednost (-700 daNm), dok je obrtni moment na desnom pogonskom točku bio pozitivne srednje vrednosti (1660 daNm). Imajući u vidu da je to bio eksperiment kojim je sniman zaokret u levu stranu, navedene vrednosti su se i očekivale, s tim što su obrađeni i podaci koji su prethodili zaokretu, kao i za proces ubrzavanja vozila posle zaokreta. Najveća učestanost na desnom pogonskom točku zabeležena je za vrednost momenta vuče od 2340 daNm , a njegova maksimalna vrednost iznosila je oko 3150 daNm .

Kod eksperimenta br. 41 jasno su razdvojene distribucije obrtnog momenta na momenat vuče i momenat kočenja na oba pogonska točka. Najveća učestanost pojave (43) momenta vu-

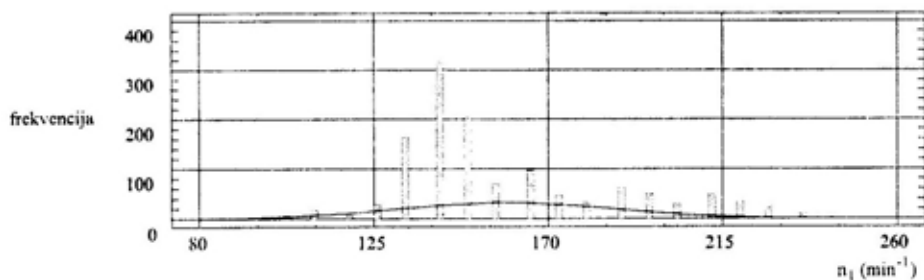
Eksperiment broj 6



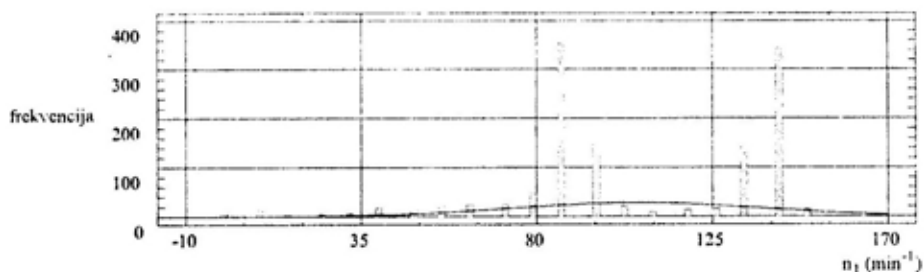
Eksperiment broj 22



Eksperiment broj 26

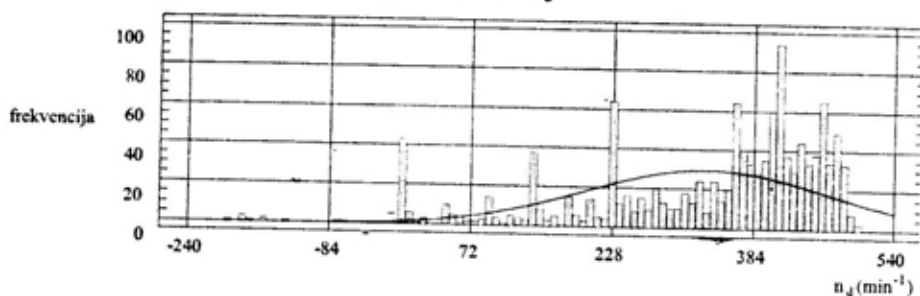


Eksperiment broj 41

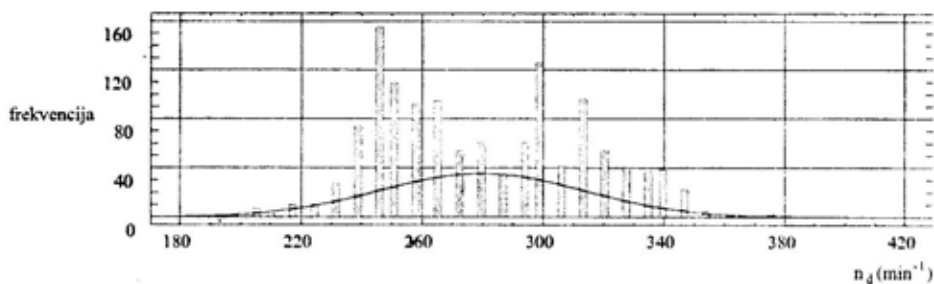


Sl. 5 — Histogrami broja obrtaja na levom pogonskom točku

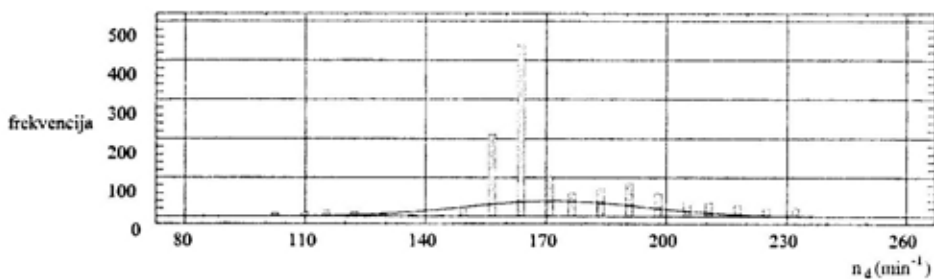
Eksperiment broj 6



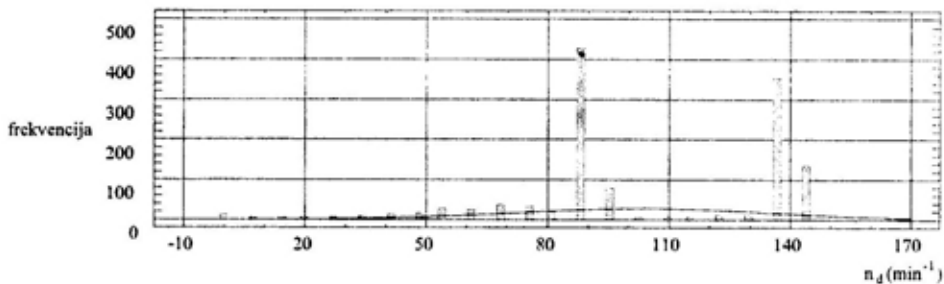
Eksperiment broj 22



Eksperiment broj 26

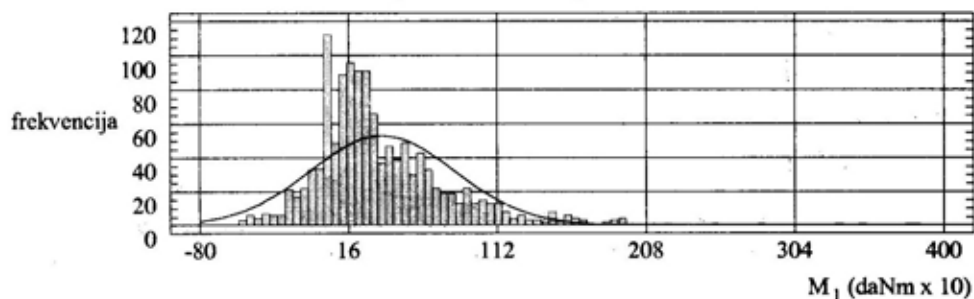


Eksperiment broj 41

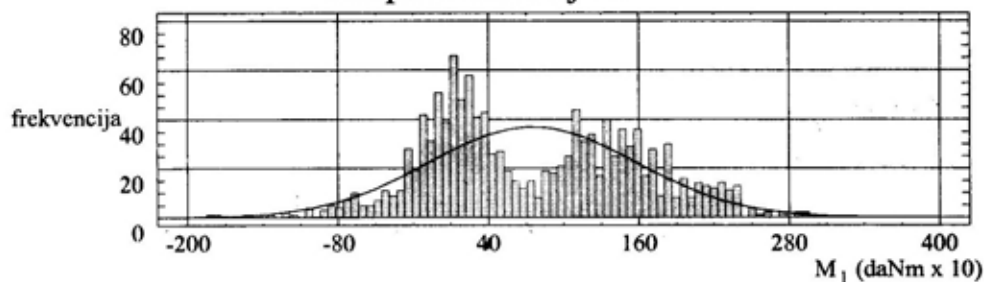


Sl. 6 — Histogrami broja obrtaja na desnom pogonskom točku

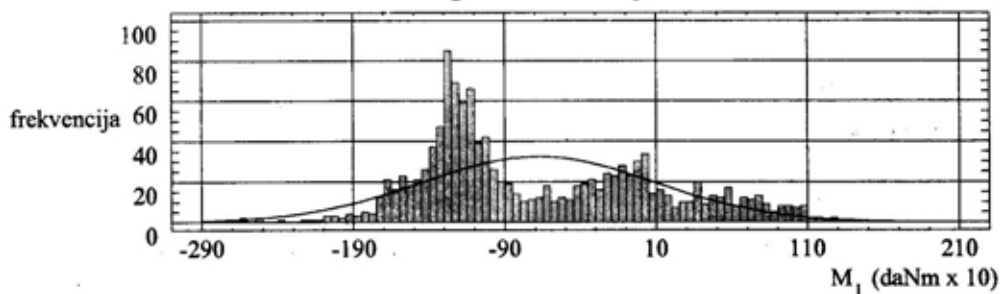
Eksperiment broj 6



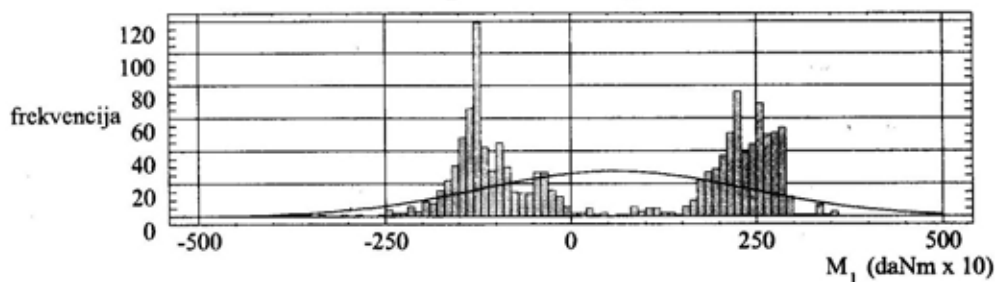
Eksperiment broj 22



Eksperiment broj 26

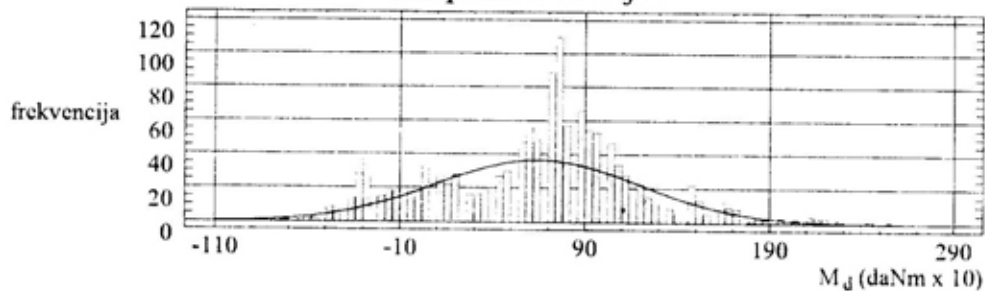


Eksperiment broj 41

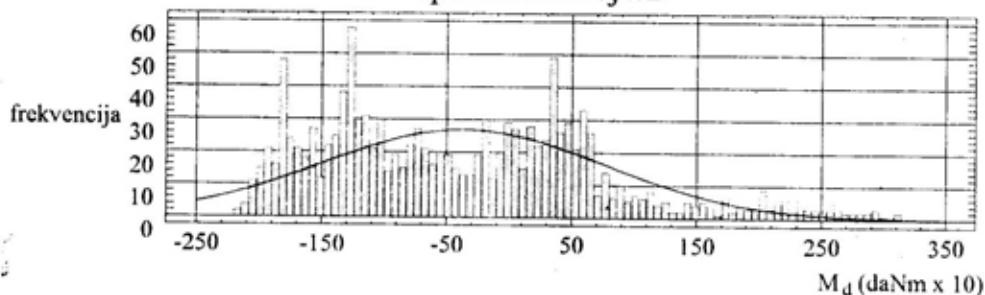


Sl. 7 — Histogrami obrtnog momenta na levom pogonskom točku

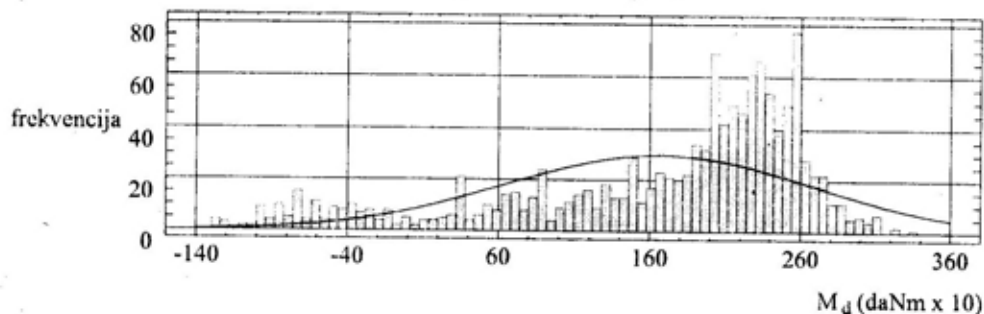
Eksperiment broj 6



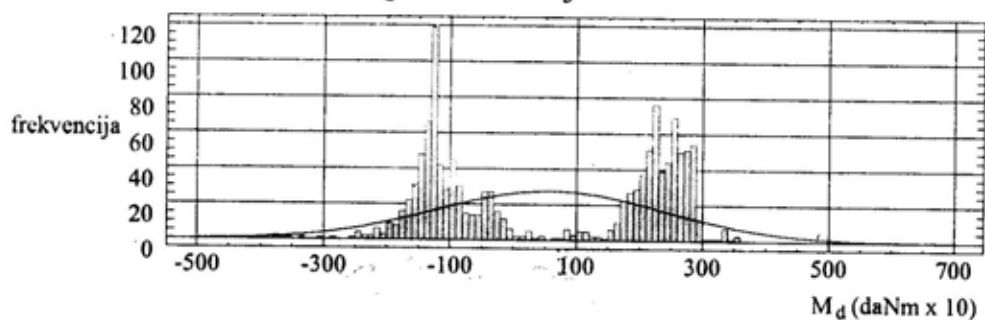
Eksperiment broj 22



Eksperiment broj 26



Eksperiment broj 41



Sl. 8 — Histogrami obrtnog momenta na desnom pogonskom točku

če na levom pogonskom točku bila je na 1750 daNm i momenta kočenja na 1400 daNm, sa učestanošću od 60 pojava. Na desnom pogonskom točku najveća učestanost pojave (55) momenta kočenja bila je na 1200 daNm. Najveća vrednost momenta vuče u ovom eksperimentu bila je 3136 daNm, a momenta kočenja oko 2800 daNm.

Na osnovu analize momenta vuče na pogonskim točkovima može se zaključiti:

— na moment vuče na pogonskim točkovima, a time i na opterećenje transmisije u celini, mali uticaj ispoljavaju makro i mikroprofil staze;

— veće vrednosti momenta vuče zabeležene su samo pri izvođenju posebnih eksperimenata i pri savlađivanju većih uspona;

— tokom svih eksperimenata maksimalni moment vuče vrlo retko se pojavljivao. Najčešće su se pojavljivali momenti vuče u vrednosti polovine maksimalno mogućeg obrtnog momenta motora, a njihova vrednost na pogonskom točku zavisila je od stepena prenosa menjača;

— standardna devijacija ujednačena je pri neprekidnim vožnjama, a njene vrednosti, za svaki eksperiment, prikazane su u tabeli 1.

Zbirni histogram istraživanja režima opterećenja transmisija BGV

Na osnovu ranijih istraživanja [6, 7] i istraživanja sprovedenih u okviru ovog rada, zaključeno je da BGV u uslovima zaokreta provode oko 30% od ukupnog vremena kretanja po terenu (procenat učešća zaokreta, u principu, zavisi od obučenosti vozača, vrste terena, tehničke ispravnosti i vrste BGV).

Podatke o vrstama terena po kojima se kreću ova vozila teško je naći u literaturi. Imajući u vidu preporuke [2] i na osnovu analize terena na kojima je obavljano snimanje, izvršen je pregled i izbor eksperimenata koji će reprezentovati vrstu terena, saglasno učešću u eksploataciji BGV u njegovom »životnom veku«.

Nakon pregleda snimljenog materijala i detaljne analize staze na kojoj je obavljeno snimanje, a imajući u vidu i rezultate istraživanja učestalosti korišćenja menjača i mehanizma za izvođenje zaokreta [6, 7], za izradu zbirnih (prosečnih) histograma za snimljene parametre vozila odabrani su podaci iz:

— histograma eksperimenta br. 423, koji reprezentuje vožnju na dobroj makadamskoj ravnoj stazi, bez uspona, sa 40% učešća,

— histograma eksperimenta br. 41 (izvođenje osmice u II stepenu prenosa), reprezentuje najteže uslove eksploatacije sa učešćem od 10%,

— histograma eksperimenta br. 410 (kretanje na usponu) reprezentuje srednje teške uslove eksploatacije, sa učešćem od 30%,

— histograma eksperimenta br. 22 (kretanje po ravnom terenu uz izvođenje blagog zaokreta po $R=40$ m), reprezentuje teške uslove eksploatacije, sa učešćem od 20%.

Prosečni uslovi eksploatacije, odnosno režimi opterećenja, potrebni su za proračune prvenstveno sa stanovišta pouzdanosti. Međutim, pri tome se mora voditi računa o maksimalnim opterećenjima transmisije u konkretnim uslovima eksploatacije, pa ako konstrukcija zadovolji treba je proveriti u

prosečnim režimima opterećenja. Mora se imati u vidu i to da svaki element može kratkotrajno da izdrži i naprezanje veće od dozvoljenog.

Dobijene empirijske raspodele pojedinih parametara opterećenja transmisija BGV pripremljene su za obradu, a nakon toga sabrane su u jednu složenu raspodelu.

Sabiranje je izvršeno po odgovarajućim snimljenim parametrima u ra-

tavanja učestanosti pojave određene veličine konkretnog parametra pomnoženog sa težinskim udelom, za svaki interval odabranog eksperimenta (njihovih histograma). Za tako urađeni histogram ponovo se testira raspodela i izračunavaju parametri distribucije. Imajući u vidu da je još pri klasiranju podataka odabran broj intervala klasifikacije za određenu merenu veličinu, moguće je uraditi preračunavanja uz pomoć elektronskog računara. To je urađeno korišćenjem programa QWATRO i STATGRAF (Statistical Graphes System).

Dobijeni histogrami za obrtni moment na levom (LPT) i desnom pogonskom točku (DPT) prikazani su na slici 9.

Verovatnosne karakteristike ovih histograma prikazane su u tabeli 2. Obrtni moment izmeren na jednom pogonskom točku predstavlja (u principu) polovinu obrtnog momenta dobijenog od motora.

Na slici 10 prikazan je zbirni histogram broja obrtaja motora koji je dobijen od ista četiri histograma prethodno navedenih eksperimenata. Uočava se da je srednji, najčešći broj obrtaja motora oko 1750 min^{-1} , a da je najveća učestanost broja obrtaja u području od maksimalnog obrtnog momenta motora do maksimalne snage. Iz prosečnih histograma obrtnog momenta, na levom i desnom pogonskom točku, vidi se najveća učestanost vrednosti obrtnog momenta u dijapazonu od -500 do $+1300 \text{ daNm}$. Izračunata srednja vrednost obrtnog momenta na levom pogonskom točku iznosi 422 daNm , a na desnom pogonskom točku 186 daNm . Maksimalna učestanost (ukupno 82 pojave) obrtnog momenta zabeležena je pri vrednosti 80 do 100 daNm .

Tabela 2

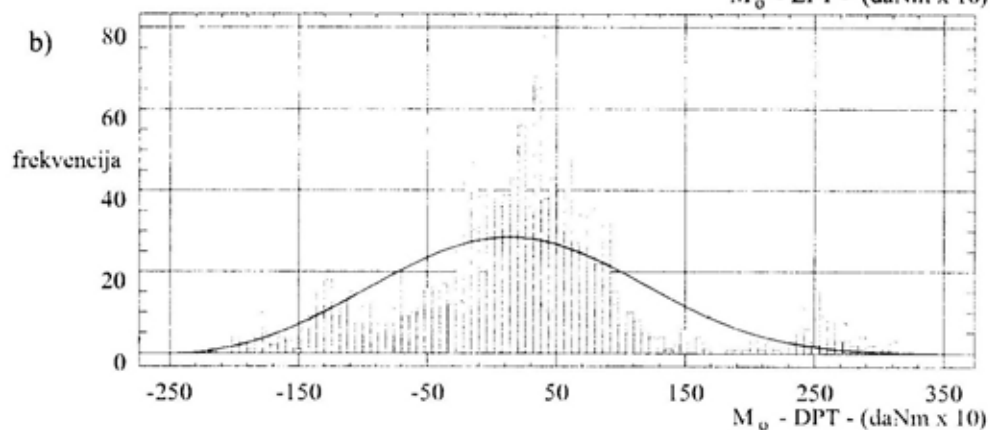
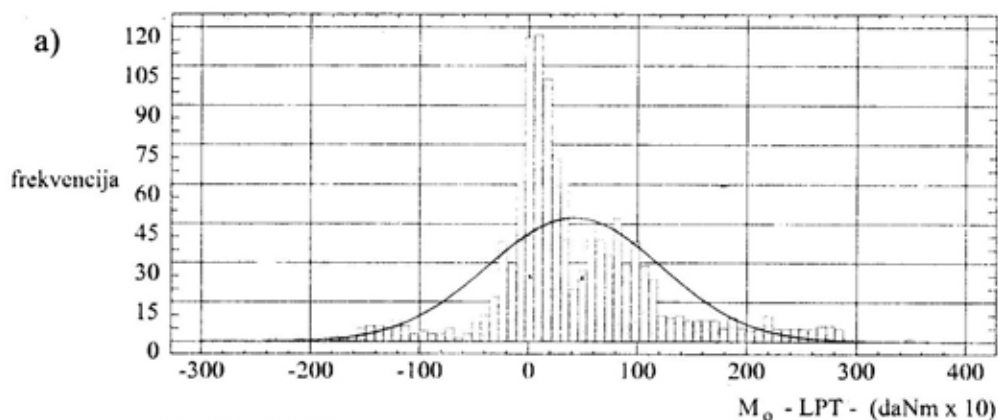
Verovatnosne karakteristike zbirnih histograma

Parametar	Mesto merenja	
	LPT	DPT
Maksimalna vrednost M_r (daNm)	3100	3136
Maksimalna vrednost M_k (daNm)	2350	2830
Maksimalna učestanost M_r	82	68
Maksimalna učestanost M_k	52	46
Vrednost pri maks. učestanosti M_r (daNm)	100	120
Vrednost pri maks. učestanosti M_k (daNm)	100	100
Matematičko očekivanje (daNm)	422,5	186
Standardna devijacija (daNm)	796,6	911
Broj step. slobode	20	20
χ^2 test*	54,23	62,54
Testirana raspodela	normalna	

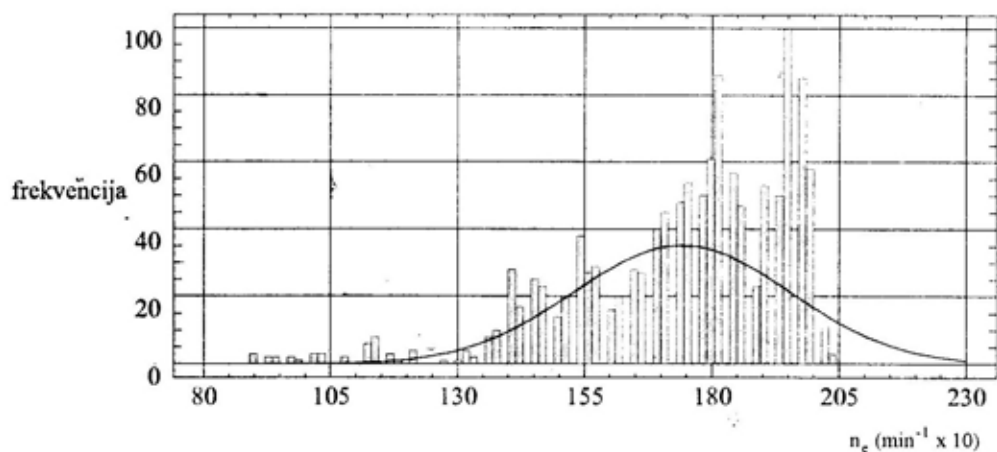
* ne zadovoljava.

znim uslovima eksploatacije i sa određenim procentom učešća.

Sabiranje više empirijskih raspodela svodi se na sabiranje broja oči-



Sl. 9 — Zbirni histogrami obrtnog momenta na:
 a) — levom pogonskom točku, b) — desnom pogonskom točku



Sl. 10 — Zbirni histogram broja obrtaja motora

Zaključak

Istraživanjima režima opterećenja pogonskog točka došlo se do podataka i rezultata na osnovu kojih se može zaključiti da:

— poznavanjem režima opterećenja pogonskog točka konstruktori transmisija BGV, imajući u vidu njihovu složenost i kompaktnost, mogu za današnje uslove i materijale da ostvare optimalnu konstrukciju. Optimalnom konstrukcijom transmisije, uz ostale nepromenjene parametre direktno se utiče na masu BGV, a time i na pokretljivost;

— režime opterećenja transmisija BGV, zbog kompaktnosti i složenosti konstrukcije, kao i mogućnosti merne opreme, najčešće nije moguće direktno

meriti na delovima, podsklopovima i uređajima transmisije, već se za to koriste, uz primenu odgovarajućih proračuna, parametri snimljeni na pogonskom točku;

— rezultati dobijeni eksperimentalnim istraživanjima mogu se koristiti kao polazni podaci za definisanje blokova programskih opterećenja u okviru mogućih ubrzanih laboratorijskih istraživanja veka trajanja, odnosno kritičnih napona odgovarajućih elemenata, podskloпова i uređaja transmisije;

— mogu poslužiti kao osnova za formiranje raspodela radnih i dobijanje kritičnih opterećenja. Na osnovu poznavanja ovih opterećenja moguće je utvrditi pouzdanost određenog elementa, podsklopa, uređaja, pa i transmisije u celini.

Literatura:

- [1] Lazarević, D.: Specifičnosti istraživanja režima opterećenja transmisija BGV, VTG br. 3/97.
- [2] Terenska ispitivanja modelskog rešenja transmisije »Vihore«, Izveštaj VTI 09-01-0086, 1989.
- [3] Dragojević, M.: O nekim savremenim tendencijama razvoja BGV, KNTI br. 9/80.
- [4] Kogaev, V. P.: Rasčety na pročnost pri napreanijah permannuh vo vremeni, Mašinstrojenija, Moskva, 1977.
- [5] Lazarević, D.: Istraživanje režima opterećenja transmisija BGV, doktorska disertacija, VTA, 1996.
- [6] Milutinović, D.: Istraživanje odnosa režima opterećenja i pouzdanosti elemenata guseničnog kretača BGV, doktorska disertacija, MF Beograd, 1986.
- [7] Lazarević, D.: Istraživanje učestanosti korišćenja sistema za zaokret kao i pojedinih stepena prenosa menjača BGV, magistarski rad, FSB Zagreb, 1982.

Mihajlo Stankić,
potpukovnik, dipl. inž.
Tehnička uprava GŠ VJ,
Beograd

PRIMENA METODOLOGIJE SADT PRI PROJEKTOVANJU LOKALNIH RAČUNARSKIH MREŽA

UDC: 681.324.001.573

Rezime:

Revolucija na području informacione tehnologije pruža mogućnost da se o problemu projektovanja lokalne mreže raspravlja na nov način. Zahvaljujući postojanju različitih rešenja koja su dostupna na tržištu, moguće je izabrati dizajn mreže vrlo selektivno, prema zahtevima korisnika. U ovom radu predlaže se metodologija koja omogućava opisivanje odnosa zahteva korisnika i lokalne mreže koja te zahteve treba da zadovolji. Metodologija pruža kriterijume za ispravno sagledavanje velikog broja taktičko-tehničkih parametara koji se moraju uzeti u obzir pri oblikovanju lokalne mreže, a razvijena je korišćenjem tehnike strukturne analize — SADT (Structured Analysis and Design Technique).

Ključne reči: lokalne mreže, strukturna analiza, SADT, dizajn mreže, workgroups ambijent, implementacija, testiranje i održavanje, specifikacije okruženja, eksploatacioni troškovi.

SADT METHODOLOGY APPLICATION IN THE DESIGN OF LOCAL COMPUTER NETWORKS

Summary:

The revolution in the field of information technology has created the possibility to approach local network design in a new way. Owing to diverse solutions available at the market, it is possible to choose a desired network design according to users' demands. This paper presents the methodology which enables the description of the relation between users' demands and a local network which should satisfy them. The methodology offers criteria for considering a number of tactical and technical parameters which must be taken into account during local network design. It is developed by applying the SADT (Structured Analysis and Design Technique).

Key words: local networks, structured analysis, SADT, network design, workgroups ambient implementation, testing and maintenance, ambient specifications, service costs.

Uvod

Lokalna mreža — LAN (Local Area Network) jeste komunikaciono sredstvo koje pokriva ograničenu topologiju i na efektivan način međusobno povezuje različite tipove servera i radnih stanica.

Širina, odnosno obim lokalnih mreža varira od nekoliko desetina metara do nekoliko desetina kilometara, zavisno od njene arhitekture.

Ključni elementi lokalne mreže su, s jedne strane, fizički i logički mediji za prenos informacija i, s druge strane, radne stanice čiju ulogu, uglavnom,

preuzimaju personalni računari. Takvo rešenje prvenstveno je primereno manjim i srednjim organizacionim celinama, fizički koncentrisanim na ograničenom, manjem prostoru. Veće i dislocirane organizacije, po pravilu, grade i koriste više lokalnih mreža, međusobno povezanih na različite načine.

Kada se govori o lokalnim mrežama treba imati u vidu činjenicu da gotovo ništa u njihovom hardverskom i softverskom segmentu ne predstavlja autentičnu novost. Dobro je poznato kako su se personalni računari razvijali kao posebna tehnološka klasa. Njihovi operativni sistemi već su duže vreme standardizovani. Komunikaciona tehnologija već je sasvim afirmisana, a vrlo su retke aplikacije koje specifično izrastaju iz tehnologije lokalnih mreža. Čak je i elektronska pošta (e-mail) kao aplikacija kojoj danas eminentno služe lokalne mreže, bila izvorno razvijena za mreže »veliki« računarskih sistema.

Inovacije koje donosi tehnologija lokalnih mreža proizilaze iz načina fizičkog i logičkog povezivanja čvorova mreže i inženjeringa koji omogućuje efikasno iskorišćenje procesorske snage elemenata sistema u smislu brzine, jednostavnosti upotrebe, aplikativnih mogućnosti i operativnih troškova. Ovdje, svakako, spadaju i sekundarni efekti koji nastaju primenom lokalnih mreža, a ogledaju se u povećanoj pouzdanosti sistema, mogućnosti razmene podataka polivalentnog karaktera i povećanju stepena slobode pri izboru radnih stanica, odnosno procesnih elemenata mreže.

Čvorove lokalne mreže uglavnom čine računari zasnovani na CISC (complex instruction set) ili RISC (reduced instruction set) arhitekturi koje odlikuje povećana »inteligencija« i jednostavnost korisničkog interfejsa, pa je racionalno očekivati da lokalna mreža pruži znatno kvalitetniju uslugu. Konkretno, to znači da se kvalitativne funkcije, svojstvene računarima no-

ve generacije, kao što su mogućnosti objektno orijentisanih softverskih alata, mogućnosti formiranja baza podataka i baza znanja, i grafičke, odnosno multimedijalne mogućnosti, multiplikiraju njihovim umrežavanjem, što daje kao rezultat sasvim nova svojstva na sistemskom nivou. Najznačajnija među njima svakako su: ostvarivanje distribuirane organizacije obrade podataka, održavanje i povezivanje lokalnih baza podataka i baza znanja u jedinstven sistem, otvaranje i uspostavljanje veza prema većim globalnijim sistemima (Internet), kao i skraćenje vremena odziva sistema, čime se omogućuje stvarna interakcija s jednim ili više računara iz mreže.

Na današnjem stepenu razvoja lokalne mreže se najefikasnije koriste u okruženju radnih grupa (workgroups) gde su intenzivno u upotrebi različiti komunikacioni i dokumentacioni mediji, te praktikuju različite procedure pri upravljanju tim medijima. Lokalna mreža mora pružiti mogućnost integracije tih medija i procedura prema kojima se oni tretiraju kako bi se ostvarili novi kvalitativni pomaci. Zahtevi koje mora zadovoljiti lokalna mreža u ambijentu radne grupe su sledeći:

- podatke u radnim grupama neretko koristi simultano više učesnika, što zahteva mogućnost direktnog (on line) pristupa do njih;

- uvođenje novog, automatizovanog sistema za podršku odlučivanju (ASPO) mora biti pažljivo planirano, kako ne bi došlo do psiholoških i drugih otpora novoj tehnologiji;

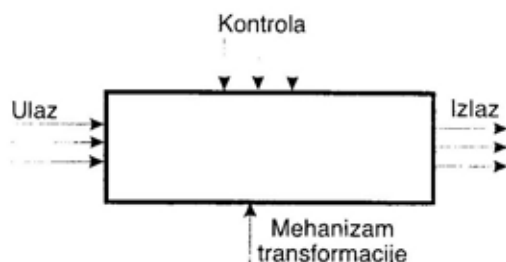
- izražena je tendencija da se u sistemima podrške odlučivanju obrada teksta i tabelarni proračuni sve više supstituišu grafičkim i video aplikacijama.

Navedeni zahtevi predstavljaju izazove na koje treba računati u daljem razvoju tehnologije lokalnih mreža namenjenih sistemima za podršku radnih grupa. Međutim, perspektive pri-

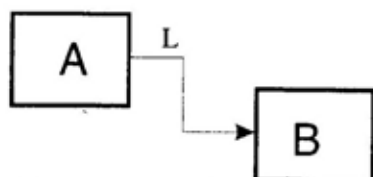
mene te tehnologije ne iscrpljuju se isključivo u navedenom okruženju. U skladu s tim sve su intenzivnija istraživanja modaliteta implementacije i eksploatacije lokalnih mreža u 'pose-

bnim' sredinama, kakvi su, recimo, vojni komandno-informacioni sistemi operativnog i taktičkog nivoa.

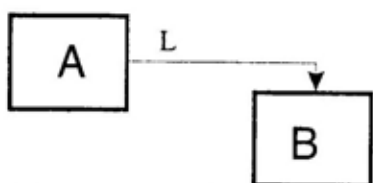
Raznolikost okruženja i složenost zahteva koji se postavljaju čini nužnim da se u potpunosti analizira usluga koju korisnik očekuje od lokalne mreže. Jedino tako može se napraviti izbor najboljih komunikacionih pod-sistema koji će zadovoljiti zahteve. U ovom radu izložena je metodologija koja omogućava opisivanje odnosa zahteva korisnika i lokalne mreže koja te zahteve treba da zadovolji. Ona pruža kriterijume za ispravno sagleda-



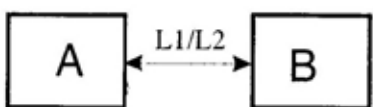
Sl. 1 — Pravougaonik strukturne analize



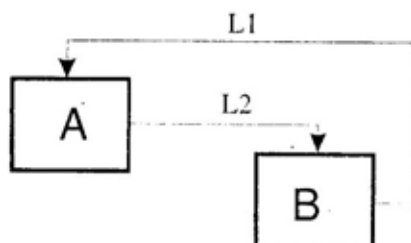
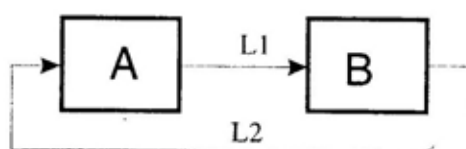
a) Izlaz prvougaonika A je ulaz pravougaonika B



b) Izlaz prvougaonika A je kontrola pravougaonika B



c) Medusobni ulaz



d) Medusobna kontrola

Sl. 2 — Procesi kontrole

vanje velikog broja taktičko-tehničkih parametara koji se moraju uzeti u obzir pri oblikovanju lokalne mreže.

Metodologija koja se predlaže razvijena je korišćenjem tehnike strukturne analize — SADT (Structured Analysis and Design Technique) koja omogućuje definisanje različitih faza oblikovanja, prema principu »odozgo prema dole«, i funkcionalnih odnosa među njima.

Tehnika SADT pokazala se kao vrlo efikasno sredstvo za opisivanje onoga »šta« korisnik želi da napravi, »gde« i »kako«. SADT je metodologija za sprovođenje funkcionalne analize i projektovanje sistema koja se sastoji od dva osnovna dela:

— strukturne analize, koja je, u stvari, grafički jezik zasnovan na analizi toka;

— tehnike projektovanja, koja predstavlja disciplinu koju treba koristiti ako se želi efikasno koristiti taj jezik.

Strukturalna analiza primenjuje se na problem izgradnje (»na papiru«) modela ili prikaza, koji izražava kompletno razumevanje problema. Metoda analize problema je tipa »odozgo prema dole«, modularna, hijerarhijska i strukturirana. Osnovna ideja je da se svaki nivo dekompozicije odozgo prema dole može izraziti sa više delova (preporuka je šest i manje) [1].

Svaki deo se predstavlja u obliku pravougona, a svaka strana pravougona ima tačno definisano značenje: ulaz, izlaz, kontrolu i mehanizam transformacije (slika 1). Pravougao-nici imaju svoj naziv i pridruženi broj, a označeni su strelicama kada se želi prikazati hijerarhijska povezanost po nivoima. U konkretnom slučaju projektovanja LAN pravougao-nici prikazuju aktivnosti, a linije sa strelicama tok informacija među njima (slika 2).

Planiranje aktivnosti na projektovanju lokalne mreže

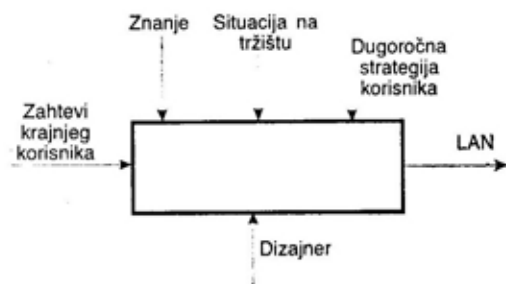
Planiranje aktivnosti projektovanja lokalne mreže (slika 3) sastoji se od četiri faze (slika 4):

— *Određivanje specifikacija*: analiza zahteva korisnika s ciljem da se odrede funkcionalne specifikacije, tehničke specifikacije i specifikacije okruženja. Projektant sprovodi ovu analizu na temelju vlastitog znanja i sagledavanja situacije na tržištu;

— *Oblikovanje*: u ovoj fazi formulišu se neke alternative projekta, zavisno od specifikacija koje su određene;

— *Izbor među alternativama projekta lokalne mreže*: izbor se mora zasnivati na faktorima koji su relevantni s aspekta korisnika;

— *Implementacija, testiranje i održavanje*.



Sl. 3 — Polazni nivo dekomponovanja sistema

Određivanje specifikacija

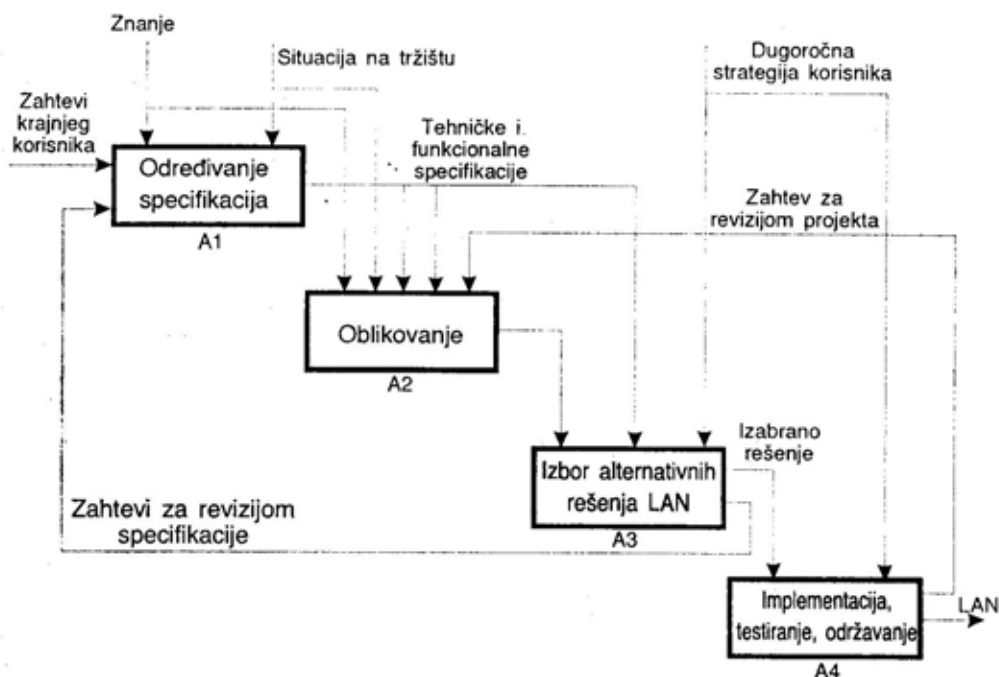
Osnova projekta lokalne mreže mora biti detaljna studija okruženja u koje će se smestiti lokalna mreža. Za ovu aktivnost karakteristični su česti kontakti sa korisnicima (slika 5), prvenstveno zbog potrebe dinamičnog modifikovanja njihovih zahteva i verifikacije zakonitosti koje nameću specifikacije. Svaka tehnika, kao što je

SADT, koja analizira zahteve korisnika, može u ovakvoj prilici biti korisna. Pri analizi funkcionalnih zahteva neophodno je jasno definisati vrstu usluge koju korisnik želi. Neke od tih usluga mogu biti:

- elektronska pošta i planer,
- obrada teksta,

projekta (tabela 1). Zbog toga je neophodno:

- korišćenje statistike za određivanje dužine, broja i učestalosti poruka;
- gruba procena globalnog ulaznog opterećenja i analiza njegove distribucije među čvorovima mreže;



Sl. 4 — Faze planiranja aktivnosti na projektovanju LAN

- informacioni sistem za podršku odlučivanju,
- prenos faksa,
- unos podataka,
- glasovna komunikacija,
- video konferencije,
- razvoj aplikacija,
- server datoteka,
- server štampe.

Svaka usluga koju korisnik želi predstavlja ulazno opterećenje za mrežu, sa svojim statističkim karakteristikama. Poznavanje karakteristika ulaznog opterećenja utiče na modalitete

- utvrđivanje maksimalnog vremena odziva koji traži korisnik (tabela 2).

Konačno, neophodno je postići željeni stepen sigurnosti i integriteta podataka. Na kraju analize funkcionalnih zahteva potrebno je u potpunosti sagledati zahteve korisnika, posebno one koji se odnose na karakterizaciju ulaznog opterećenja i vremena odziva za svaku uslugu (korišćenjem referentnih tabela ili sličnih izvora informacija) [2].

Za vreme analize zahteva okruženja neophodno je pažljivo ispitati ok-

Tabela 1

Karakteristična ulazna opterećenja

Ulazno opterećenje — mrežni servis	Vršni protok podata- ka (kb/s)	Prisut- nost op- tereće- nja (%)
Monitoring mreže, alarm sigurnosne funkcije	0,5	100
Mrežni linijski štampač	19,2	40—80
Fajl transfer	1000	10—30
E-mail servis	1000	30—40
Selekcija i agregiranje podataka za podršku odlučivanju (ASPO)	560	20—40
Procesiranje teksta	100	10—20
Unos podataka	14,4	0,5—1
Pitanja udaljenog korisnika	128	10—30
Razvoj programa	128	5—20
Laserski štampač	512	20—50
Faks - slanje/prijem	28,8	5—20
Direktna komunikaci- ja glasom	128	20—30
Memorisanje i pre- nos 'sound' datoteka	64	20—30
Video - statična slika	128	50—70
Video - nekompri- movano	40000	50—80
Video - komprimovano	1000	20—40
Grafika - nekompri- movano	256	1—10
Grafika - komprimovano	64	10—30
Skener/optički čitač	512	50—70
Mrežni prolaz - kone- kcija na druge LAN ili WAN (Wide area network)	1000	50—80

ruženje u koje će se smestiti lokalna mreža. Ova analiza mora posvetiti posebnu pažnju:

- sistemima koji već postoje;
- lokaciji zgrade (zgrada) u koju će se instalirati sistem, s detaljnim planom,

Tabela 2

Karakteristična vremena odziva prosečnog sistema

Aktivnost korisnika	Maksimal- no vreme odziva (s)
Aktiviranje (inicijalizacija) sistema	1—3
Povratne informacije o grešci	1—2
Odgovor na ID	1,0
Ulaz preko tastature	0,1
Informacija o sledećoj proceduri	1,5
Odgovor na jednostavno pitanje	0,5
Odgovor na složeno pitanje	1,0—1,5
Zahtev za sledećom transakcijom	0,1—0,5
Odgovor na zahtev tipa 'izvrši problem'	5,0
Odgovor na zahtevne multimedijalne manipulacije	0,5—1,0

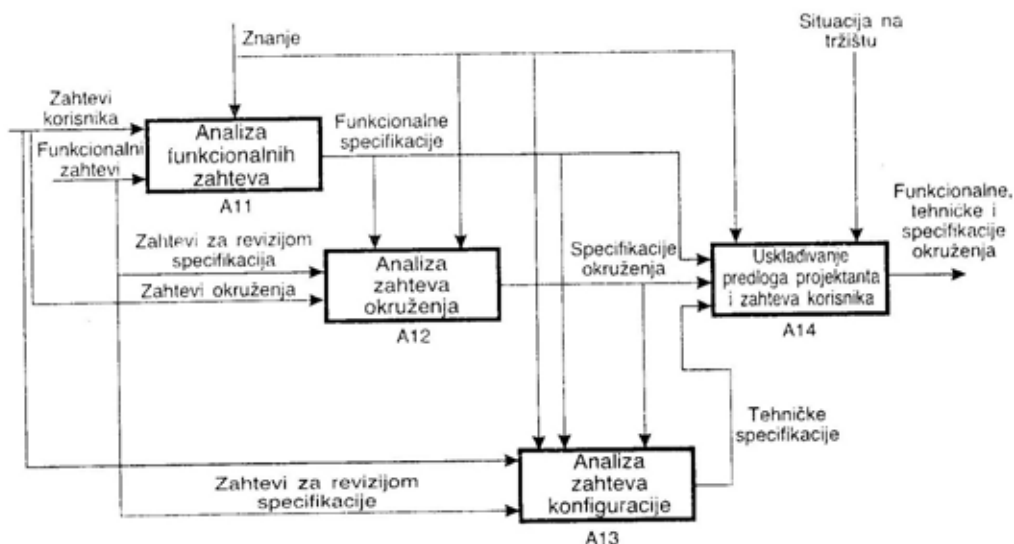
— prethodnim instalacijama (raspored, električne i tehničke karakteristike),

— tehničkom znanju korisnika.

U fazi analize potreba konfiguracije neophodno je proračunati:

- broj servera podataka,
- broj komunikacionih servera,
- broj radnih stanica,
- broj štampača.

Takve procene moraju predvideti maksimalnu konfiguraciju koja se mora instalirati u okviru predodređenog vremena.



Sl. 5 — Dekompozicija procesa određivanja specifikacija

Oblikovanje lokalne mreže

Na osnovu prethodno utvrđenih specifikacija moguće je razviti seriju alternativnih rešenja (slika 6), koja se razmatraju sa stanovišta efikasnosti i troškova softvera i hardvera. U toku faze razvoja alternativnih rešenja (slika 7) neophodno je, pre svega, izabrati odgovarajuću topologiju na osnovu funkcionalnih specifikacija i specifikacija okruženja (striktno se odnosi na izbor medija za prenos). Nakon toga, svaka od lociranih topologija mora se pridružiti metodama pristupa koje joj najviše odgovaraju. U tabelama 3 do 6 prikazane su neke od osnovnih karakteristika i međudnosa topologija (razmeštaja), metoda pristupa i korišćenih medija.

Izbor među alternativama projekta lokalne mreže

Konačno, neophodno je tačno okarakterisati sve hipoteze mreže. Prvo se mora definisati fizička konfiguracija mreže. Zbog toga je neophodno:

- locirati komponente mreže u nacrtu zgrade,
- odrediti najbolji put za prenosni medij,
- prikazati eventualne probleme vezane za električnu instalaciju zgrade.

Nadalje, postoje određeni parametri koji su od fundamentalnog značaja, a koji proizilaze iz usluga koje pruža mreža, izbora topologija i izbora metoda pristupa, kao što su:

- dužina poruka, zavisno od karakteristika registrovanog prometa određene usluge,
- dužina paketa, funkcija dužine poruke i usvojene metode pristupa,
- distribucija kanala i distribucija broja uređaja po kanalu (kod širokopojasnih sistema — ISDN, ATM),
- moguće dodeljivanje pristupa za pojedine usluge,
- određivanje veličine međumemorije (cash) kao funkcije metode pristupa, karakteristika uređaja i usluga.

Topologija	Karakteristike	Medij	Metod pristupa	Prednosti	Nedostaci
Zvezda	Složenost korisničkog interfejsa — NISKA Mogućnost proširenja — UMERENA Fleksibilnost — NISKA Pouzdanost — VISOKA	Upredena parica (UTP, STP), Optički kabl		Jednostavnost upravljanja, Jednostavnost ožičenja, Jednostavnost proširivanja Mogućnost korišćenja jeftinih medija za prenos	Centralizovana struktura (totalna zavisnost od centralnog čvorišta)
Sabirnica/ stablo	Složenost korisničkog interfejsa — NISKA Mogućnost proširenja — VISOKA Fleksibilnost — VISOKA Pouzdanost — UMERENA	UTP, STP i bazno pojasni koaksijalni kabl za sabirnicu, Širokopolasni koaksijalni kabl za stablo	CSMA CSMA/CD* Štafetna sabirnica	Mogućnost korišćenja širokopolasne tehnike, Mogućnost dodavanja novih stanica bez prekida, Mogućnost korišćenja pasivnih komponenta	Problem balansiranja signala, Električni problemi, Problemi zajedničkog medija
Prsten	Složenost korisničkog interfejsa — NISKA Mogućnost proširenja — UMERENA Fleksibilnost — UMERENA Pouzdanost — VISOKA	UTP, STP, Baznopolasni koaksijalni kabl Optički kabl	Štafetna, Segmentirana, Umjetanje registara	Veza tačka do tačke, Lakša primena optičkih kablova	Ranjivost mreže, Problemi pri instalaciji, Poteškoće pri lociranju oštećenja

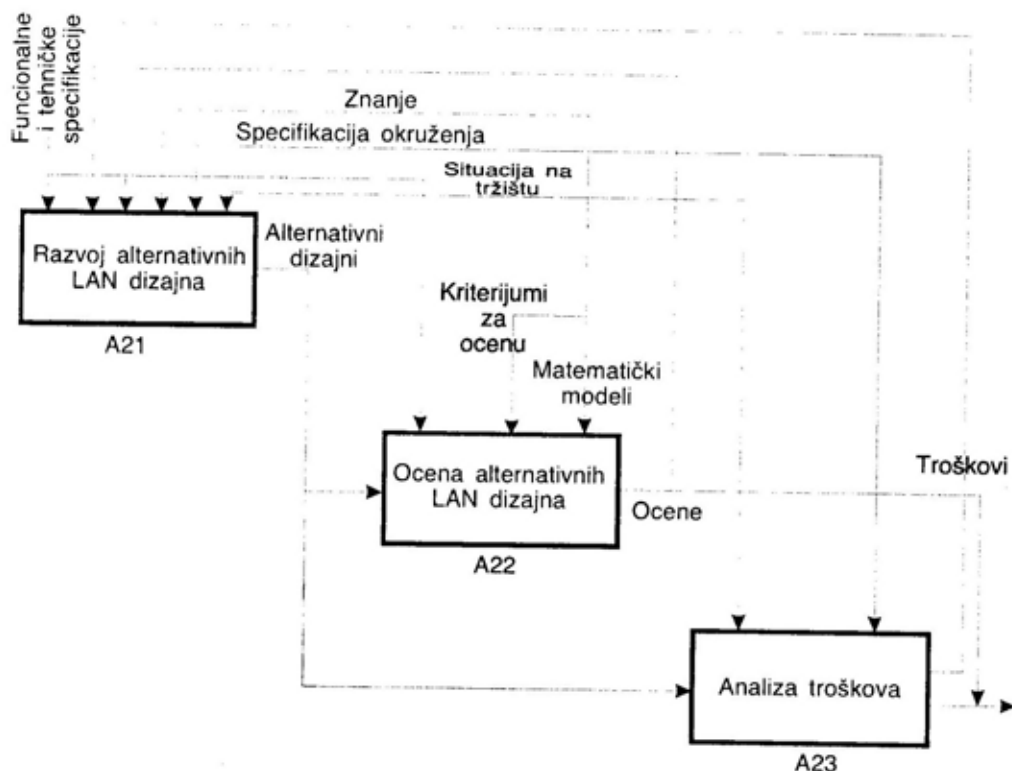
Prenosni mediji za lokalne mreže

Tabela 4

Medij	Širina kanala	Brzina prenosa (Mb/s)	Udaljenost	Topološka postojanost	Lakoća instaliranja	Imunitet na smetnje
UTP (STP)	Niska	10—100	Niska	Visoka	Umerena	Niska
Baznopolasni koaksijalni kabl,	Umerena	10	Umerena	Visoka	Visoka	Umerena
Širokopolasni koaksijalni kabl,	Visoka	10	Umerena	Visoka	Visoka	Visoka
Optički kabl	Visoka	100—165	Visoka	Umerena	Umerena	Vrlo visoka

Kada je gotov razvoj alternativnih rešenja, mora se pokušati predvideti ponašanje mreže u okruženju u kojem će biti smeštena. To se može

— mogućnost rasta — maksimalno moguće proširenje mreže i u njoj povezanih uređaja;



Sl. 6 — Dekompozicija procesa oblikovanja

postići korišćenjem analitičkih metoda i metoda simulacije, kao i kvalitativnim ocenama eksperata (slika 8).

U okviru standarda IEEE 802 razvijena je klasa modela koja se odnosi na karakterizaciju mreže u pojedinim OSI slojevima. Neki od tih modela na primer data server, pogodni su za merenje preopterećenja upravljanja nekim uslugama višeg nivoa.

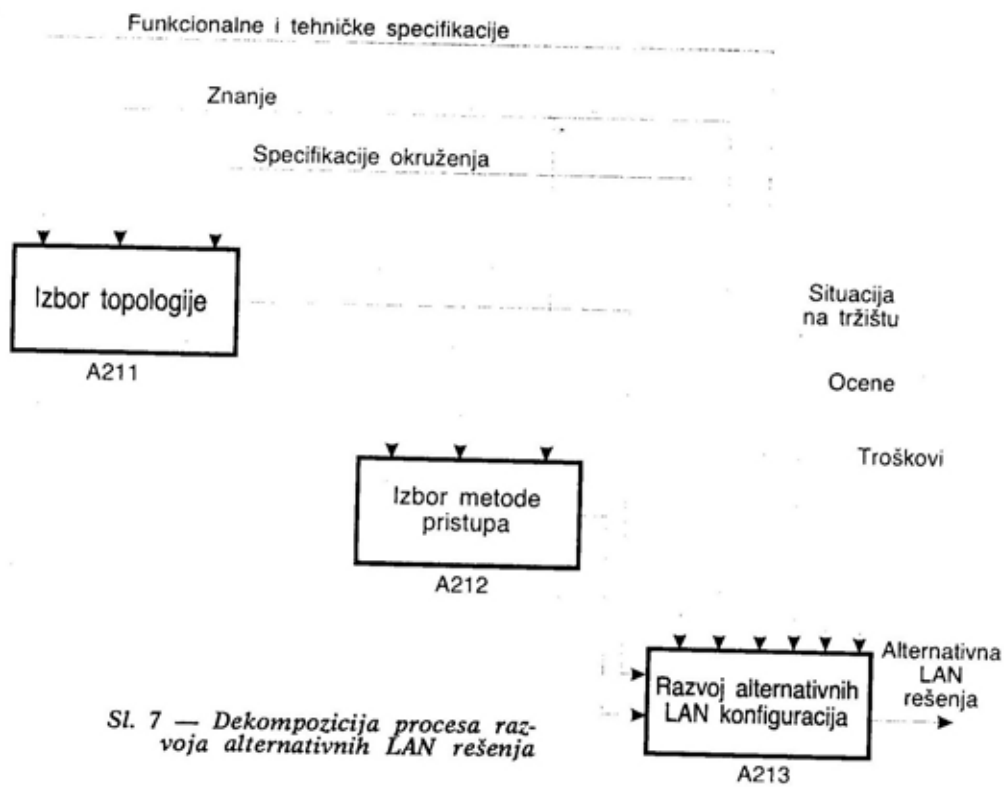
Uz parametre koje treba ispitivati pomoću sličnih modela, postoje i neki drugi, jednake važnosti i značenja, koje treba razmotriti u ovoj fazi, na primer:

— sigurnost mreže, postojanje specifičnih mogućnosti, kao što je administracija ključeva pristupa, zaštita podataka i enkripcija, i stepen sigurnosti koji nudi fizički medij;

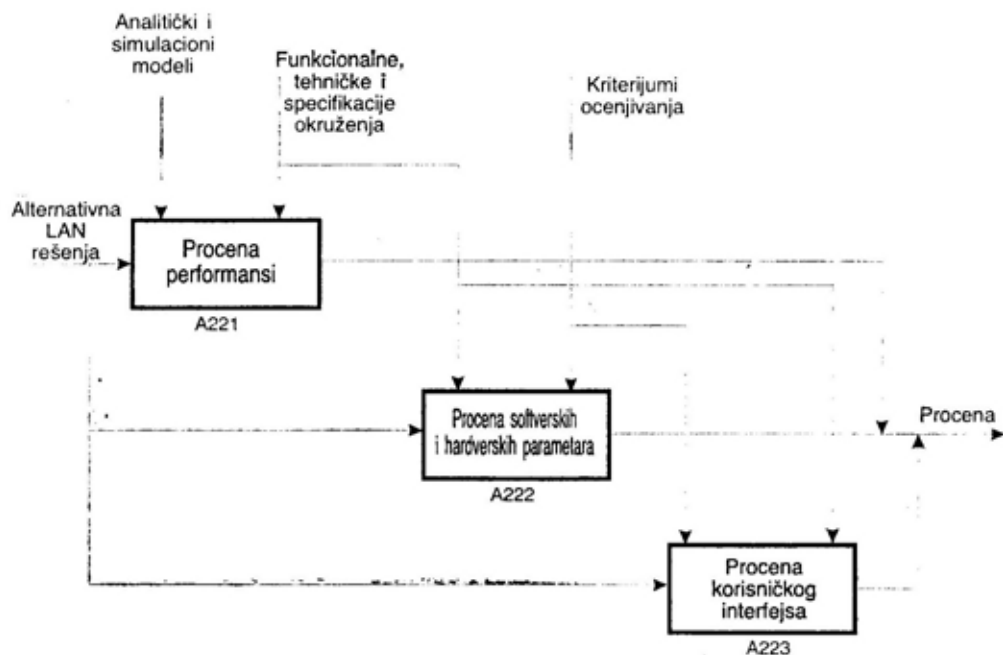
— pouzdanost — nivo pouzdanosti pojedinih uređaja i čitave mreže;

— mogućnost spajanja, znači mogućnost interkonekcije na ostale lokalne (ili rasprostranjene) mreže ili proširenje kapaciteta mreže povezivanjem heterogenih uređaja koji imaju različite funkcionalne karakteristike;

— modularnost hardvera — softvera, koja predstavlja adaptibilnost



Sl. 7 — Dekompozicija procesa razvoja alternativnih LAN rešenja



Sl. 8 — Dekompozicija procesa ocenjivanja (procenjivanja) alternativnih LAN

Metode pristupa kod topologije prstena

Karakteristike	Umetanje registara	Segmentirani prsten	Štafetni prsten
Mogućnost prenosa	Neaktivno stanje uz praznu međumemoriju	Prazan segment	Ograničavač sa slobodnim indikatorom
Odgovornost za pražnjenje okvira	Prijemnik ili predajnik	Predajni čvor	Predajni čvor
Metoda kontrole pristupa	Slučajna	Slučajna	Deterministička
Osnovna prednost	Maksimalno iskorišćenje prstena	Jednostavnost	Kontrolisan ali jednostavan pristup
Osnovni nedostatak	Mehanizam za pražnjenje	Gubici po širini pojasa	Potreban štafetni monitoring

Tabela 6

Metode pristupa kod sabirnice — stabla

Karakteristike	CSMA	Štafetna sabirnica
Pristup uslovljen Restrikcija veličine paketa	Mogućnost sudara Veća od dvostrukog kašnjenja zbog propagacije	Štafetni pristup Nema restrikcije
Metoda kontrole pristupa	Slučajna	Deterministička
Osnovna prednost	Jednostavnost	Kontrolisan — jednostavan pristup
Osnovni nedostatak	Performanse pod intenzivnim opterećenjem	Složenost kompletnog sistema

mreže tehnološki diktiranim promena-

ma;
— funkcionalna fleksibilnost, koja označava kapacitet mreže za podršku novih usluga (servisa).

Implementacija, testiranje i održavanje

Neophodno je razmotriti neke parametre povezane s interakcijom korisnik-mreža, kao što su:

— softver za upravljanje mrežom kao sredstvo korišćenja,

— nadzor i testiranje kvaliteta elemenata mrežnog sistema,

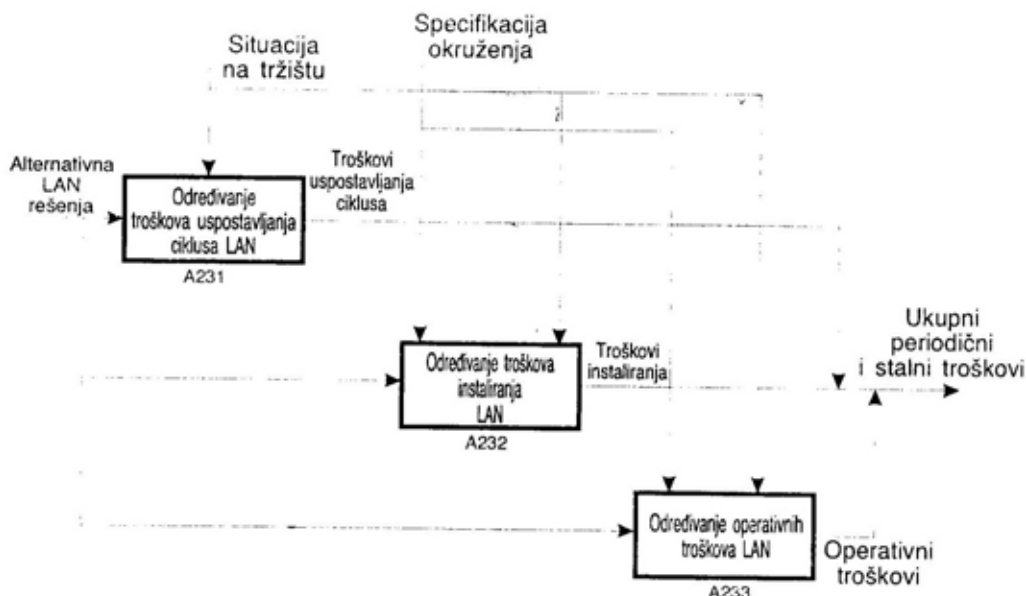
— aplikativne mogućnosti pojedinačnih usluga mreže.

Na kraju ove faze korisno je primeniti tehniku dodeljivanja koeficijentna relativne važnosti lociranim parametrima. Za svaki parametar, prema ovoj tehnici, projektant dodeljuje vrednost 1 najboljem rešenju i vrednosti manje od 1 ostalim rešenjima, tako da se može upoređivati razlika u efikasnosti.

Za vreme faze analize troškova neophodno je koristiti pažljive procene troškova (slika 9). Nakon detaljne analize tržišta moraju se precizno odrediti troškovi nabavke hardvera i softvera potrebnog za implementaciju ra-

zličitih alternativnih rešenja. U skladu s tim, moraju se utvrditi troškovi instalacije različitih rešenja, uzimajući u obzir detaljne specifikacije okruženja.

Konačno, moraju se ispitati troškovi koji proizilaze iz funkcionisanja mreže. Oni se, uglavnom, sastoje od troškova održavanja i troškova ljudskog rada.



Sl. 9 — Dekompozicija procesa analize troškova

Zaključak

Tehnološka revolucija na području informacione tehnologije pruža mogućnost da se o problemu projektovanja lokalne mreže raspravlja na nov način. U stvari, zahvaljujući postojanju različitih rešenja koja su dostupna na tržištu, moguće je izabrati dizajn mreže vrlo selektivno, prema zahtevima korisnika. Takav dizajn iziskuje, naravno, metodologiju koja omogućava iscrpno razmatranje različitog broja faktora koji utiču na izbor lokalne mreže.

Predložena je metodologija SADT koja uzima u obzir okruženje u koje se implementira mreža. Pristup »od-zgo prema dole« ukazuje na postojanje određenih faza projektovanja. To omogućuje već razvijeni skup softverskih alata koji olakšavaju projektova-

nje, posebno u slučaju velikih instalacija (npr. softver za primenu tehnike višekriterijumskog rangiranja alternativnih rešenja, procedure za ocenu optimalnih puteva za kablove u datoj topologiji, što dovodi do brže i lakše procene troškova, itd.).

Projektovanje lokalne mreže je složen proces, a jedan od najtežih zadataka je izbor rešenja koji je u mogućnosti da zadovolji funkcionalne, tehničke i specifikacije okruženja, kao i procena eksploatacionih troškova mreže.

Nakon izbora jednog od alternativnih rešenja lokalne mreže, ovaj zadatak se može provesti korišćenjem postojećih ocenjenih i prema troškovima procenjenih parametara. Iako ambicija ovog rada nije temeljna studija iznete problematike, potencirane su neke elementarne pretpostavke.

Razumnim kriterijumom čini se onaj prema kojem se izbor obavlja na osnovu alternativnih rešenja koja u jednakoj meri zadovoljavaju interese korisnika, s jednakom efektivnošću, ali s nižim troškovima. Nažalost, može se desiti da se do takvog rešenja ne dođe. U tom slučaju, može se pokušati s distribucijom nabavke celokupnog sistema kroz određeno vreme (npr. počevši od izvesnog broja stanica, hubova, svičeva i postupnim povećanjem tog broja). U ovom slučaju, od korisnika se mora tražiti da modifikuju svoje zahteve i ponovo iniciraju aktivnosti izbora novih rešenja, kompatibilnih s novim specifikacijama.

Korišćenje predložene metodologije implicira izvesne praktične prednosti. Neke od njih su:

— projektant mora imati temeljnu i rigoroznu analizu zahteva kori-

snika (to postaje važnije što je sistem koji se instalira složeniji i veći);

— metodologija mora sadržati jasnu i iscrpnu dokumentaciju o pojedinim koracima projektovanja i projekta u celini;

— moguća je jasna vizija interdisciplinarnosti zadataka projektovanja i, u skladu s tim, dodeljivanje pojedinih zadataka različitim stručnjacima.

Treba naglasiti da korišćenje ove metodologije implicira izvestan napor pri projektovanju (na primer da se razvije nekoliko alternativnih rešenja), koji je proporcionalan složenosti i veličini sistema koji se instalira. Međutim, čak i u slučaju malih i jednostavnih mreža, ova metodologija može biti vrlo korisna pri izboru efektivnih rešenja.

Literatura:

- [1] Chianese A, De Santo M.: Methodology for LAN design, Computer Communications, No. 4/86.
- [2] Mark A. Miller.: LAN troubleshooting handbook, M& T Books.
- [3] Darren L. Spohn.: Data network design, McGraw-Hill.
- [4] Scott B.: The exclusive bradner report ob bridges, Network computing, Vol. 5. No. 11, 1994.
- [5] Moving to Fast Ethernet — The Bay Networks/Intel Strategy, Intel/Bay Networks publikacija, 1996.
- [6] Stephen Morse.: The NOS report card, Network computing, Vol. 5, No. 11, 1994.
- [7] Eric Carr.: Global E-mail — Communications through SMTP, Network computing, Vol. 5, No. 12, 1994.
- [8] BaySteck 150 Series 10Base-T Hubs, Product Announcement, Bay Networks July 1997.
- [9] BaySteck 303 and 304 Ethernet Switches, Product Announcement, Bay Networks July 1997.

MODEL RASPOREDA VREMENA ZA PRIPREMANJE ISPITA STUDENATA ZASNOVAN NA FAZI LOGICI

UDC: 681.3.06:371.27.046.2/4

Rezime:

U vreme ispitnog roka studentima je problem kako rasporediti vreme za pripremanje ispita, a da se pri tome ostvare najbolji rezultati u učenju. U radu se razmatra mogućnost primene fazi (fuzzy) logike za uspešno rešavanje ovog problema. Kriterijumi za odluku o tome šta, kada i koliko učiti predstavljeni su kao fazi skupovi. Predloženo je 27 pravila zasnovanih na tri grupe fazi skupova. Osnovni parametri za modeliranje dobijeni su anketiranjem određenog broja studenata, a rezultati jasno ukazuju kada i koliko vremena treba posvetiti određenom predmetu da bi se postigli očekivani rezultati. Obrada podataka realizovana je primenom softvera koji daje mogućnost rada sa fazi parametrima.

Ključne reči: fazi logika, fazi skup, model, pripremanje ispita.

STUDENT WORKING TIME ARRANGEMENT MODEL BASED ON FUZZY LOGIC

Summary:

During examination term students have a problem how to arrange their working time to accomplish highest results in learning and in other activities. In this paper the possibility of using Fuzzy logic for succesful solving of this problem is considered. The criteria what, when and how much to learn have been presented as fuzzy sets. Twenty seven rules based on three groups of fuzzy sets were proposed. Basic modeling parameters are created by questioning a number of students. Modeling results clearly show when and how much time students must dedicate to a subject, to accomplish expected results. The software that gives possibility of working with fuzzy parameters, was used for data processing.

Key words: fuzzy logic, fuzzy set, model, preparation of examination.

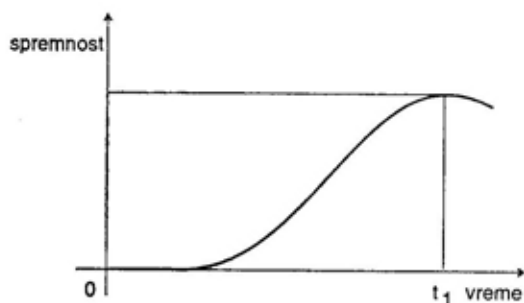
Uvod

Pri pripremanju i realizaciji zadataka za koje je planiran određeni interval vremena, neophodno je rasporediti i racionalno iskoristiti vreme pripreme kako bi se postigli što bolji rezultati. Ovakav problem javlja se pri pripremanju ispita za određene termine u ispitnom roku, a njegovo rešava-

nje u funkciji racionalnog iskorišćenja vremena za pripremu prikazano je grafikonom na slici 1.

Da bi slikovito predstavili problem navešćemo primer sportiste koji se priprema za takmičenje. On zna kada će biti takmičenje i koliko ima vremena za pripremu na raspolaganju. Trenutak u kojem je sportista najspretniji jeste tačka t_1 (silka 1) i on tre-

ba da se poklopi sa trenutkom takmičenja kako bi se ostvario najbolji rezultat. Međutim, treba primetiti da sportistu za takmičenje priprema trener, koji je, najčešće, bivši uspešan sportista i koji na osnovu svog isku-



Sl. 1 — Grafik spremnosti studenta za izvršenje zadatka u funkciji vremena za pripremu

stva vodi pripreme sportiste sa ciljem da se trenutak njegove maksimalne spremnosti poklopi sa trenutkom takmičenja.

Problem rasporeda vremena za pripremanje ispita

Rečeno je da se ovakav problem javlja i kod studenata koji pripremaju ispite. Studenti vojnih akademija moraju položiti ispite do kraja tekuće školske godine, odnosno narednu školsku godinu mogu upisati jedino ako su položili sve ispite iz prethodne školske godine. Kako sistem vojnog školstva ne dozvoljava obnavljanje godine, vreme za pripremu ispita svodi se samo na redovne ili eventualno vanredne ispitne rokove u okviru tekuće školske godine.

Iz grafikona na slici 1 može se zaključiti sledeće:

— ako student počne da priprema ispit ranije ili sa većim intenzitetom nego što to kriva pokazuje, maksimalna spremnost će se postići u tre-

nutku pre termina za ispit. To ne znači da ispit neće biti položen, ali zbog stalnog ponavljanja gradiva određene činjenice će biti zanemarene ili će se »podrazumevati da se to zna«, pa u datom trenutku student neće moći da ih se seti, tako da neće ostvariti očekivane rezultate u odnosu na vreme utrošeno za pripremu. Ono što je možda i bitnije jeste da će student utrošiti mnogo vremena, što će se negativno odraziti na pripremu drugih ispita ili neće ostati dovoljno vremena za neke druge aktivnosti;

— ako se student počne pripremati suviše kasno, on neće biti dovoljno spreman, tj. gradivo će biti kampanjski usvojeno ili neki delovi neće biti uopšte naučeni. Biće mnogo »praznina« u takvom znanju i postavlja se pitanje da li će ispit položiti.

To može predstavljati ozbiljan problem, naročito ako se ima na umu činjenica da student pri pripremi ispita nema mentora koji će ga voditi kroz fazu pripreme već sam mora da odredi trenutak kada i koliko treba da uči. Student koji nije umeo da se snađe može od drugog studenta zatražiti pomoć, ali se tu javlja problem dobre volje, preklapanja različitih obaveza, potreba da na svakog studenta sa problemom mora doći bar jedan student kao pomoć, itd. U vezi sa tim nastala je ideja da se korišćenjem metoda modeliranja i simulacije izradi sistem za podršku odlučivanju koji će obavljati ulogu savetnika i voditi studenta kroz fazu pripremanja ispita.

Fazi prilaz rešenju problema

Osnovna zamisao za rešenje problema jeste da se utvrde kriterijumi na osnovu kojih se studenti opredeljuju za pripremanje određenog ispita, tj. kada će početi sa pripremom, koliko će vremena posvećivati pripremanju ispita svakog dana do termina polaganja i kakve rezultate žele postići.

KORAK 1: Definisiranje fazi promenljivih

Metodom anketiranja, u vezi kriterijuma za odluku o tome koji ispit treba polagati, dobijeni su podaci od kojih su analizom izdvojena tri relativna kriterijuma, a to su:

hitnost — ispit koji je vremenski najbliži, koji predstavlja osnovu za druge ispite ili neki drugi objektivni razlog zbog kojeg će se njemu dati prednost;

predznanje — predstavlja rezultat rada studenta u toku semestra, njegovog ličnog interesovanja u vezi predmeta, i dr.;

težina — svi ispiti mogu se klasifikovati u određene grupe težine u zavisnosti od obima gradiva, zahteva profesora, kompleksnosti problematike i dr.

U sledećem koraku ponovo su se anketom nastojale definisati vrednosti ovih kriterijuma i dobijeni su veoma raznoliki (*rasplinuti*) podaci.

Rešenje ovog problema metodom statističkog praćenja podataka zahtevalo bi dosta vremena, a nije pouzdano da se dobijeni podaci mogu verno prikazati nekom od statističkih raspodela. Najveći problem jeste što su ocene ovih kriterijuma uglavnom lingvističke promenljive (tj. »malo«, »veliko«, itd.), što je dovelo do ideje da se problem pokuša rešiti uz pomoć fazi logike.

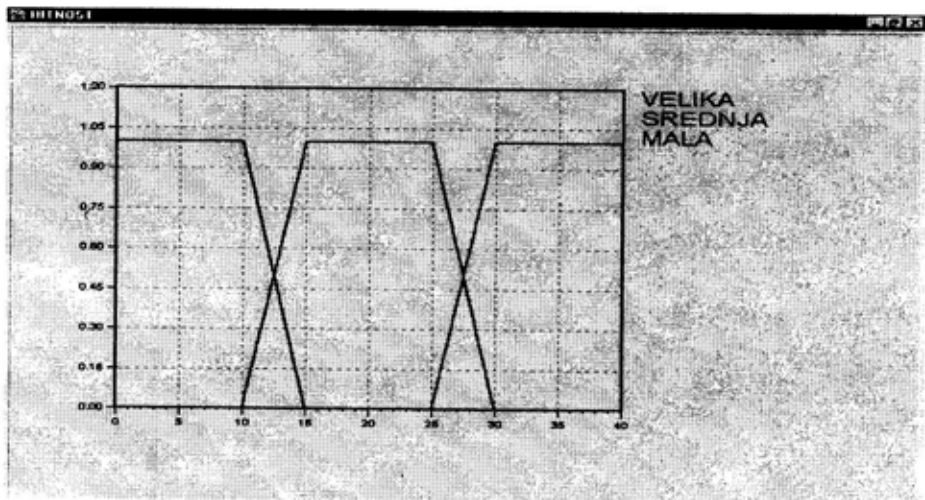
KORAK 2: Definisiranje funkcija pripadnosti

Kriterijumi su predstavljeni kao određeni skupovi fazi brojeva, i to:

1. Skup fazi brojeva HITNOST (slika 2)

Ovaj skup ima tri fazi broja: »velika«, »srednja« i »mala«, čije funkcije pripadnosti imaju sledeće vrednosti:

$$\mu_{\text{velika}}(x) = \begin{cases} 1; 0 \leq x \leq 10 \\ -\frac{1}{5}x + 3; 10 \leq x \leq 15 \end{cases}$$



Sl. 2 — Fazi brojevi grupisani u skup HITNOST

$$\mu_{\text{srednja}}(x) = \begin{cases} \frac{1}{5}x - 2; 10 \leq x \leq 15 \\ 1; 15 \leq x \leq 25 \\ -\frac{1}{5}x + 6; 25 \leq x \leq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{mala}}(x) = \begin{cases} \frac{1}{5}x + 5; 25 \leq x \leq 30 \\ 1; 30 \leq x \leq 40 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{srednje}}(x) = \begin{cases} -\frac{1}{25}x - 1; 25 \leq x \leq 50 \\ -\frac{1}{25}x + 3; 25 \leq x \leq 75 \end{cases}$$

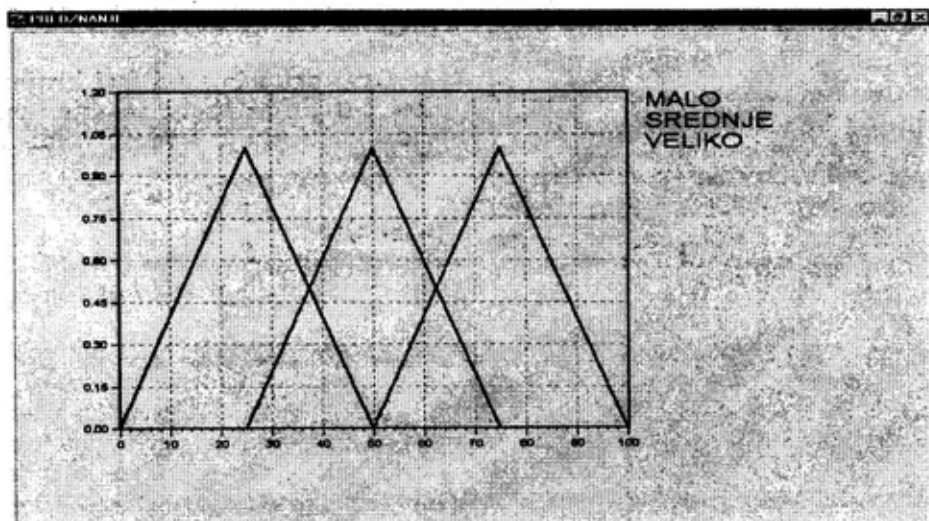
$$\mu_{\text{veliko}}(x) = \begin{cases} \frac{1}{25}x - 2; 50 \leq x \leq 75 \\ -\frac{1}{25}x + 4; 75 \leq x \leq 100 \end{cases}$$

Jedinica u kojoj je izražena hitnost jesu dani, a vrednosti se kreću od 0 do 40 dana, jer je prosečno trajanje ispitnog roka 40 dana.

2. Skup fazi brojeva PREDZNA-NJE (slika 3)

Jedinice su procenti, a predstavljaju vrednost predznanja u procentima od ukupnog gradiva.

3. Skup fazi brojeva TEŽINA (slika 4)



Sl. 3 — Fazi brojevi grupisani u skup PREDZNA-NJE

Ovaj skup sadrži tri fazi broja: »malo«, »srednje«, »veliko«, i to sa sledećim funkcijama pripadnosti:

$$\mu_{\text{malo}}(x) = \begin{cases} \frac{1}{25}x; 0 \leq x \leq 25 \\ -\frac{1}{25}x + 2; 25 \leq x \leq 50 \end{cases}$$

Ovaj skup sadrži tri fazi broja: »lak«, »osrednji«, »težak«, sa funkcijama pripadnosti sledećih vrednosti:

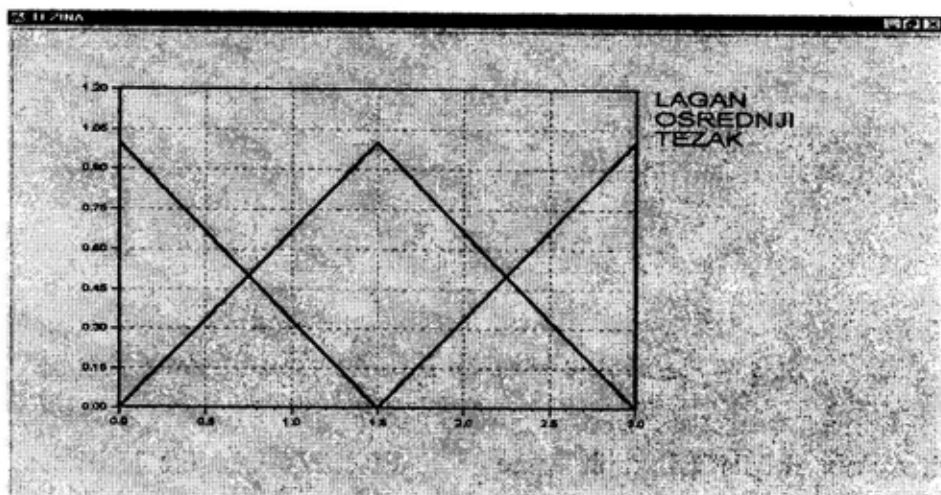
$$\mu_{\text{lak}}(x) = \begin{cases} -\frac{2}{3} + 1; 0 \leq x \leq 1,5 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{osrednji}}(x) = \begin{cases} \frac{2}{3}x; 0 \leq x \leq 1,5 \\ -\frac{2}{3}x+2; 1,5 \leq x \leq 3 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{srednje}}(x) = \begin{cases} \frac{1}{50}x; 0 \leq x \leq 50 \\ -\frac{1}{50}x+2; 50 \leq x \leq 100 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{težak}}(x) = \begin{cases} \frac{2}{3}x-1; 1,5 \leq x \leq 3 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{veliko}}(x) = \begin{cases} \frac{1}{25}x-2; 50 \leq x \leq 75 \\ 1; 75 \leq x \leq 100 \end{cases}$$



Sl. 4 — Fazi brojevi grupisani u skup TEŽINA ISPITA

Jedinice su neimenovani brojevi čije vrednosti se kreću od 0 do 3, a ta granica predstavlja najteži ispit koji je moguće polagati.

S obzirom na to da su odgovori na pitanje »koliko vremena bi posvetili pripremi tog ispita svakog dana«, takođe najlakše ocenjivani preko lingvističkih promenljivih, definisan je i fazi skup brojeva pod nazivom VREME UČENJA (slika 5) na kojem se prate vrednosti željenih rezultata, a sadrži sledeće brojeve sa funkcijama pripadnosti:

$$\mu_{\text{ne bih ništa učio}}(x) = \{1; x=0\}$$

$$\mu_{\text{malo}}(x) = \begin{cases} 1; 0 \leq x \leq 25 \\ -\frac{1}{50}x+2; 25 \leq x \leq 50 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{samo bih to učio}}(x) = \{1; x=100\}$$

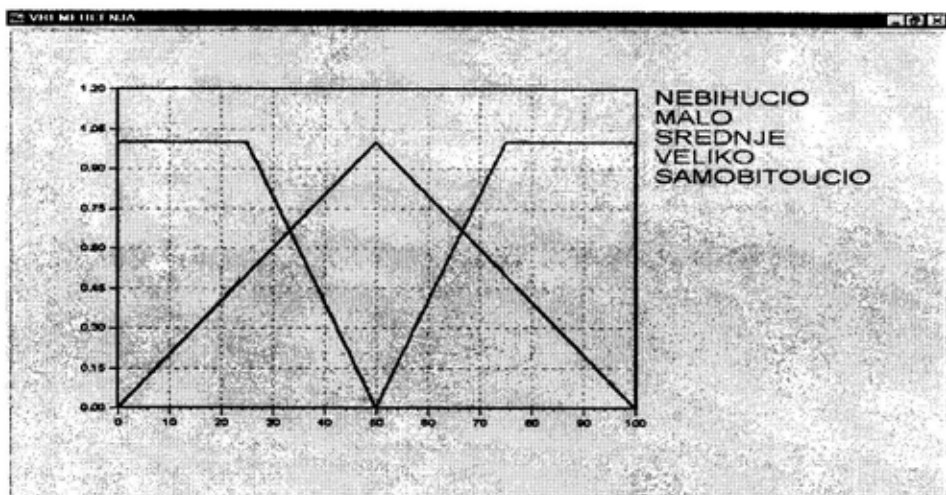
Jedinice su procenti, s obzirom na to da vreme učenja predstavlja subjektivnu vrednost, pa su rezultati izraženi u procentima od vremena rada svakog pojedinca. Na taj način svaki student može naći odgovarajuće vreme za učenje datog predmeta određenog dana.

KORAK 3: Definisanje pravila aproksimativnog rezonovanja

Sledeći korak u modeliranju bio je da se u obliku algoritma aproksimativnog rezonovanja svi fazi skupovi povežu kako bi se što vernije opisao problem. To je postignuto anketom

studenata koji su sve ispite polagali u redovnim rokovima, tj. studenata koji imaju osećaj za uspešno rešavanje određenog problema. Definisano je 27

PRAVILO 2: ako je hitnost ispita mala i predznanje srednje a ispit je lak, onda će vreme učenja biti malo, ili



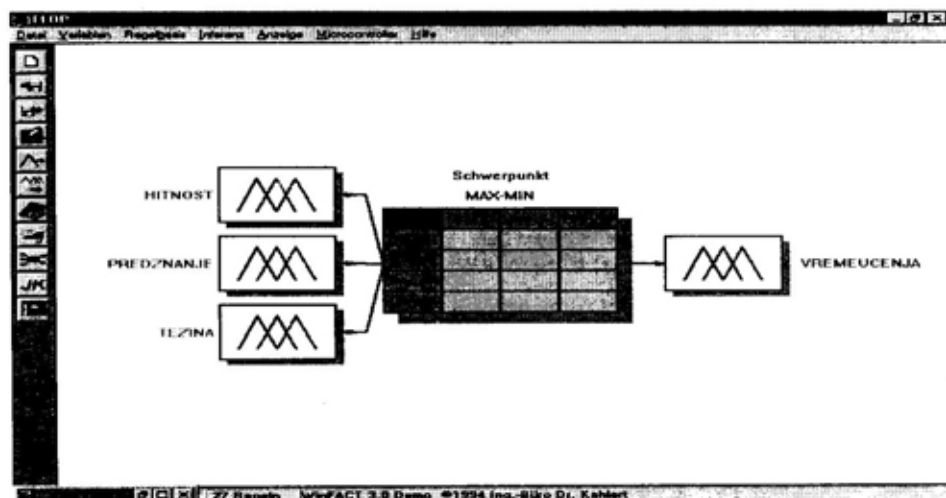
Sl. 5 — Fazi brojevi grupisani u skup VREME UCENJA

algoritamskih pravila od kojih ćemo neka i navesti:

PRAVILO 1: ako je hitnost ispita velika i predznanje srednje a ispit je lak, onda će vreme učenja biti srednje, ili

PRAVILO 27: ako je hitnost ispita mala i predznanje je veliko a ispit je težak, vreme učenja tog ispita je malo.

Naime, problem se svodi na princip »ako-onda« (»if-then«) pravila, gde



Sl. 6 — Sema rada modela

su uslovi dobijeni kombinovanjem kriterijumskih fazi brojeva, a odgovori jednim od fazi brojeva u okviru skupa »vreme učenja« na koji je ukazala navedena anketa. To, u stvari, predstavlja sakupljanje iskustvenih podataka čime se ovaj model »uči« kako da se ponaša u datoj situaciji.

Završni korak modeliranja bio je određivanje fazi relacije koja se koristi pri proračunu vrednosti. Fazi relacija koja je korišćena jeste maksimum svih minimuma.

Konačni izgled modela predstavljen je na slici 6.

Simulacija na modelu

Nakon izrade modela, sve vrednosti su unete u elektronski računar i izvršena je simulacija koja je dala određene rezultate.

Vrednosti »hitnosti« i »predznanja« su vremenski promenljive i predstavljene su na graficima rezultata, a vrednost »težine« je konstantna u vremenu i nije predstavljena na grafiku, ali ona, kao što je pokazano algoritmom, a kasnije i rešenjima, ima uticaja na vrednost rezultata tj. izgled

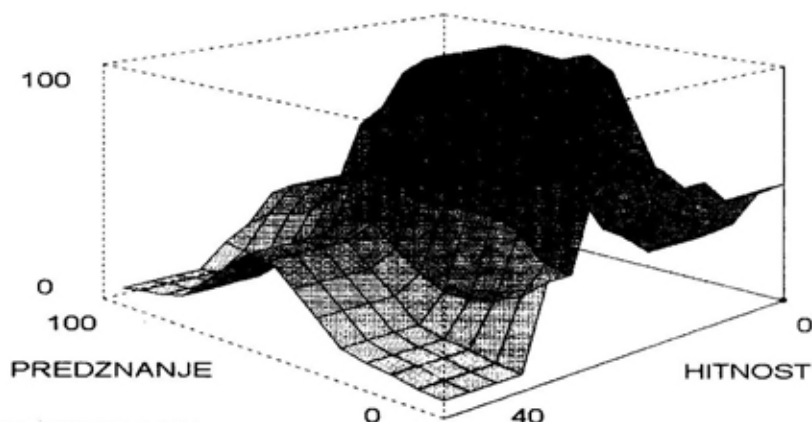
grafika. Budući da se vrednosti svih parametara mogu menjati, za prikaz rezultata korišćene su konstante za »težinu učenja«, dok su veličine druga dva kriterijuma sagleđane u potpunosti, kao i vrednosti »vremena učenja«.

Rezultati koji su dobijeni u slučaju da je ispit »težak« (vrednost njegove funkcije pripadnosti je 1) prikazani su na slici 7.

Kod ovog slučaja realno je da se u tački 0 i u njenoj okolini (kada se vrednost »hitnost« kreće od 7 do 0 i vrednost »predznanja« od 15 do 0) poligon grafika spusti na 0. On, međutim, pokazuje drugačiju tendenciju, što se objašnjava time da studenti, iako svesni da nisu u mogućnosti da pripreme posmatrani ispit za predstojeći rok, polako počinju da se pripremaju za sledeći ispitni rok, kako ne bi ponovo došli u takvu situaciju.

Rezultati modela u slučaju kada funkcija pripadnosti fazi broja »osrednji« ima vrednost 1 predstavljani su na slici 8.

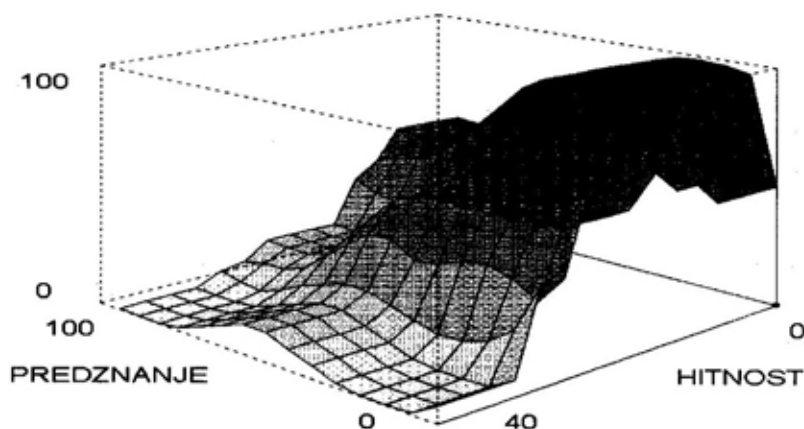
Na slici 9 predstavljani su dobijeni rezultati kada je ispit »lak«, tj. kada je vrednost njegove funkcije pripadnosti jednaka 1.



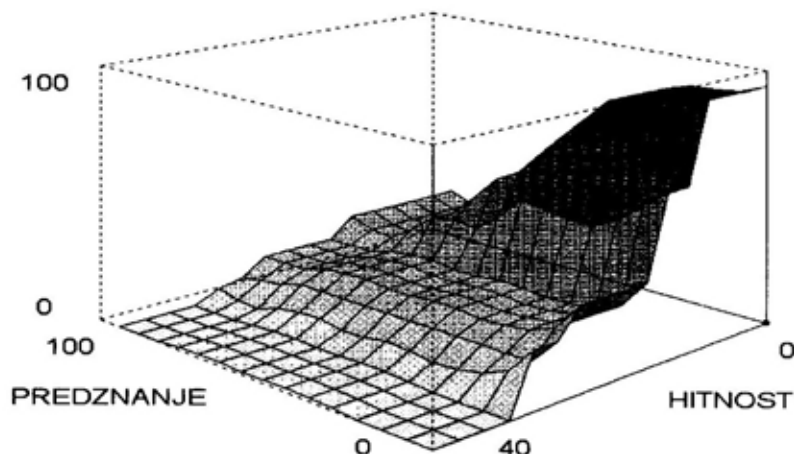
Sl. 7 — Dobijeni rezultati u slučaju »velike« težine ispita

Iz dobijenih rezultata vidi se da se svaki student »može naći« na jednoj od tačaka date površi čija z-osa označava vreme koje je neophodno provede-

ti za pripremu konkretnog ispita u tom trenutku vremena. Naravno, rezultati će biti validni jedino ako se kriterijumi pravilno ocene.



Sl. 8 — Dobijeni rezultati u slučaju »srednje« težine ispita



Sl. 9 — Dobijeni rezultati u slučaju »male« težine ispita

Zaključak

Za rešavanje problema rasporeda vremena za pripremanje ispita korišćena je mogućnost lingvističkog oce-

njivanja parametara na osnovu pravila fazi logike.

Uspesno je izvršeno modeliranje (jer su klasičnim metodama lingvističke ocene neprihvatljive), uspostavlj-

ne su neophodne relacije i dobijeni željeni rezultati. Dakle, urađen je sistem koji omogućava korisniku da što pouzdanije oceni kriterijumske parametre, jer kada neko govori o svom (ne) znanju pretpostavlja se da će to mnogo lakše »priznati mašini«, nego čoveku koji bi mu eventualno hteo pomoći. Pored toga, bitno je skraćeno vreme istraživanja.

Nedostatak modela jeste jednovremeno praćenje samo jednog ispita,

pa bi sledeći korak u razvoju bio razvoj aplikacije u kojoj bi unos bili navedeni parametri za sve ispite posmatranog ispitnog roka, dok bi rezultat bio isplanirano vreme za sve ispite do kraja ispitnog roka.

Na kraju treba istaći da je ovo samo ogledni primer kako se problem pripremanja ispita može rešiti primenom koncepta fazi logike.

Literatura:

[1] Teodorović, D., Kikuchi, S.: Fuzzy skupovi i primene u saobraćaju, Saobraćajni fakultet Beograd, 1994.

[2] Minić, S., Arsenić, Z.: Primena Fuzzy logike u upravljanju procesom preventivnog održava-

nja tehničkih sistema prema stanju, Vojnotehnički glasnik broj 3, Beograd, 1995.

[3] Stručni i naučni radovi iz oblasti fazi logike na proteklim naučnim skupovima u zemlji.

TRENDOVI RAZVOJA RAKETA VAZDUH-VAZDUH U SVETU

Uvod

Rakete vazduh-vazduh nalaze se u izuzetno dinamičnoj fazi razvoja koju pokreću gotovo svakodnevne novine u tehnologiji materijala, pogonskih goriva, vođenju i upravljanju, elektronici i informatici, kao i taktici izvođenja vazdušne borbe. Činjenica da su nedovoljno poznati svi detalji o stepenu razvoja ovih vrlo osjetljivih i dobro čuvanih borbenih sistema potencijalnih protivnika od planera i istraživača zahteva intenzivno usavršavanje.

Karakteristike razvoja raketa vazduh-vazduh u Rusiji

Ranih devedesetih godina vazduhoplovstva na Zapadu su, na osnovu šturih obaveštajnih podataka, poricala tehnološka dostignuća Rusije u proizvodnji raketa vazduh-vazduh. U vreme pada Berlinskog zida, detalji o karakteristikama raketa R-73E (po zapadnoj klasifikaciji AA-11 ARCHER) konstruktora Vimpela, postali su poznati. Slično se desilo i sa raketom R-77 (AA-12 ADDER) koja pripada klasi raketa vazduh-vazduh srednjeg dometa — RVVSD (MRAAM — medium-range air-to-air missile). Razvijena nekoliko godina ranije, proizvodnja ove rakete započeta je u vreme prodaje aviona

MiG-29 malezijskom kraljevskom ratnom vazduhoplovstvu.

Nedavno izvedena gađanja malezijskih aviona MiG-29 i australijskih aviona HORNET pružaju poučan dokaz. Prema dostupnim podacima MiG-29 je simulirao lansiranje rakete R-77 u prednju polusferu, dok je F/A-18 simulirao raketu AIM-7 SPAROW sa poluaktivnim radarom za navođenje (semi-active radar homing — SARH). Na avionima MiG signal za lansiranje sa aktivnog radara za navođenje (active-radar homing — ARH) raketa kao što je R-77 ili AMRAAM, pojavljuje se na daljini 55 do 60 km, dok avion HORNET, sa poluaktivnim radarom za navođenje, lansiranje vrši sa 45 do 50 km. F-pol koji se definiše kao rastojanje između pilota i cilja u tački susreta sa raketom — za MiG-29 sa raketom R-77 bio je 13 do 15 km veći nego za avion F/A-18 sa raketom AIM-7.

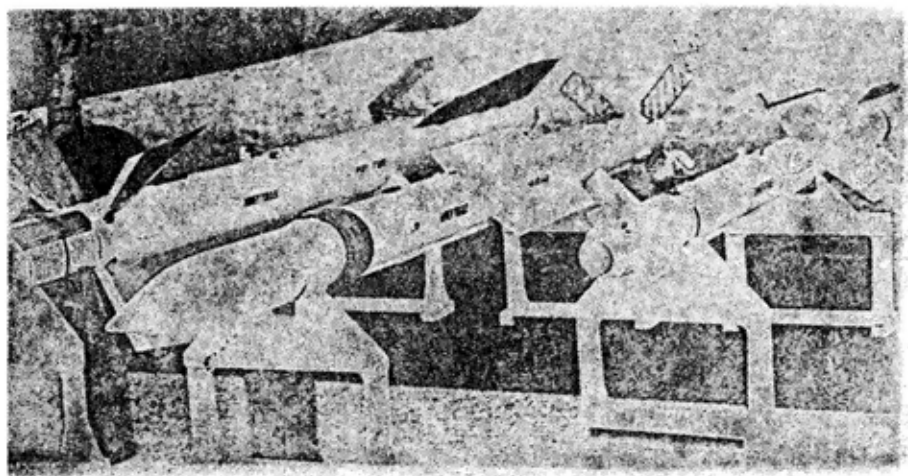
Olako se zaboravlja da je ruska industrija kroz svoju istoriju bila dosta konzervativna u postavljanju zahteva u pogledu performansi raketa. Ocene koje su dali malezijsko i australijsko ratno vazduhoplovstvo potvrđuju Vimpelove podatke da raketa R-77 ima daljinu lansiranja od 100 km, što je znatno više od maksimalnih 75 km koliko se obično pripisuje raketi AMRAAM. To je teoretski maksimalni do-

met koji prikazuje mogućnosti raket protiv manevrišućih ciljeva. Razlika ne bi trebala da iznenađuje ako se zna da je R-77 veća raketa, sa masom od 175 kg pri lansiranju u odnosu na AMRAAM čija je masa 158 kg. Obe rakete su iste dužine, ali R-77 ima veći prečnik i zbog toga veću antenu za aktivnu radarsku glavu za samovođenje tipa AGAT 9B-1348E. Glava za samovođenje ima granicu zone uništenja cilja na 16 km, a link za prenos podataka ima domet 50 km. Bojna glava ove rakete ima masu od 22 kg, kao i bojna glava rakete AMRAAM.

Iako je R-77 na tržištu nuđena uz avione MiG-29 i Su-37/30/37, ova raketa je projektovana kao osnovno oružje za više savremenih letelica. Sovjetski Savez imao je praksu da razvija novu familiju raketa vazduh-vazduh za svaku novu generaciju lovaca. Poslednji primeri su Vimpelove rakete R-27

puta veći od prečnika rakete), a repne upravljačke površine u obliku rešetke dizajnirane su tako da se lako pregibaju. Sa savijenim repnim površinama raketa je kompaktna i može se lansirati sa prilagodljive platforme ili iz spremišta unutar aviona.

Rešetkasti stabilizatori, koji su već viđeni na drugim ruskim raketama kao što su mobilna balistička raketa SS-20 (SABER) i taktička raketa SS-21 (SPIDER), imaju brojne prednosti. Oni obezbeđuju veliku upravljačku silu, uz mali ugao otklona, a aerodinamički su balansirani oko vodeće osovine koja utiče na upravljanje uz minimalnu snagu aktuatora. Za razliku od ove vrste stabilizatora, konvencionalni stabilizatori se preklapaju napred uz pomoć robustnih šarnirnih veza kako bi polegli uz telo rakete suprotno od smera leta. Nisu im potrebni ni aktuatori za razvijanje, jer kako se raketa pri poletanju nađe u vazdušnoj struji, ae-



Sl. 1 — Ruske rakete vazduh-vazduh R-27, R-77, R-73 (leva)

i R-73 koje su razvijene za avione MiG-29 i Su-27.

Raketa R-77 projektovana je za nošenje unutar aviona; njena krila su kratka (raspon od 40 cm je samo dva

rodinamičke sile guraju stabilizatore unazad u njihov letni položaj, a jednostavna brava osigurava stabilizator u letu. Rešetkasti stabilizatori verovatno nisu izabrani zbog stvaranja nekog

velikog čeonog otpora već zbog toga što efikasnost njihove strukture omogućava da budu ekstremno tanki.

Prva verzija aviona MiG-29 koji je mogao da nosi raketu R-77 bio je MiG-29S koji je razvijen ranih osamdesetih godina, nakon što je originalna konstrukcija radara pretrpela izmene na osnovu podataka prikupljenih industrijskom špijunažom u SAD. Avioni isporučeni Maleziji su verzija MiG-29D. Danas se nudi verzija MiG-29SE koja je slična, ali obuhvata i aktivni sistem za ometanje, dok verzija MiG-29SM ima poboljšane karakteristike za borbu protiv ciljeva na zemlji. Sve varijante mogu da nose do 6 raketa R-77 i gađaju dva cilja istovremeno. Raketa R-77 se nalazi i u naoružanju poslednjih verzija aviona Su-27, a nakon modifikacije može da se ugradi i na ranije proizvedene borbene avione.

Ova raketa je modifikovana i za velike domete. Takva verzija je poznata kao R-77M ili RVV-AE-PD, a još se nalazi u fazi razvoja i biće opitovana sa Vimpelovim reaktivnim motorom KRLD-TT na čvrsto gorivo. R-77M je teža nego osnovna verzija i pri poljetanju ima masu od 225 kg. Domet od 160 km svrstava je u klasu raketa velikog dometa, sa efektivnim dometom jednakim američkoj raketi AIM-54 PHOENIX.

Međutim, dva nezavisna izvora potvrdila su da postoji i druga verzija rakete R-77 sa povećanim dometom. Ona ima veći prečnik i startni motor sa produženim sagorevanjem i, kao takva, odgovara raketi R-27RE iz prethodne Vimpelove familije raketa vazduh-vazduh srednjeg dometa. Rakete R-27 sa motorom sa produženim sagorevanjem primenjene su u verzijama malo poznatih pasivnih raketa vazduh-vazduh koje se navode na elektromagnetno zračenje (AAARM — air-to-air anti radiation missile), a na Zapadu su identifikovane kao ALAMO-E i ALA-

MO-F. Ove rakete su komplikovanije za upotrebu zbog znatne verovatnoće uništavanja i sopstvenih letelica, teškoća pri separaciji bliskih ciljeva, ali njihovo prisustvo nameće i znatna ograničenja protivniku na polju upotrebe njegovih radara.

Javnost je nedavno upoznata i sa dve verzije raketa malog dometa R-73. R-73EL koristi usavršeni blizinski laserski upaljač, dok je K-74ME još uvek u razvoju i ima potpuno novu glavu za navođenje sa vidnim poljem po 60° sa svake strane nišanske linije (dok vidno polje standardnih oružja iznosi 40°). Glava za navođenje je, takođe, znatno osetljivija i dostiže zahvat cilja na daljini od 30 do 40 km.

Sledeći novi Vimpelov sistem jeste verzija rakete R-73 za gađanje u zadnjoj polusferi. U prospektima iz 1994. godine ima vrlo malo podataka o ovom oružju, ali je prikazan način funkcionisanja. Potvrđeno je, takođe, da su testiranja izvedena na avionu Su-27. Raketa se na avionu montira na repnom delu u fiksirani pajon ili lanser opremljen startnim motorom. Aerodinamička kapa zatvara mlaznicu startnog motora usmerenu prema napred, a nakon aktiviranja startnog motora biva odbačena. Startni motor izbacuje raketu iz pajlona i poništava najveći deo brzine rakete negativnog smera koju ona ima zbog kretanja aviona. Nakon toga aktivira se glavni motor, odbacuje startni, a odbacivanjem sklopa startnog motora stvara se dodatni potisak koji potpuno poništava ostatak brzine negativnog smera na udaljenosti 30 m od aviona sa kojeg je lansirana. Glava za vođenje, koja je zahvatila cilj pre lansiranja, nastavlja da ga prati za vreme ubrzavanja tela rakete, što se postiže pomoću glavnog motora čiji deflektori mlaza omogućavaju zakretanje rakete za $\pm 180^\circ$ i usmeravanje prema cilju. Avioni sa kojih se ove rakete lansiraju imaju proširenja na zadnjem delu u obliku konusa kakve nalazimo na u-

savršenim verzijama aviona Su27M/Su-35 i Su-27IB/Su-32FN. U ovim spremištima smešteni su radari koji mogu da detektuju pretnju od druge letelice i prikupe podatke za praćenje koji se, zatim, prosleđuju raketi pre lansiranja. Pilot aviona sa kojeg se lansira ovakva raketa ne može vizuelno da potvrdi da je raketa izvršila zahvat izabranog cilja. Međutim, u poređenju sa raketama koje se iz pajlona lansiraju napred, a zatim zakreću u zadnju polusferu, opisani Vimpelov koncept obezbeđuje zahvat cilja pre lansiranja i, na taj način, smanjuje vreme nišanje. Čini se da su rakete koje se ispaljuju u zadnju polusferu uglavnom namenjene za samoodbranu od lovaca.

Prema raspoloživim podacima, raketa R-73 za ispaljivanje u zadnju polusferu ima maksimalni domet 10 do 12 km, a minimalnu daljinu nišanje 1 km. Čitav sistem efikasan je u borbi protiv ciljeva koji lete podzvučnim i nadzvučnim brzinama na visinama od 50 m do 13 km u prostornom konusu sa uglovima preko 60° u odnosu na zadnje ivice repnih površina.

Siroka primena raketa koje se ispaljuju u zadnju polusferu mogla bi imati za posledicu revolucionarne promene u taktici vođenja vazdušne borbe, budući da napadač u neprijateljevoj poziciji »6« i sam može postati žrtva, jer raspolaže vrlo kratkim vremenom za odgovor na raketu koju je napadnuti ispalio u zadnju polusferu. Treba imati na umu da se u ovom slučaju brzine rakete i aviona napadača sabiraju, što drastično smanjuje vreme potrebno za reakciju.

Smatra se da će avion Su-35 biti opremljen radarom koji će upozoravati na aktivnu pretnju iz zadnje polusfere, i omogućiće lansiranje raketa »preko ramena«, a osnovu sistema predstavljaće raketa R-77 koja se sada ispaljuje u prednju polusferu.

Može se zaključiti da su ruske rakete vazduh-vazduh, uključujući još potpuno nepoznate rakete malog dometa koje su projektovane za MIKOJAN 1,42, za sada superiorne u odnosu na rakete ove vrste koje se koriste na zapadu i permanentno se usavršavaju.

Proizvodnja pogonskih goriva u Rusiji

Prethodna razmatranja jasno pokazuju da ruska industrija poseduje brojne proverene tehnologije kojima će u budućnosti i dalje usavršavati svoje raketne sisteme vazduh-vazduh. Neki naučnici u SAD, u publikaciji »New World Vistas« objavljenoj 1996. godine, zaključuju čak da se na području primene najsavremenijih dostignuća u fizici i hemiji pogonskih goriva i eksploziva SAD nalaze daleko iza Rusije. U stvari, do sada korišćena američka pogonska goriva u pogledu performansi približavaju se malodimnim gorivima, ali su vrlo slična tradicionalnim pogonskim gorivima sa amonijum-perhloratom kao oksidatorom. Međutim, nova pogonska goriva ne koriste aluminijum zbog toga što on stvara mnogo vidljivog dima i prouzrokuje znatne gubitke energije.

Za razliku od SAD, Rusija je investirala znatna sredstva u bazna istraživanja čvrstih pogonskih goriva. Jedan od značajnijih rezultata bio je razvoj i osvajanje proizvodnje amonijum-dinitramida kao znatno boljeg oksidatora koji je zamenio amonijum-perhlorat. Sintezu amonijum-dinitramida uspeali su da izvedu još naučnici u Sovjetskom Savezu sredinom sedamdesetih godina. Nakon sinteze ovog oksidatora i goriva, izgrađena su velika postrojenja za proizvodnju, a mnoge poznate rakete, kao što su SS-24, SS-20 i nova mobilna interkontinentalna balistička raketa SS-27 TOPOL-M koriste upravo ova goriva. Amonijum-dinitramid povećava specifični impuls

za 7% u malodimnim gorivima, a za 10% u gorivima koja sadrže aluminijum. Pored toga, pretpostavlja se da Rusi koriste kombinaciju aluminijum-hidrida (AlH₃) kao goriva i amonijum-dinitramida kao oksidatora, za koju se pretpostavlja da je 20% do 25% jača od klasičnog goriva. Raketa sa ovakvim gorivom ubrzava znatno brže i ima kraće vreme leta, što znatno utiče na ostale karakteristike oružja.

Amonijum-dinitramid bi se mogao koristiti i u novim eksplozivnim materijalima za bojne glave gde bi se sa lakšom bojnomo glavom ostvarivala ista efektivnost na cilju, ali i povećavala brzina i domet rakete. Evidentno je da SAD manje pažnje posvećuju poboljšanju osnovnih performansi nego drugim karakteristikama, kao što su neosetljivost ili otpornost bojne glave na fizička oštećenja.

Karakteristike razvoja raketa vazduh-vazduh na Zapadu

Na Zapadu se danas traže rešenja kako bi se ugrozila trenutna prednost Rusije u domenu raketa vazduh-vazduh.

Ministarstvo odbrane Velike Britanije ima nameru da nadmaši kinematičke performanse familije raketa R-77 svojom raketom za domete iza vidljivog (BVRAAM — Beyond Visual Range Air-to-Air Missile) i tako ispuni zahteve koje je postavila Komanda vazduhoplovstva. U proleće 1997. godine Ministarstvo je objavilo da izbor rakete BVRAAM, ranije poznate pod nazivom raketa budućnosti vazduh-vazduh srednjeg dometa (FMRAAM — Future Medium-Range Air-to-Air Missile) kasni oko godinu dana.

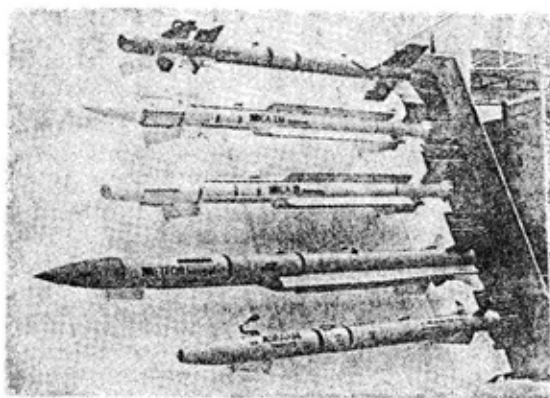
Na ovom konkursu učestvuje nekoliko poznatih svetskih firmi sa svojim rešenjima.

Firma Hughes ponudila je modifikaciju rakete AMRAAM koju bi pokretao mlazni motor sa tečnim gorivom, francuske firme Aerospatiale Missiles sa integrisanim startnim motorom bez mlaznica na čvrsto gorivo firme Atlantic Research Corp. Firma Matra BAe Dynamics predložila je potpuno novi koncept pod imenom Meteor. Ovaj model kombinuje startnu sekciju firme Royal Ordnance sa glavnom sekcijom firme Bayern Chemie sa čvrstim gorivom obogaćenim borom. Francuska kompanija Colerg ponudila je alternativu koja kombinuje startno punjenje na čvrsto gorivo bez integrisane mlaznice sa mlaznim motorom na tečno gorivo ili nosećim raketnim motorom tunelskog tipa bez smanjenja preseka.

Ratno vazduhoplovstvo Velike Britanije postavilo je dva osnovna zahteva na kojima su insistirali: maksimalni domet preko 100 km i drugi, možda i važniji — mogućnost uništavanja protivnika koji manevriše na daljini od 20 do 80 km (zona naštenja). Ovom raketom treba da se naoruža avion EUROFIGHTER. Predstavnici vazduhoplovstva Nemačke, Italije, Španije i Švedske učestvovali su u ocenjivanju ponuda za ispunjenje postavljenih zahteva i u redefinisavanju njihovih sličnih nacionalnih zahteva.

U SAD se postepeno radi na usavršavanju rakete AMRAAM AIM-120, ali ne na planu povećanja dometa i poboljšanja kinematike rakete, što je osnovni ruski pristup pri usavršavanju rakete R-77, već se njihov koncept sastoji u usavršavanju opreme koja će omogućiti da njihov pilot prvi uoči i ispali raketu i na taj način uništi protivnika oslanjajući se, prvenstveno, na karakteristike aviona F-22. Dakle, kombinacija rakete AMRAAM i aviona F-22 predstavljaće u bliskoj budućnosti za protivnika najveću pretnju. Pored toga, predviđa se više načina ovetšenja rakete na različitim tipovima a-

viona. Tako avioni F-22 i JSF treba ovu raketu da nose u unutrašnjosti trupa aviona, avioni F/A-18 i F-15C/D uz sam trup, a avioni F-16 i F/A-18 na jednostrukom ili dvostrukom potkrišnom šinasnom lanseru. Međutim, ovakav pristup stavlja pomoćne službe pred iskušenje i dovodi do neželjenih problema sa logističkog stanovišta.



Sl. 2 — Raketne vazduh-vazduh zapadnih zemalja: MAGIC, MICA EM, MICA IR, METEOR, ASRAAM (odozgo)

Situacija u Ratnoj mornarici SAD znatno je drugačija. Zbog zastarelosti osnovnog aviona RM — F-14 planira se njegova zamena avionima F/A-18 i SUPER HORNET. U tom procesu bila bi izbačena i raketa PHOENIX AIM-54 bez direktne zamene. Kako RM SAD u svom sastavu nema tako kvalitetnih aviona kao što je F-22, za razliku od Ratnog vazduhoplovstva, ona je direktno zainteresovana za usavršavanje rakete AMRAAM, koju bi nosili avioni F/A-18, a radi povećanja dometa.

Današnja standardna verzija ove rakete je AIM-120C kojoj je poboljšana bojna glava i smanjena cena proizvodnje elektronskih sklopova. Poboljšanja koja će biti završena do 2000. godine odnose se na rekonstrukciju i stvaranje znatno kompaktnijeg upravljačkog bloka, što će omogućiti pro-

duženje motora za 127 mm bez povećanja ukupne dužine rakete. Veći motor povećaće ubrzanje i brzinu rakete kao i povećanje F-pola i A-pola. (A-pol se definiše kao rastojanje između pilota i cilja u tački u kojoj radarska glava za samonavođenje rakete izvrši zahvat cilja). Na planu povećanja pogodnosti za održavanje i smanjenje cene proizvodnje, proizvođač — Hughes Missile Systems Company implementirao je neke već definisane komercijalne postupke u procesiranju podataka i izradio nove programe u programskim jezicima višeg nivoa.

Pored toga, sprovedene su analize pogonskog sistema čiji se zaključak može svesti na sledeće: u bližoj budućnosti raketni motori na čvrsto gorivo su najbolji put u poboljšavanju pogonskih karakteristika meren odnosom cene i efektivnosti.

Raketni motori na čvrsto gorivo su lakši za proizvodnju, nude dobre performanse na čitavoj putanji leta i ne dovode do problema zagrevanja na izlaznim površinama. U pogledu daljih modifikacija raketnog motora AMRAAM rakete najdalje je otišao program firme Hughes-Raufoss-Alliant koja je napravila veći motor sa eliptičnom sekcijom i uspešno izvela probne testove u avgustu 1997. godine, bez ikakvih problema na konstrukciji letelice i u upravljanju letom. Paralelno s ovim ispitivanjima RM SAD finansira i osvajanje novih pogonskih goriva i bojnih glava. Pored toga, sa 22 miliona dolara finansira se i petogodišnji program superiorne raketne tehnologije (ASMT — Air Superiority Missile Tehnology). Program karakteriše primena alternativnih upravljačkih tehnologija (ACT — Alternate Control Tehnology), kao što su upotreba malih bočno postavljenih mlaznih motora inkorporiranih u zadnji krmeni deo rakete, koji omogućavaju smanjenje raspona izlaznih ivica krila. Ovi motori, kroz koje prolaze gasovi iz

glavnog propulzionog motora, omogućavaju, kada je to potrebno, manevrisanje sa velikim g-preopterećenjem. Navedeni program obuhvata i novi autopilot sa inoviranim tehnikama vođenja i konceptom upravljanja energijom glavnog motora radi optimizacije manevaribilnosti i dometa rakete. Kombinovanje ovih tehnologija omogućilo bi novim raketama da unutar vremena od 1 s nakon lansiranja izvedu manevar zakretanja za 90°, a za manje od 3 s puni kružni zaokret od 360°. Ovakve karakteristike omogućile bi gađanje ciljeva na daljini od 40 km bočno i 25 km iza aviona koji lansira raketu. Komplementaran ovom programu je i program razvoja tehnologije glave za samovođenje sa prilagodljivom rešetkom (CAST — Conformal Array Seeker Technology). Realizuje ga firma Hughes s ciljem da razvije elektronski upravljani radarski senzor sa trenutnim (instantnim) vidnim poljem osmatranja oko nišanske linije od preko 155°.

Razvoj raketa vazduh-vazduh kratkog dometa

Za potrebe razvoja raketa vazduh-vazduh kratkog dometa (Short Range Air-to-Air Missile), Pentagon je prikupio ponude različitih proizvođača, ali je posao u vrednosti 169 miliona dolara na konkursu, dobila firma Hughes Missile Systems Company. Osnova programa je usavršavanje rakete SIDEWINDER pod oznakom AIM-9X. Međutim, ovaj izbor je kontroverzan, pre svega zato što su zahtevi bili tako široko postavljeni da su omogućavali prihvatanje četiri potpuno različita rešenja firme Hughes i Raytheon. Rešenje firme Raytheon zasniva se na inoviranoj rotacionoj glavi za vođenje (RTV — Rotate-To-View) sa u jednoj varijanti standardnim motorom AIM-9 prečnika 127 mm, a u drugoj varijanti sa motorom od 160 mm koji je

ugrađen u izraelsku raketu PYTON-4. Oba motora opremljena su mlaznicama promenljivog vektora potiska. Rešenje firme Hughes zasniva se na motoru AIM-9 sa minimumom promena i sa usavršenom glavom za vođenje za rakete srednjeg dometa vazduh-vazduh firme BA Dynamics/Hughes, uz primenu tehnologija upravljanja i aerodinamike razvijenih u programu firme Box Office, kao i modifikovanih raketa vazduh-vazduh srednjeg dometa sa promenljivim vektorom potiska.

Rešenje sa minimumom promena firme Hughes usvojeno je iako se očekivalo da je povećanje prečnika motora jedini ključ za dostizanje kinematike koju poseduje ruska raketa R-77 sa prečnikom od 170 mm. Prihvaćeno rešenje firme Hughes ipak ima dve značajne prednosti. Prva je cena, jer ovo rešenje karakteriše velik udeo originalnih ili modifikovanih komponenta, uključujući motor i bojnu glavu rakete AIM-9 koja se već proizvodi. Ovakav izbor ne samo da štedi sredstva, već znatno umanjuje vreme potrebno za izvođenje vrlo osetljivih testova za ispunjenje specijalnih zahteva RM SAD. Glava za samovođenje urađena je na osnovu rešenja firme Raytheon TI Systems, a prateći hardver na bazi Stirlingovog kriogenog sistema. Sistem promenljivog vektora potiska izveden je iz sistema firme Alliant TechSystems koji je primenjen na raketi SEA SPARROW. Rezultat svega je da će cena nove rakete biti ispod 200 000 dolara po komadu. Druga prednost jeste u činjenici da će uprkos lošijoj kinematici od rakete R-73 ova raketa istovremeno biti znatno lakša od nje (R-73 je sa masom od 135 kg za 35% teža od rakete AIM-9X).

Firma Hughes smatra da će nova raketa biti superiorna u odnosu na R-73. Potvrda takvom verovanju mogla bi se tražiti i u često previdanim dvema činjenicama. Prva je da, iako se govori o nišanjenju na cilj unutar zo-

ne vidljivosti, raketa sa IC slikovnim senzorom će izvršiti zahvat cilja na udaljenosti na kojoj ni pilot sa najboljim vidom neće moći da ga detektuje, a druga, da postoji znatna razlika između ruske pilotske kacige sa montiranim nišanom i američke integrisane kacige sa sistemom za usmeravanje glave pilota prema cilju (JHMCS — Joint Helmet-Mounted Cueing System), koji detektuje senzor, a koji je za Pentagon razvila firma Vision System International. Informacije o cilju projektuju se na displej na kacigi. Ciljevi koje radar ili IC sistem za pretraživanje i praćenje prate mogu da budu na displeju označeni znakovima koji će usmeravati glavu pilota prema cilju. Testovi su pokazali da će tako usmeravan pilot konzistentno videti cilj na znatno većoj udaljenosti od onog koji nije tako usmeravan. Na taj način iskoristiće se sve prednosti slikovnog IC senzora u odnosu na jednostavni kontrastni, uključujući i veći domet IC senzora primenjenog na raketi R-73. Usmeravan od radara i displeja kacige, pilot može da vidi cilj, da potvrdi zahvat cilja i ispaljivanje rakete, dok pilot sa jednostavnim nišanom na kacigi pokušava da uspostavi vizuelni kontakt sa ciljem. Na taj način glava za vođenje stavlja se u položaj iznad samog pilota.

Dakle, raketa AIM-9X spada u grupu raketa koje deluju iza vidljivog područja — BVR. Njen mali čeonni otpor, efikasan sistem upravljanja letom, poboljšan najnovijim izmenama kao što su stepenasto zasečene zadnje izlazne površine krila koje predstavljaju zamenu za male motore, u nekim rešenjima ugrađene oko izlaza mlaznice, i njena glava za samovođenje omogućavaju značajno prevazilaženje vidljive granice. Sve to daje pilotu mogućnost da izvede pasivan napad znatno preko granice današnjih raketa AIM-9.

Programi AIM-9X i JHMCS potpuno su sinhronizovani. Borbeno opito-

vanje ovih komplementarnih sistema planirano je u 2000. i 2001. godini kada će se krenuti i sa proizvodnjom raketa u malim serijama. Ugradnja ovih raketnih sistema prvo je planirana na avionima F/A-18C/D, a zatim na F-15C/D. Na avionima F-16 zamenice zastarele rakete AIM-9, dok će na avionima F-22 biti standardna oprema.

U zemljama zapadne Evrope takođe se radi na razvoju raketa malog dometa. Jedan od najzanimljivijih je nemački program IRIS-T u čiji su razvoj, kao kooperanti, uključene i Kanada, Italija, Grčka, Norveška i Švedska. Prototip ove rakete pripremljen je za testiranje na lovcima F-16 norveškog ratnog vazduhoplovstva, zajedno sa sistemom pokazivača na pilotskoj kacigi. Nemačka firma BGT saraduje sa firmom Lockheed Martin na integraciji raketnog sistema na lovac F-16. Ako program bude tekao prema planu, predviđeno je da preoružavanje aviona EUROFIGHTER i TORNADO u nemačkom ratnom vazduhoplovstvu započne 2002. godine.

Rakete firme BGT nastale su kao rezultat napora za poboljšanjem raketa serije AIM-9 u čijem se središtu nalazila glava za vođenje TEEL kao nadgradnja raketa AIM-9L/I/M u ranim devedesetim godinama. Rešenje firme BGT bilo je u projektovanju jeftine glave za vođenje sa poboljšanim uglom osmatranja i praćenjem cilja uz korišćenje senzora u obliku skenirajuće rešetke 128x128. Smatra se da se korišćenjem skenirajuće rešetke, nasuprot zvezdaste, smanjuje osetljivost na laserske ometače i elektrolučne lampe. Detektorska rešetka ove glave nije pokretna, ali umesto toga jedno reflektujuće ogledalo odbija IC energiju na nju. Glava za vođenje TELL (IRIS) u velikoj meri koristi tehnike paralelnog i sistoličkog (sažetog) procesiranja da bi obezbedila visok nivo diskretizacije i otpornosti na ometanje. Uspesni letni testovi glave za vođenje,

montirane na raketu AIM-9L, izvedeni su u julu 1996. godine.

U pogledu kinematike IRIS-T je projektovana za nišanje pod uglovima većim od 90° u odnosu na nišansku liniju. Za minimizaciju aero-zagrevanja safirnog dela kape glave za vođenje, kada raketa silazi sa lansirnih šina, primenjen je dvobrzinski motor. Nakon lansiranja IRIS-T izlazi na svoj vektor cilja uz pomoć deflektora mlaza u obliku krila montiranog na mlaznicu i malih motora koji se aktiviraju. Punu brzinu raketa postiže 2 s nakon startovanja drugog (marševskog) motora. Najnovije promene u konstrukciji izvršene su radi smanjenja prečnika startnog motora. Takođe, smanjen je prednji obod tela, a krila su napravljena sa dvostrukim preklapanjem zbog daljeg poboljšanja karakteristika.

Raketa malog dometa PYTON 4 firme Rafael prva je zapadna raketa sa velikim mogućnostima zahvata izvan nišanske linije, koja je uvedena u upotrebu. Trenutno, PYTON 4 se na operativnoj upotrebi nalazi jedino u RV Izraela, ali ovu raketu ocenjuje još 6 RV drugih zemalja, uključujući i Australiju. Kao i kod rakete IRIS-T i Rafael je za senzor izabrao skenirajuću a ne zvezdastu rešetku. Iako nije do kraja poznato koja je glava za vođenje izabrana, pretpostavlja se da će glava za vođenje rakete PYTON biti višebandna sa savremenim tehnikama procesiranja radi poboljšanja redukcije šuma i ometačkih signala. Pretpostavlja se da poseduje veliku brzinu praćenja i ugao nišanja od 60°. Ovaj ugao može se znatno povećati primenom sistema elektronskog nišanskog displeja montiranog na pilotsku kacigu kao što je sistem Elbit DASH.

Za razliku od rakete IRIS-T, za postizanje velike brzine zakretanja neposredno nakon lansiranja, PYTON 4 raspolaže sa 18 upravljačkih površina, uključujući tri kompleta prednjih

krilaca, četiri oboda i četiri slobodna zadnja krila. Dvobrzinski raketni motor omogućava brzo vektorisanje rakete nakon silaska sa lansirnih šina sledeći brzo nišanje od preko 180° u odnosu na smer kretanja aviona. Pretpostavlja se da će vreme rada raketnog motora biti relativno dugo (verovatno 15 do 20 s), obezbeđujući na taj način potrebnu energiju za završni deo leta. Očekivani domet rakete iznosi više od 28 km za susretni scenario. Ako bi PYTON promašio u susretnom scenariju nišanja, on ima još uvek dovoljno energije i upravljačkih resursa da zaokrene i nastavi poteru cilja u zadnjem polusferi.

Dalje usavršavanje rakete PYTON 4 nastavlja se poboljšavanjem mogućnosti rakete protiv sistema za elektronsko ometanje, ali detalji još nisu poznati. Postoje izgledi da se u potpunosti zameni i cela glava za vođenje sa senzorom u obliku zvezdaste rešetke.

Međutim, vrlo su interesantni izveštaji o tome da je Izrael daleko odmakao u projektovanju radarski vođene rakete vazduh-vazduh srednjeg dometa, verovatno zasnovane na raketi PYTON 4 sa povećanim dometom. Veruje se da su temelji ovom projektu nastali u saradnji Izraela i Južne Afrike krajem osamdesetih godina. Projekat više nije na nivou vlada ovih zemalja, ali je saradnja nastavljena na nivou preduzeća. Ni izraelska firma Rafael, ni južnoafrička firma Denel Kentron nisu komentarisali postojanje saradnje na planu radarski vođenih raketa.

Drugi veliki program raketa vazduh-vazduh firme Kentron je IC vođena raketa A-DARTER koja će u operativnu upotrebu RV Južne Afrike ući 2003. godine i pilotima obezbediti rakete za nišanje pod uglom od 90°, dobre napadačke osobine sa diskriminacionim karakteristikama, elektronskim sistemima za zaštitu od elekt-

ronskog ometanja i dug domet u kombinaciji sa mogućnošću zahvatanja cilja nakon lansiranja. Na ovom poslu firma Kentron aktivno traži dodatne partnere.

Trendovi usavršavanja raketa vazduh-vazduh na Zapadu

Dinamičke karakteristike raketa vazduh-vazduh usavršavaju se u svim fazama leta na planu povećanja ubrzanja, skraćivanja vremena leta i poboljšanja manevaribilnosti u završnoj fazi leta. Aktivne radarske glave za samovođenje i glave sa slikovnim senzorima znatno su otpornije na ometanje od poluaktivnih radarskih glava za samovođenje i glava sa mehanički skenirajućim IC senzorima. Bolja navigacija, upravljački sistemi i senzori sa širokim vidnim poljem oko nišanske linije omogućavaju da cilj bude efikasno zahvaćen u širokom dijazonu uglova.

Zajednička karakteristika razvoja raketa vazduh-vazduh kratkog i srednjeg dometa jeste znatno proširenje zone uništenja. Ako protivnik ispali raketu unutar zone uništenja stvara se okruženje cilja i fizički je nemoguće da cilj izbegne projektil manevrom. Prema studijama koje je provela firma BAs Dynamics, pri gađanju u prednjoj polusferi (susretni scenario), kada je protivnik opremljen raketama vazduh-vazduh malog i srednjeg dometa sa jakim aktivnim radarom, prvo lansiranje mora se izvesti sa gotovo 80 km udaljenosti, a cilj ubrzo ulazi u zonu uništenja za rakete srednjeg dometa. Međutim, i zona uništenja za rakete kratkog dometa produžava se do gotovo 20 km.

Rakete kratkog dometa su u potpunosti samostalne, a rakete srednjeg dometa se u tom pogledu približavaju njima. Posledica toga je da duže

nišanje može rezultirati uzajamnim uništenjem, osim ako se učesnici zadrže na velikoj udaljenosti prateći jedan drugog na samoj granici mogućnosti radarskog zahvata. Ekstremni odnos uništeni—izgubljeni koji je dostigao Izrael 1982. godine ili koalicione snage u Pustinjskoj oluji može postati nedostižan.

Ovakva razmatranja mogu da budu objašnjenje američkog stava da su nevidljivost i supersonična agilnost lovca F-22 mnogo značajnije osobine od poboljšavanja performansi raketa vazduh-vazduh. F-22 koristi svoju malu radarsku vidljivost da izbegne mogućnost protivnikovog detektovanja i praćenja, dok istovremeno njegovi pasivni senzori i senzori izvan aviona mogu detektovati, locirati i identifikovati svakog lovca koji aktivno traži svoj cilj. Smatra se da je elektronski sistem za osmatranje ALR-94 lovca F-22 u mogućnosti i dovoljno tačan da izvrši lansiranje rakete AMRAAM, i da joj obezbedi podatke za srednju putanju bez upotrebe radara, čineći je na taj način »virtuelnom antiradarskom raketom«. Nevidljivost može učiniti raketu velikog dometa beskorisnim i omogućiti lovcu F-22 da se približi na udaljenost sa koje je raketa AMRAAM vrlo efikasna.

Kada su mu rakete u vazдушnom prostoru F-22 može manevrisati sa preopterećenjem 5g i tako izbeći ulazak u protivničku zonu uništenja, uz istovremeni nastavak praćenja cilja.

Nišanje ove vrste može da objasni želju RV SAD da ponovo uvede bočne radarske rešetke na lovac F-22. Bočne rešetke sastoje se od manjih grupa primopredajnih modula. Oni su deo spoljašnjeg radarskog kompleta APG-77 od čije se ugradnje u raznim fazama projektovanja i osvajanja proizvodnje odustalo zbog nedostatka novca. Ipak, sav potreban prostor, napa-

janje, hlađenje i softverska podrška su zadržani, te je naknadna instalacija lako moguća. Bočne rešetke znatno produžavaju telo aviona u zadnju polusferu.

Usavršavanje tehnologije proizvodnje eksploziva u SAD

Zbog trenutnog zaostatka na polju tehnologije pogonskih goriva u odnosu na Rusiju, SAD rade na razvoju i osvajanju eksploziva CL-20. Ispitivanja se obavljaju u Mornaričkom centru za oružje na Kineskom jezeru u Kaliforniji. Ovaj eksploziv, iako u završnoj fazi razvoja, ima tri puta veću energiju od eksploziva HMX ili RDX koji predstavljaju najsavršenije eksplozive koji su napravljeni od Drugog svetskog rata do danas. CL-20 će se naći u primeni sredinom sledeće dekade. Ovaj eksploziv klasifikuje se kao eksploziv četvrte generacije, a baziran je na najnovijim dostignućima fizike, hemije i kompjuterskog modeliranja materijala.

Očekuje se i dalji razvoj materijala kao što su metastabilni interstici-

jalni kompoziti bazirani na tehnicima povezanih granula. Materijal se sastoji od sitnih granula oksidatora i goriva (kao što su aluminijum i teflon) izmešanih na ekstremno finoj nanometarskoj skali. Ovakav eksploziv može da oslobodi korisnu energiju i temperaturu u rasponu između energije koju razvijaju konvencionalna i termonuklearna oružja.

Zaključak

Uprkos znatno većem finansijskom i materijalnom potencijalu, sveobuhvatnim nastojanjima da u razvoju što savremenijih raketa vazduh-vazduh u hvate ritam i ostvare prestiž na ovom polju, Rusija još uvek diktira tempo. Objašnjenje za takvo stanje može se naći u orijentaciji Sovjetskog Saveza na vrlo temeljnim bazičnim istraživanjima, naučnom kapitalu i kadrovima koji su ostali nakon njegovog raspada. Međutim, razlika se sve brže smanjuje zahvaljujući, pre svega, ogromnom slobodnom kapitalu koji se ulaže u projekte koji donose najveću dobit.

Literatura:

- [1] International defense review 8, 9, 10, 11/1997.
- [2] International defence review 10, 11/1997.

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

NEODREĐENOSTI U ODRŽAVANJU

— prikaz knjige —

U izdanju NIRO »OMO — Održavanje mašina i opreme« iz Beograda i DQM (Dependability and Quality Management in Engineering) — istraživačkog centra za pouzdanost i upravljanje kvalitetom u tehnici iz Čačka objavljena je monografija NEODREĐENOSTI U ODRŽAVANJU dr Bran-ka Vasića, dipl. inž., docenta na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu — istaknutog stručnjaka iz oblasti teorije efektivnosti i tehnologije održavanja tehničkih sistema.

Recenzenti knjige su poznati naučnici i univerzitetski profesori dr Ljubiša Papić iz Čačka i dr Josif Aro-nov iz Moskve.

Kao moto knjige, koji rečito objašnjava povod za njen nastanak, autor je citirao našeg eminentnog naučnika prof. dr Mirka Vujoševića sa Fakulteta organizacionih nauka u Beogradu: »Pomodarci u nauci nekritično trče za novim teorijama i metoda-ma. Konzervativci ponekad smatraju da raspoloživim metodama mogu uspešno rešavati sve probleme. Treba biti razuman i nepristrasan. Ako pristup razmatranju problema treba da bude orijentisan na problem, a ne na metodu, onda je Teorija rasplnutih skupova osigurala svoje mesto u budućnosti«.

Osnovna ideja nastanka monografije je potreba da se spoji tradicionalni način održavanja, zasnovan na te-

oriji pouzdanosti, odnosno teoriji verovatnoće, uz podršku informacionih sistema i jedan novi prilaz koji nudi fazi logika, tj. teorija fazi skupova, koja omogućava korišćenje iskustva i zapažanja učesnika u procesu održavanja, a koja se, po pravilu, izražavaju verbalno.

Monografija predstavlja rezultat autorovog višegodišnjeg bavljenja teorijom fazi skupova i još većeg iskustva u istraživanju u oblasti održavanja tehničkih sistema. Osnovu monografije čini doktorska disertacija autora pod nazivom »Metod održavanja vozila sa stanovišta neizvesnosti u zadacima odlučivanja«, koja je odbranjena na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, 1996. godine.

Porastom složenosti tehničkih sistema, održavanje postaje sve važniji element njihovog ukupnog životnog ciklusa sa visokim stepenom uticaja na izlazne performanse, a posebno na upotrebnii kvalitet tehničkih sistema, tj. na njihovu pouzdanost, sigurnost funkcionisanja, gotovost, kao i na ukupne troškove. Ovakva višestruka važnost održavanja nameće potrebu njegove sistematske analize, saglasno metodama inženjerstva održavanja i drugih disciplina sistemskih nauka, a posebno teorije održavanja i teorije pouzdanosti.

Monografija NEODREĐENOSTI U ODRŽAVANJU prilazi problemima održavanja na jedan nov način sa sta-

novišta razmatranja neodređenih, nejasnih, neizvesnih i nedovoljno preciznih pojava i situacija u zadacima odlučivanja.

Poznato je da je za kvalitetno upravljanje održavanjem tehničkih sistema potrebno raspolagati podacima o pouzdanosti i pogodnosti održavanja resursnim potencijalima i podacima o radu i održavanju tehničkih sistema. Međutim, korisnik sistema najčešće ne raspolaže navedenim podacima za donošenje odluka u procesu održavanja. Odsustvo podataka ili njihova nedovoljna brojnost uzroci su neizvesnosti (rasplinitosti). Takođe, moguće je da se na matematički precizan način uzmu u obzir subjektivne tvrdnje, kao i inženjerske nedoumice u vezi sa stalno prisutnim neizvesnim ili nepreciznim ulaznim veličinama. Autor knjige predlaže rešenje za te probleme, na osnovu primene koncepta teorije fazi skupova, jer u slučajevima kada ne postoje mogućnosti za probabilistički prilaz može se primeniti fazi prilaz. Time se ostvaruje nastojanje da se inicira dalji razvoj teorije održavanja i teorije efektivnosti i to u jednom savim novom pravcu — pravcu koji ne ignoriše prisutne neizvesnosti i neodređenosti.

Polazeći od ovih osnova, monografija NEODREĐENOSTI U ODRŽAVANJU nudi novi savremeni prilaz u analizi i upravljanju održavanjem tehničkih sistema, koji se može prikazati kroz određeni broj karakterističnih problema koje razmatra, a to su:

— klasifikovani su izvori neizvesnosti i neodređenosti u zadacima odlučivanja kod upravljanja održavanjem tehničkih sistema;

— prikazana je metoda održavanja koja odluke zasniva na verbalnim iskazima ili zapažanjima o stanju sistema i iskustvu, ali i na osnovu informacija o otkazima iz informacionog sistema (statistička obrada podataka, zakoni pojave otkaza); odluke se donose na osnovu algoritama ap-

roksimativnog rezonovanja, čijom se izradom ova knjiga posebno bavi;

— prikazani su matematički modeli za analizu i određivanje pogodnosti održavanja i pogodnosti upravljanja održavanjem u prisustvu fazinosa (u domenu analize pogodnosti održavanja i do sada je korišćen heuristički prilaz, ali su metode dosta komplikovane, sa puno pravila za primenu i sl.);

— prikazan je metod analize performansi pouzdanosti (za potrebe plana održavanja) u prisustvu fazinosa, kao i odgovarajući modeli neodređenosti i izvršena njihova analiza; objašnjen je model analize stabla otkaza koji koristi fazi logiku.

U procesu održavanja složenih tehničkih sistema zadaci odlučivanja sve više postaju vrlo nerazumljivi i teški, pa je potrebno, s jedne strane, maksimalno iskoristiti sve raspoložive informacije i, s druge strane, smanjiti neizvesnosti, odnosno nepreciznosti koje sadrže ove informacije ili su prouzrokovane njihovom nepotpunošću.

Osnovni princip koji se u ovoj monografiji izlaže i koji uzima u obzir neizvesnosti u zadacima odlučivanja sastoji se u tome da:

— u situaciji u kojoj donosilac odluke raspolaže relevantnim i dovoljnim podacima (u statističkom smislu) donosi odluke na osnovu analiza koje omogućavaju poznati matematički aparati teorije pouzdanosti (određuje teorijske zakone raspodele srednjeg vremena rada do pojave otkaza, izračunava verovatnoću otkaza elemenata tehničkog sistema metodom analize stabla otkaza i dr.);

— u situaciji u kojoj postoje neizvesnosti ili neodređenosti i nepreciznosti u zadacima odlučivanja, donosilac odluke koristi fazi prilaz u određivanju karakteristika pogodnosti održavanja, na primer pouzdanosti i sl.;

— u određenim situacijama donosilac odluke kombinuje ova dva matematička aparata ili ove dve teorije u nastojanju da na najbolji način pristupi donošenju upravljačkih odluka.

Poslednjih godina uloženo je mnogo napora na razvijanju sistema veštačke inteligencije koji bi mogli da rešavaju probleme iz stvarnog života. Uvedene su različite analize radi opisanja neodređenosti. Među najistaknutijim kalkulacijama su probablističke metode (naročito Bajes), Dempster-Šeferova teorija, teorija fazi skupova i MYCIN i EMYCIN proračuni, metode simulacije (Monte-Karlo i Butstrep) i dr. koje se razmatraju u ovoj knjizi. Pored njih razmatra se i analiza i modeliranje neodređenosti u održavanju vozničkih parkova, sa dva aspekta:

— analiza neodređenosti performansi pouzdanosti,

— analiza neodređenosti performansi pogodnosti održavanja.

U slučaju nedostatka informacija za određivanje pokazatelja pouzdanosti tehničkog sistema javlja se problem analize moguće neodređenosti i razvoja odgovarajućih metoda proračuna koje omogućavaju kompenzaciju neodređenosti, tako što se kombinuje probablistički i fazi prilaz.

Takođe, za određivanje performansi pogodnosti održavanja koristi se fazi prilaz, i to za:

— predviđanje pogodnosti održavanja u fazi projektovanja i razvoja novog tehničkog sistema — što omogućava da se predvide resursi za održavanje i da se odrede proizvođački normativi po kojima se ovlašćenim servisima plaća održavanje sistema u garantnom roku;

— ocenu pogodnosti održavanja radi usavršavanja tehničkog sistema i poboljšanja njegovog rada;

— upoređenje pogodnosti održavanja različitih tehničkih sistema u is-

tom sistemu održavanja (jednostavno, kao upoređenje različitih ukupnih vremena »Indeks pogodnosti održavanja«), koje se rešava primenom fazi brojeva (autor je razvio originalni algoritam).

Autor posvećuje posebnu pažnju metodu održavanja motornih vozila i razmatra neodređenosti. U inženjerstvu održavanja tehničkih sistema postoje tri osnovne metodologije ili »filozofije« održavanja i to:

— održavanje prema pouzdanosti (OPP);

— totalno produktivno održavanje (TPO);

— održavanje prema radu (OPR).

Pošto su metodologije OPP i TPO u velikom stepenu međusobno suprotstavljene i različite u prilazu, a i u mnogim bitnim detaljima, logična su nastojanja da se između ova dva prilaza nađu srednja rešenja. Profesor Jovan Todorović predložio je OPR kao metodologiju kompromisnog karaktera, koja uključuje značajne novine. Autor monografije je u ovu metodologiju ugradio elemente fazi prilaza, tj. formirana su pravila odlučivanja i razvijeni odgovarajući algoritmi aproksimativnog rezonovanja. U fazi modelu ulazne promenljive predstavljaju tzv. lingvističke promenljive (na primer: »vreme zamene zadnjih kočnica je malo« ili »vozilo će kratko čekati na održavanje« ili »obloge kočnica su srednje istrošene« ili »vozilo će raditi vrlo kratko vreme«). Primenom drugih metoda teško je utvrditi međuzavisnost ovakvih promenljivih, pa se koristi fazi logika.

Posebnu vrednost monografije predstavljaju razvijeni softveri za modeliranje fazi funkcija pouzdanosti i pogodnosti održavanja za potrebe izvođenja simulacija i eksperimenata sa različitim oblicima funkcija pripadnosti i za potrebe modeliranja funkcije pouzdanosti. Programi su pisani u programskom jeziku S++ uz korišćenje

listinga programa za crtanje pojedinih oblika funkcija pripadnosti koji su standardni i dostupni u literaturi. Razvijeni softver testiran je do nivoa prototipa, modularnog je tipa, može se proširiti, testirati, prilagođavati WINDOWS okruženju, i dr.

Novi modeli i na njima zasnovani algoritmi i metode, koji su u monografiji prikazani, treba neposredno da iniciraju pravce daljeg razvoja teorije održavanja i teorije efektivnosti. U ovom području ima mnogo nedefinisanog, posebno kada se radi o neodređenosti, pa će monografija obogatiti fond znanja iz ovih naučnih oblasti.

U knjizi je ukazano na dalje pravce istraživanja — razvoj sistema za podršku odlučivanju zasnovanom na fazi prilazu. To bi podrazumevalo an-

gažovanje većeg broja stručnjaka. Uključivanje »mekih podataka«, odnosno procena, intuicije, ekspertskih ocena, prognoze i sl. u već postojeće modele donosi suštinski nov prilaz ranije poznatim konceptima u teoriji i praksi odlučivanja.

Cilj istraživačkog i stvaralačkog napora koji je uloženi u realizaciju knjige bio je da se stvori osnova za razvoj savremenog sistema za podršku odlučivanju. Problematika je opisana koncizno, ali celovito i jasno, na visokom naučnom i stručnom nivou.

Monografija NEODREĐENOSTI U ODRŽAVANJU, u kojoj se razmatra savremeni prilaz za rešavanje problema upravljanja održavanjem tehničkih sistema, na bazi fazi skupova i fazi logike, biće izuzetno korisna svim stručnjacima koji se bave ovom problematikom.

Dr Janko Viličić,
dipl. inž.

POVODOM »KRITIČKOG OSVRTA NA KNJIGU FIZIKA EKSPLOZIJE«

Posle brižljivog čitanja »Kritičkog osvrta na knjigu Fizika eksplozije«¹, čitalac koji je upućen u fiziku eksplozije, a poznaje i tekst knjige,² ostaje u nedoumici:

— zašto se kritički osvrt odnosi na manji deo teksta izloženog u knjizi (od ukupno 300 stranica, kritički se razmatraju 70 stranica), a osvrćući se na nekomentarisani, veći deo knjige, autor kritičkog osvrta samo konstatuje da su »prikazana fundamentalna razmatranja sa dosta jednačina, od kojih mali broj ima praktičnu vrednost«;

— zašto je autor kritičkog osvrta u nekim slučajevima svoje primedbe nastojao da proglasi konačnom istinom, iako mu je sigurno poznato da se radi o pitanjima o kojima stručnjaci imaju različita mišljenja.

Prva opšta primedba šireg značaja u »kritičkom osvrtu« polazi od konstatacije da je autor »... zahvatio široko područje iz oblasti eksploziva, prikazao je fenomene detonacije, načine funkcionisanja eksplozivnih supstanci i mogućnosti njihove primene ne samo u sredstvima ratne tehnike već i u civilne svrhe«, da bi se zatim

tvrdilo kako bi knjiga (Fizika eksplozije) »bila mnogo kvalitetnija da je imala odgovarajuće recenzente iz oblasti vezanih za hemiju, hemijsku termodinamiku i tehnologiju«. Nema sumnje da bi u ovom slučaju knjiga bila kvalitetnija (i znatno obimnija), ali tada ne bi mogla nositi naslov Fizika eksplozije, već neki drugi (npr. Hemija i fizika eksploziva i eksplozivnih procesa ili sl.).

Ne nagađajući koliko sam autor kritičkog osvrta razume razliku između hemije i fizike eksploziva i fizike eksplozije, poznato je da u svetskoj naučnoj i stručnoj literaturi ravnopravno egzistiraju, iako ne baš kao sinonimi, tri pojma: fizika eksplozije (npr. u literaturi na ruskom jeziku), fizika eksploziva (npr. na francuskom jeziku) i nauka o jakim eksplozivima na engleskom jeziku. Kod nas nije standardizovan naziv za naučnu oblast koja se bavi uslovima nastajanja i efektima eksplozivnih procesa, ali je na Katedri vojnog mašinstva Mašinskog fakulteta u Beogradu već više od 30 godina odomačen naziv fizika eksplozije (osnove fizike eksplozije su i danas deo nastavnog programa za predmet konstrukcija projektila, bojnih glava i upaljača, jedno vreme je postojao predmet odabrana poglavlja iz fizike eksplozije na III stepenu studija). Kompetentnoj stručnoj javnosti dobro je poznato da se u svetu, a i kod nas, problemima fizike eksplozi-

¹ Dr Mirjana Anđelković-Lukić, dipl. inž.: Kritički osvrt na knjigu Fizika eksplozije. Vojnotehnički glasnik, 5/1997, str. 601–609.

² Dr Aleksandar Stamatović: Fizika eksplozije, Beograd, 1996.

je, uglavnom, bave fizičari i mašinski inženjeri (npr. na poslednjem Simpozijumu o eksplozivnim materijama, održanom 4. i 5. novembra 1997. godine u Beogradu, prezentirano je 13 radova koji se po svom sadržaju mogu svrstati u fiziku eksplozije — autori 11 radova su mašinski inženjeri, a autori dva rada građevinski inženjeri).

Druga primedba u kritičkom osvrtu koja ima širi značaj odnosi se na pojmove eksplozije i detonacije. Autor kritičkog osvrta kaže: »U prve tri glave, koje uvode čitaoca u problematiku eksplozivnih supstanci, pojmovi vezani za funkcionisanje eksploziva su prilično nesistematični i konfuzno dati, bez preciznih definicija osnovnih pojmova, što izaziva nedoumicu kod čitaoca, naročito u poglavlju 1.2. gde su navedeni pojmovi eksplozije i detonacije.« Dakle, iz cele »konfuzije« koju zapaža autor kritičkog osvrta izdvaja, kao karakteristične, pojmove eksplozije i detonacije, da bi zatim izložio jedan mali traktat, uglavnom pozajmljen iz knjige Petra Maksimovića (Eksplozivne materije, Beograd, Vojnoizdavački zavod, 1985, str. 25—29), o deflagraciji, detonaciji i termičkom razlaganju. U ovom delu svoje kritike autor ostvrta:

— tvrdi da detonacija može da bude stacionarna i nestacionarna, a tačno je da je detonacija stacionarni oblik eksplozije (vidi npr. Baum, Stanjukovič, Sehter: Fizika vrzyva, Moskva, 1959³, str. 15—16);

— a priori insistira na definiciji iz spomenute knjige P. Maksimovića, po kojoj »eksplozivni procesi... mogu biti: deflagracija, detonacija i termičko razlaganje«, zanemarujući sledeću Maksimovićevu napomenu (str. 28—29): »Neki autori (Maksimović se poziva na: I. Calzia, Les substances explosi-

ves, Paris, 1969. i Encyclopedia of explosives, vol. 4, Pikalinny Arsenal, 1974), prave razliku između eksplozije i detonacije, pa je prema njima: — eksplozija oslobađanje velike zapremine gasova u veoma kratkom vremenskom periodu, a — detonacija eksplozija u kojoj se zona reakcije u jednom eksplozivnom punjenju pomera kroz slojeve dejstvom udarnog talasa«. Dakle, autor Fizike eksplozije nije izmislio »konfuznu« klasifikaciju eksplozivnih procesa već se opredelio za naučno zasnovaniju, u Maksimovićevoj interpretaciji nedovoljno objašnjenu;

— smatra da je »deflagracija uobičajen režim funkcionisanja baruta, raketnih goriva i nekih pirotehničkih smeša, a jedini režim funkcionisanja crnog baruta«; uobičajeni režim u ovim slučajevima je sagorevanje, jer je deflagracija po svojoj prirodi nestacionaran proces, neprihvatljiv u pogonskim delovima sredstava naoružanja.

Uverenje autora kritičkog osvrta da su pojmovi vezani za »funkcionisanje« eksploziva »prilično nesistematično i konfuzno dati«, proističe iz njegovog opredeljenja za prilično staru, ali očigledno još važeću hemijsko-tehnološku školu, što se može razumeti, ali se ne može prihvatiti njegovo insistiranje na pojmovima definisanim u okviru te škole i proglašavanje »konfuznim« drugačijeg pristupa, koji je prihvaćen u većem delu odgovarajuće stručne javnosti.

Autor kritičkog prikaza je protiv uvođenja naziva »jaki« naporedo sa »brizantnim«, odnosno »sekundarnim« eksplozivom. Međutim, kako reči »brizantni« i »sekundarni« nisu iz srpskog jezika, nije za kategorično odbacivanje ideje da se ove strane reči zame ne rečju domaćeg jezika, tim pre što se u stručnoj anglosaksonskoj literaturi koristi pojam »high explosives«.

Izvestan broj primedbi na tekst odeljka 1.3. (Podela eksplozivnih materija, str. 26—39) opravdan je (neu-

³ Iako je ova knjiga objavljena skoro pre četrdeset godina (drugo izdanje objavljeno je 1975. godine), ona ostaje trajno aktuelna, jer predstavlja do danas najtemeljitiiju i najpotpuniju monografiju iz oblasti fizike eksplozije.

jednačenost prikaza osnovnih grupa eksplozivna, korišćenje beta modifikacije ne zbog najveće gustine već zbog njene stabilnosti, pikrinska kiselina nije (savremeni eksploziv), ali ima i takvih koje to nisu. Bilo bi prirodno da se pretpostavi da je autor Fizike eksplozije, kao »diplomirani mašinski inženjer« (kako ističe autor osvrta), za tekst ovog odeljka, a i za neke druge odeljke prve dve glave (Opšte karakteristike eksplozivnih procesa i eksplozivnih materija, str. 17—39 i Osnovi termohemije i termodinamike eksplozivnih procesa, str. 41—55), koristio podatke koje je našao u odgovarajućoj literaturi. Na primer, autor kritičkog osvrta tvrdi da nitroceluloza nije viskozna (kurziv J. V.), a u već spomenutoj knjizi Petra Maksimovića, u odeljku o nitrocelulozi, piše (str. 157): »...viskozitet je jedna od osnovnih karakteristika nitroceluloze i bitno utiče na kvalitet koloidnih baruta...« (kurziv J. V.).

Izložene primedbe na pojedine delove teksta glave 2 takođe su samo delimično tačne, a delom su za raspravu. Na primer, autor kritičkog osvrta smatra da vodonik ne oksidira već »se sam oksidiše«, da je toplota formiranja — »toplota stvaranja«, da su »produkti sagorevanja proizvodi potpune oksidacije«, a ne puni (viši) oksidi, itd.

Neke primedbe u vezi sa tekstom glave 3 (Početni impuls i osetljivost eksplozivnih materija, str. 57—86) takođe zaslužuju komentar. Na primer, autor kritičkog osvrta smatra:

— da talk ne može da poveća osetljivost TNT-a (ne može da ima svojstva senzibilizatora u ovom slučaju), a u spomenutoj knjizi Fizika vzryva se kaže (str. 65): »Tako su eksperimenti Frolova i Bauma pokazali da se talk, koji je inače flegmatizator u odnosu na heksogen, istovremeno javlja kao aktivni senzibilizator u odnosu na trotil«; koliko je poznato, nema radova u kojima se negiraju rezultati Frolova i Bauma;

— da nije tačno da je brzina hemijske reakcije proporcionalna veličini $e^{-E/RT}$, a u knjizi Fizika vzryva (str. 77) kaže se: »Zavisnost brzine reakcije od temperature određuje se jednačinom Arenijusa $k=Ze^{-E/RT}$ «; dakle, sudeći prema ovoj jednačini, brzina reakcije je proporcionalna i veličini $e^{-E/RT}$;

— da nije tačno da se »ne zna mehanizam inicijacije kod eksploziva«, kako se navodno tvrdi na strani 74, i da je hemijska struktura tek jedan od uslova bitnih za osetljivost na inicijaciju eksploziva; a zapravo, na ovoj strani se razmatra veza između hemijske strukture i osetljivosti eksplozivne materije na spoljne uticaje i na kraju zaključuje da »hemijska struktura eksplozivne materije nije jedini faktor od koga zavisi njena osetljivost«;

— da objašnjenje uz tabelu 3.5. (eksperimentalno je utvrđeno da se sa povećanjem usitnjenosti jakih eksploziva znatno povećava njihova osetljivost na eksplozivni impuls) »nije zadovoljavajuće, jer... granulacija praškastih eksploziva se kreće od nekoliko desetina μm do 400—500 μm i više«. Ni tabela, ni objašnjenje nemaju za cilj kvantifikaciju već govore o karakteru pojave;

— da »žitkost« »kao stručni termin u našoj stručnoj literaturi ne postoji«. Pojava tečenja pod određenim uslovima karakteristična je za mnoge materijale u čvrstom stanju, pa je u poslednjem pasusu na strani 77 upotrebljena »žitkost« (moguće je da postoji i adekvatniji izraz, npr. tečljivost), za osobinu tečenja u određenim uslovima, u konkretnom slučaju eksploziva pod pritiskom u odgovarajućem alatu;

— da je objašnjenje u vezi »mrtvog presovanja«, dato na strani 78, neprihvatljivo i da je reč »o unutrašnjoj strukturi u presovanom eksplozivu, koja ne omogućava prenos detonacije (ni sa kašnjenjem) kroz eksploziv. Više autora pojavu »mrtvog presovanja« tumače na način kako je

to učinjeno na strani 78, na primer: »Navedenim ispitivanjima je utvrđeno da pojava 'mrtvog presovanja' ne karakteriše sama po sebi bilo kakvo posebno stanje materije, pri kome ona gubi detonacionu sposobnost, a sastoji se u tome što je ubrzanje gorenja usporeno, pa prelaz gorenja u detonaciju nije moguć kada su u pitanju mala punjenja« (Fizika vzryva, str. 63);

— da u tabelama 3.8 i 3.9 nije data masa uzorka, odnosno masa tega; to je tačno, ali ovi podaci nisu neophodni, jer na strani 82 se kaže: »Eksperimentalni rezultati navedeni u tabelama 3.8 i 3.9 daju predstavu (kurziv J. V.) o međusobnom odnosu ispitivanih eksploziva na osnovu njihove osetljivosti na udar«.

U delu kritičkog osvrta koji se odnosi na priloge ima sasvim tačnih zapazanja o kojima će nadamo se, autor Fizike eksplozije voditi računa, ako bude u prilici da priprema drugo izdanje. Međutim, ima i primeđbi koje su, najblaže rečeno, diskutabilne. Na primer, autor kritičkog osvrta se ne slaže sa podelom načina pre-

sovanja eksploziva prema obliku alata. Smatra da se masa eksploziva ne može meriti zapreminski, već se »eksploziv dozira zapreminski«; pojmovi »operacija tehnologije livenja« i »operacija tehnologije presovanja« su »terminološki besmisleni«, a pravilni su »tehnološke operacije livenja« i »tehnološke operacije presovanja«. Ova grupa primedbi je, kako se može videti, praktično beznačajna, pa komentar nije potreban.

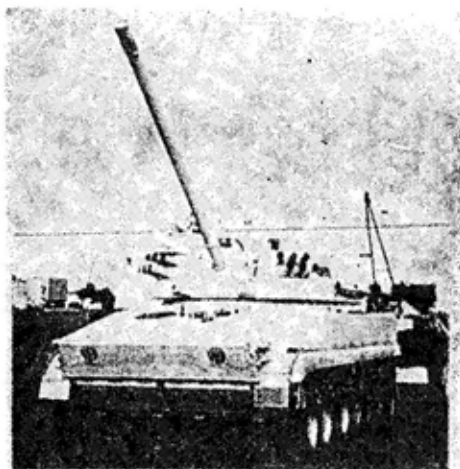
Prethodni redovi jasno pokazuju da je neophodno da se u okviru Jugoslovenskog komiteta za eksplozivne materije organizuje rasprava o prirodni eksplozivnih procesa, o aktuelnom stanju nauke u vezi sa nekim značajnim pojavama u oblasti fizike eksplozije i o osnovnim pitanjima terminologije u ovoj oblasti. Bilo bi poželjno da se ovom raspravom obuhvati i temeljnija analiza knjige Fizika eksplozije dr Aleksandra Stamatovića od one koju je načinio autor kritičkog osvrta koji, ima se utisak, nije bio kompetentan za materiju izloženu u većem delu knjige, pa je nije ni obuhvatio kritičkim osvrtom.



prikazi iz inostranih časopisa

SAMOHODNI ARTILJERIJSKI SISTEM 2S31 VENA*

Rusija je na tržištu Bliskog istoka prikazala samohodni artiljerijsko-minobacački sistem 120 mm 2S31 VENA. Sistem je zasnovan na šasiji dobro poznatog borbenog vozila pešadije BMP-3, a pošto je razvoj završen očekuje se ponuda inostranom tržištu i proizvodnja postojećim kapacitetima.



Artiljerijski sistem 2S31 VENA

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, septembar, 1997.

Za sistem 2S31 VENA morale su da se izvrše znatne promene rasporeda posade unutar vozila, kako bi se ugradila dva mitraljeza 7,62 mm PKT.

Kupola je zamenjena novom, mnogo većom, sa vertikalnim stranicama i zaobljenim prednjim delom. Modifikovano je i telo vozila, kao i poklopci na krovu. Vrata na zadnjem delu tela su uklonjena dok je manji poklopac postavljen pozadi, s leve strane. Postoje i dva otvora za snabdevanje municijom — jedan na desnoj strani tela i jedan na kupoli.

Sistem 2S31 VENA ima četiri člana posade: vozača smeštenog u središnjem prednjem delu tela, komandira desno u kupoli, nišandžiju levo u kupoli i punioca municije iza komandira.

Kupola se može zakretati za 360°, sa elevacijom oruđa od -4° do +80°. U slučaju potrebe, moguće je i ručno okretanje i dovođenje u željenu elevaciju.

Sistem 2S31 VENA opremljen je kompjuterizovanim sistemom za upravljanje vatrom, koji održava oruđe u elevaciji i po azimutu. Veruje se da 2S31 VENA može da kontroliše veći broj potencijalnih ciljeva.

Svako vozilo opremljeno je automatskim sistemima za osmatranje i orijentaciju. Kupola komandira mon-

tirana je na desnoj strani vozila, a u njoj se nalazi komplet elektrooptičkih senzora koji su pokriveni kada se ne koriste. Kupola se može okretati u luku od 90°. Senzorski komplet se sastoji od dnevnog nišana i laserskog daljinomera-označivača sa komponentama za koje se veruje da su korišćene na izviđačkom vozilu BMP-3K. Mitraljcz 7,62 mm PKT ugrađen je na kupoli.

Sistem 2S31 VENA opremljen je sa 6 električnopokretnih bacača dimnih ili obeležavajućih granata sa svake strane kupole. Takođe, top 120 mm sa laserskim detektorom montiran je u donjem delu kupole.

Cev topa kalibra 120 mm je ožljebljen i nema ekstraktor gasova ili gasnu kočnicu. Oruđe ima sposobnost ostvarivanja direktne i indirektno vatre sa novom familijom municije. Takođe, ono može da ispaljuje istu vrstu municije, kao i samohodni sistemi 2S9 i 2S23 i, prema dostupnim izvorima, kumulativni projektili imaju ekvivalentnu destruktivnu snagu kao i artiljerijski projektil 122 mm, odnosno 152 mm. Kao što ispaljuje specijalne ruske projektile 120 mm, uključujući kumulativne fragmentirane projektile (HE-FRAG), raketno podržane kumulativne projektile (HE-RAP) i kumulativne protivtenkovske projektile (HE-AT), takođe je moguće gađati i minobacačkom municijom 120 mm, proizvedenom na Zapadu.

Borbeni komplet čini 70 projektila 120 mm, od kojih je 36 smešteno u magacinu i uvek spremno za brzo punjenje. Maksimalna brzina gađanja iznosi 8 do 10 projektila u minuti. Takođe, sistem nosi 10 laserski vođenih projektila KITOLOV-2M, koji imaju maksimalni domet od 13 do 14 km sa verovatnoćom pogađanja 0,8 do 0,9. Projektil KITOLOV usvojen je pre nekoliko godina u kalibru 122 mm za samohodni artiljerijski sistem 2S1. Koliko je poznato, taj laserski vođeni projektil još nije u serijskoj proizvod-

nji. Maksimalni domet kumulativnih projektila je 13 km, dok je domet sa standardnim minobacačkim projektilima 7,2 km.

Borbena masa sistema 2S31 je 19 000 kg, i ima snažan motor sa odnosom snaga i mase 26,31 KS/t. Maksimalna brzina po putevima je 70 km/h, a akcioni radijus oko 600 km. Kao i ostali članovi familije BMP-3, tako i VENA ima amfibijske mogućnosti kretanja po vodi pomoću dva propelera ugrađena na zadnjem delu oklopnog tela.

V. Radić

NOVA FRANCUSKA KUPOLA SA TOPOM 105 mm*

Francuska kompanija Giat Industries okončala je ispitivanja sa gađanjem svoje poslednje verzije kupole TML 105. Kupola je modernizovana tako da omogućuje gađanje pokretnih ciljeva iz pokreta.

Prvi model kupole TML 105 razvijen je pre nekoliko godina i ispitivan na francuskom vozilu AMX-10RC 6x6, švajcarskom oklopnom borbenom vozilu MOWAG PIRANHA 10x10 i švedskoj guseničnoj šasiji HAGGLUNDS VEHICLE CV90. Poboľšana kupola TML 105 je u završnim ispitivanjima ugrađena na šasiju Giat Industries VEXTRA 8x8.

U toku ispitivanja ispaljeno je više od 80 projektila 105 mm, uključujući tipove APFSDS-T i HEAT. Stacionarni i pokretni ciljevi mogu se gađati do 2000 m kada je platforma stacio-

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, septembar, 1997.

narna ili pokretna. U kompaniji Giat Industries ističu da je odnos pogađanja bio gotovo 100%.

Kupola TML 105 ima tročlanu posadu — komandira i nišandžiju na desnoj strani, i punioca koji je smešten na levoj strani kupole. Izrađena je zavarivanjem od aluminijumskog oklopa, a može se ugraditi dodatni sloj oklopa, kako bi se postigla veća verovatnoća borbenog preživljavanja.

Osnovno naoružanje čini top Giat Industries 105 mm G2, koji je opremljen ekstraktorom dima, gasnom kočnicom i može ispaljivati asortiman standardne municije 105 mm. Sistem za punjenje topa projektovan je tako da olakšava ponovno punjenje kada je vozilo u pokretu. Maksimalna brzina gađanja iznosi 8 zrna u minuti.

Nova kupola TML 105 opremljena je električnim sistemom za upravljanje i potpunu stabilizaciju, izrađenim u švajcarskoj firmi SIG. Upravljanje vatrom povezano je sa digitalnim računarnom integrisanim u troosno stabilisani dnevno-noćni nišan, SAGEM 15 u koji je ugrađen i laserski daljinomer koji obezbeđuje veliku verovatnoću pogađanja. Komandir ima stabilisan dnevni nišan SAGEM na krovu kupole, sa monitorom, koji pokazuje isti termalni odraz cilja kao i kod nišandžije.

Kupola TML 105 može se modifikovati kako bi ispunila različite zahteve, kao što je ugradnja navigacionog sistema za kretanje po bojištu, komandnog sistema FINDERS, laserskog sistema za upozorenje, zatvorenog odbrambenog sistema GALIX (koji je već usvojen u Francuskoj, Švedskoj, Saudijskoj Arabiji i Ujedinjenim Arapskim Emiratima) i sistem lažnih maca za protivtenkovske rakete.

TENK NA PRAGU 21. VEKA*

Oblik tenka određuju zadaci i zahtevi postavljeni pri njegovom razvoju, pa se s pravom može postaviti pitanje — kako će izgledati tenk u prvoj četvrtini 21. veka.

Mogućnosti tenka za otkrivanje i uništavanje ciljeva, koji su tipični za njega, znatno će porasti. Biće rešen važan problem efikasnog otkrivanja maskiranih ciljeva malih dimenzija i u složenim uslovima vidljivosti. Ograničenja koja u tom smislu danas postoje najviše sprečavaju realizaciju potencijalno velikih mogućnosti tenka za uništavanje ciljeva.

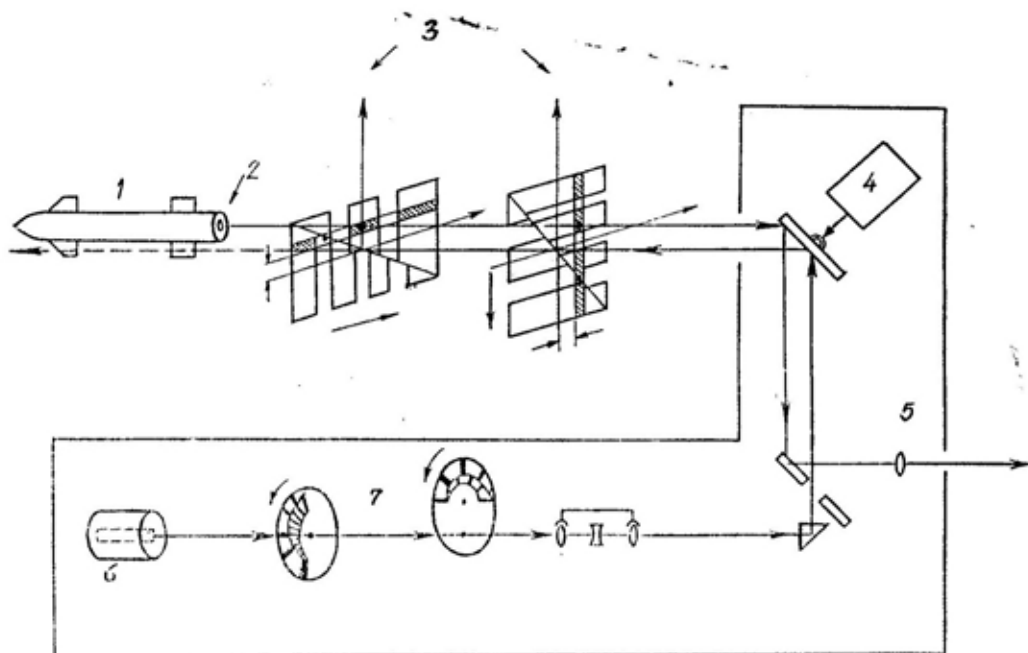
Perspektivni tenk, sa mesta i iz pokreta, u opsegu direktne i dobre vidljivosti na rastojanju 4 do 5 km mora za nekoliko sekundi sa visokom verovatnoćom (0,85—0,9) da otkrije sve opasne i važne ciljeve. Takve mogućnosti, ali na odgovarajućim manjim daljinama (2,5 do 3 km), mora da ima i u složenim uslovima — noću, po kiši, prašini i sl. Tenk će postati sredstvo naoružanja koje može da deluje danju i noću i po svakom vremenu. Te mogućnosti mogu biti postignute integrisanjem sistema osmatranja i automatskog pretraživanja, koji imaju dovoljno širok opseg elektromagnetnih talasa — optika, termovizija, TV niskog osvetljenja, radarski milimetarski opseg, a i računar sa mogućnošću prepoznavanja ciljeva na osnovu svih njihovih karakteristika. Pri tome se generisani lik cilja predstavlja na jedinstvenom displeju. U otkrivanju ciljeva obavezno aktivno učestvuje komandir tenka, koji raspolaže i komandama sistema za upravljanje vatrom.

U razvoju osnovnog naoružanja zadržava se kombinovana varijanta sa lansiranjem vođenih raketa kroz cev topa. Takav spoj ima sve prednosti topova (koji na daljinama do 2,5 km

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, juli—avgust 1997.

nemaju konkurenciju) i daje tenku dodatnu mogućnost da pouzdano uništava oklopljene ciljeve na većim daljinama — do 5 km.

Osnovno sredstvo za proboj oklopa ostaje potkalibarni projektil. Njegove mogućnosti biće znatno povećane ne samo preko energije na ustima ce-



Sl. 1 — Funkcionalna šema vođenja rakete koja se lansira iz tenka

1 — vođena raketa, 2 — prijemnik zračenja, 3 — signali vođenja, 4 — žirokardan, 5 — nišan, 6 — laserski ozračivač, 7 — modulatori

Kalibar topa se povećava na 140—155 mm, sa boljim balističkim performansama (pritisak 6500 do 7500 kg/cm³) pri neznatnom povećanju mase. Cev ostaje glatka, što pri dobrim balističkim performansama daje lakšu i čvršću konstrukciju. Kalibar 140—155 mm omogućava povećanje probojnosti potkalibarnih projektila i mogućnosti kumulativnih projektila, dobijanje fugasnih projektila koji mogu pouzdano uništiti tenk zahvaljujući fugasnom (impulsnom) dejstvu i bez probijanja oklopa i realizaciju projektila sa aerosolnim eksplozivom koji veoma efikasno dejstvuju po živoj sili (čak i kada se nalazi u skloništima), a i na oklopljene ciljeve.

vi već i korišćenjem za jezgro veoma teškog (19,5 g/cm³) i čvrstog (u vidu monokristala) elementa od osiromašenog urana, zajedno sa daljim povećanjem odnosa dužine prema prečniku. Svi projektili sa kumulativnom bojnom glavom imaju konstrukciju (tandem) koja omogućava savlađivanje dinamičke zaštite.

Kako je tenk višenamensko oružje, u njegovom borbenom kompletu broj protivoklopnih projektila ne treba da bude veći od 50%. Drugu polovinu treba da čine univerzalni projektili koji će, zadržavajući dovoljnu sposobnost uništenja oklopnih ciljeva, efikasno uništavati živu silu i neoklopljene ciljeve. Takvi projektili — par-

čadno-kumulativni ili parčadno-fugasni treba da imaju mogućnost aktiviranja na putanji sa usmeravanjem parčadi unapred, pri čemu će dejstvo projektila i njihova balistika biti programirani u zavisnosti od karakteristika cilja.

U tenkovima mogu naći primenu tečni metali, što povećava mogućnosti kombinovanja i uvećanja borbenog kompleta. Takve materije, zahvaljujući niskomolekularnom stanju, omogućavaju povećanje tačnosti potkalibarnih projektila (povećanjem početne brzine), a i programiranje balistike univerzalnih projektila.

Imajući u vidu nove mogućnosti perspektivnih tehničkih rešenja, može se očekivati povećanje probojnosti potkalibarnih (kinetičkih) i kumulativnih projektila. Međutim, ne može se reći da će biti postignuto potpuno uništenje protivničkih tenkova. Takmičenje projektila i oklopa će se nastaviti. Pošto su performanse potkalibarnih i kumulativnih projektila već bliske graničnim, dobre perspektive u tom pogledu ima fugasni projektil kalibra 140—155 mm.

Veličina borbenog kompleta tenka, zahvaljujući novoj konstrukciji, ostaće na nivou 40 do 45 granata (pri običnom punjenju), iako se kalibar povećao na 140—155 mm. Sa tečnim metalnim materijalima borbeni komplet se može povećati na 60 do 65 granata, što je dovoljno kada se ima u vidu povećano dejstvo na cilj.

Automat za punjenje topa postaće standardna komponenta budućeg tenka, a primena tečnih metala omogućiće pojednostavljenje njegove konstrukcije i učiniće ga kompaktnijim.

Kao standardne komponente sistema naoružanja, koje obezbeđuju visoku tačnost gađanja, zadržaće se električni stabilizator u dve ravni sa nezavisnom linijom nišanjenja i digitalni balistički računar sa kompletom davača preko kojih se dobijaju podaci neophodni za gađanje (daljina do cilja,

brzina cilja, bočni vetar, temperatura, pritisak i dr.).

Tenku je neophodan optički daljinomer za merenje daljine do cilja koji nema vertikalnu projekciju, kao što je to npr. streljački zaklon. Može se očekivati uvođenje sistema koji omogućava automatsko, tačno navođenje na izabrani cilj i praćenje cilja pri njegovom kretanju i manevrisanju tenka. Kvalitet rada sistema stabilizatora oružja može biti znatno poboljšan upravljivim sistemom amortizacije šasije tenka (stabilizacija šasije). Tačnost gađanja iz pokreta je na nivou 80 do 85% od tačnosti gađanja sa mesta.

Sistem za upravljanje vatrom obezbediće visoku verovatnoću pogađanja cilja malih dimenzija (sa verovatnoćom 0,85 na daljinama do 2500 m) balističkim projektilom. Na većim daljinama koristeće se vođene rakete koje imaju verovatnoću pogađanja 0,9. U razvoju vođenih protivoklopnih raketa može se očekivati povećanje brzine dejstva, dalji razvoj sistema vođenja po laserskom snopu i realizacija glava za samonavođenje koje se orijentišu prema liku cilja, a ne samo na kontrast. To će obezbediti da se ne reaguje na razne mamce, ostvariće se princip »ispali-zaboravi« i izbrisati razlika u tačnosti gađanja sa mesta i iz pokreta. Uvođenjem programirane putanje leta sa samonavođenjem na završnom delu omogućiće pogađanje tenkova u kupolu, koja ne može biti pouzdano zaštićena.

U doglednoj budućnosti vođene rakete ostaće veoma efikasna dopuna topa, omogućavajući pouzdano uništavanje ciljeva malih dimenzija na daljinama 2500 do 5000 m. Veći deo ciljeva (do 70%) nalazi se na daljinama do 2500 m, gde ih sigurno i ekonomično uništava top visokih balističkih performansi.

Što se tiče uništavanja ciljeva u vazдушnom prostoru, taj zadatak treba u tesnom međusobnom sadejstvu

da rešavaju tenkovi sa borbenim vozilima PVO i borbenim vozilima pešadije. Perspektivni tenk za te potrebe treba da zadrži samo lako PVO naoružanje (mitraljez 12,7 mm i top 20 mm), sa mogućnošću prijema podataka o cilju spolja. Za gađanje helikoptera tenk može koristiti i vođene rakete.

Zbog pojavljivanja i usavršavanja velikog broja različitih sredstava za borbu sa tenkovima, neophodan nivo njihove zaštićenosti u današnje vreme postaje, a to će ostati i u doglednoj budućnosti, najvažniji, najsloženiji i najteže rešiv problem. Na osnovu novih tehničkih rešenja taj zadatak može i mora biti uspešno rešen. Očigledno, ne misli se na potpunu neuništivost tenkova. U borbenim dejstvima gubici su neizbežni, važno je samo da oni nisu toliki da dejstva na prednjoj liniji postaju neuspešna.

Taj problem se rešava kompleksno — ne samo povećanjem individualne otpornosti tenkova, već korišćenjem ukupnih napora jedinica za opšte maskiranje, aktivno protivdejstvo protivničkom izviđanju i aktivno vatreno dejstvo po njegovim sredstvima naoružanja. Takođe, važno je postizanje nadmoći u odnosu snaga.

Standardna oprema tenkova postaće komplet uređaja koji znatno (1,5 do 2 puta) smanjuju mogućnost da ih otkriju izviđačka i vatrena sredstva protivnika (kao i sredstva naoružanja velike preciznosti). Maskiranje u svim opsezima zračenja biće ostvareno smanjivanjem siluete, »izglađivanjem« oblika tenka ili primenom navlaka, korišćenjem različitih premaza, uključujući i one koji slabe reflektovano zračenje, kao i primenom uređaja sa toplotnim zračenjem. Razne vrste smetnji proizvodice se primenom aerosola i ispaljivanjem imitatora cilja, a takođe i aktivnim optičko-elektronskim protivdejstvom.

Osnovu povišene otpornosti tenka na razna uništavajuća dejstva činiće optimalna kombinacija »pasivne« za-

štite oklopnog tela, dinamičke zaštite i aktivne zaštite. Važan uslov je i racionalna konstrukcija, koja omogućava smanjenje oklopne površine, a samim tim i mase, kao i racionalni razmeštaj vitalnih elemenata u oklopljenom prostoru.

Još nisu iscrpljene sve mogućnosti poboljšanja oklopljene konstrukcije. Ona se usavršava zahvaljujući novim materijalima i konstrukcionim rešenjima, takođe i preko direktnog povećanja mase, uz optimalno variranje debljine oklopa i korišćenje velikih nagibnih uglova (65° — 70°).

Osnovni elementi konstrukcije oklopa imaće kombinovanu višeslojnu strukturu — nekoliko slojeva oklopnog čelika između kojih će se nalaziti elementi različite namene (neki mogu biti zamenjeni pri pojavi novih uslova).

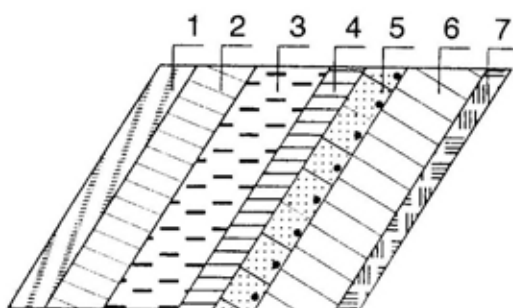
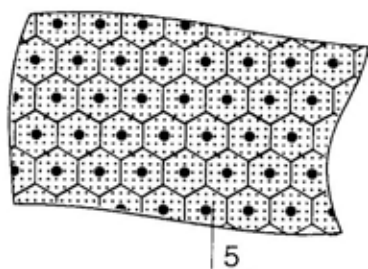
Otpornost čelične osnove može biti povećana korišćenjem novih konstrukciono-tehnoloških rešenja, npr. armiranje čelika superjakim ugljeničnim vlaknima. Obavezan sastavni deo kombinovanog oklopa ostaće sloj (slojevi) relativno lakog materijala sa povećanom specifičnom otpornošću kumulativnom mlazu. Primena sloja sa elementima na bazi osiromašenog urana daje veoma uočljiv efekat za potkalibarne projekte, a u nešto manjem stepenu za kumulativne projekte (istina, to dovodi do određenog povećanja mase oklopa).

Ugrađena dinamička zaštita zasnovana je na dejstvu eksplozivnog punjenja na prodirući kumulativni mlaz ili kinetički projektil, znatno snižavajući probojnu sposobnost kumulativnih projektila i u manjem stepenu potkalibarnih projektila. Sa pojavom tandem-kumulativnih bojnih glava, dinamička zaštita, takođe, treba da bude tandem-tipa.

Zbog brzog razvoja sredstava za uništenje i relativne konzervativnosti oklopa, poželjno je da se u konstrukciji koristi blok-modularni princip, ta-

ko da se na osnovnu konstrukciju oklopa postavljaju zaštitni blokovi. Može ih je menjati pri pojavi novih tehničkih rešenja za oklop ili pri usavršavanju sredstava za uništenje.

Na taj način na budućem tenku može se postići visoki nivo zaštićenosti od projektila tenkovskih topova i



Sl. 2 — Šema višefunkcionalnog segmenta oklopa:

1 — maskirni premaz, 2, 4, 6 — čelik, 3 — staklena vlakna, 5 — keramički elementi sa eksplozivnim punjenjima, 7 — nosač

najjačih protivoklopnih vođenih raketa, a tim pre i od lakih protivoklopnih vođenih raketa, ručnih protivoklopnih sredstava, lakih kumulativnih elemenata i avionskih topova 30 mm.

Bez obzira na tako visoke pokazatelje, ostaje problem zaštite od potkalibarnih projektila i moćnih protivoklopnih vođenih raketa. Taj problem će se rešavati primenom aktivne zaštite, koja se zasniva na otkrivanju dolazećih projektila pomoću radio-loka-

cionog sistema i njihovom uništenju na određenom rastojanju kontrahicima iz oruđa postavljenih na tenku. Aktivna zaštita mora da dejstvuje selektivno (zbog ograničenog borbenog kompleta) samo na ona sredstva za koja oklopno telo nije dovoljna zaštita.

Samo aktivna zaštita može radikalno da razreši veoma težak problem — pouzdanu zaštitu od udarnog (impulsnog) dejstva snažnih fugasnih i teških kinetičkih projektila. Jedino uništenje tih projektila na dovoljnom rastojanju od tenka može preduprediti njegovo potpuno izbacivanje iz stroja.

Što se tiče zaštite od mina, taj zadatak treba da rešavaju inženjerske jedinice i čistači mina sopstvenih tenkova. Tu nalaze primenu i sistemi za otkrivanje i dezaktiviranje nekih tipova mina na daljinu.

Sprovođenje mera za povećanu zaštitu tenkova važno je ne samo zbog smanjenja broja uništenih tenkova već i zbog sniženja stepena oštećenja, kako bi bilo moguće da što veći broj oštećenih tenkova bude u kratkom roku opravljen u remontnim radionicama i vraćen u stroj.

Rešenje tog problema postići će se racionalnim unutrašnjim rasporedom podsistema i kompleksnim merama za zaštitu osetljivih mesta iza oklopnog tela — ojačanja oklopa kod odseka za gorivo i municiju, zaštita rezervoara za gorivo (uključujući i korišćenje inertnih gasova), »izduvni« ventili u odseku za municiju. Važnu ulogu imaće efikasan i brzodejstvujući protivpožarni sistem. Opasnost od požara i eksplozije tenka pri borbenim oštećenjima oklopa mora i može biti smanjena nekoliko puta.

Dakle, procenjujući mogućnosti razvoja sredstava za uništenje i sredstava zaštite, može se zaključiti da će se u doglednoj budućnosti održavati ravnoteža sa malim otklonima u jednu ili drugu stranu. U svakom slučaju, budući tenk se neće moći lako pobediti, bez obzira na mogućí razvoj i najmoć-

njih protivoklopnih sredstava. Posao konstruktora tih sredstava nije manje složen od obezbeđivanja neophodne opšte zaštite tenka. Ekstremni slučajevi — veliki gubici tenkova na Bliiskom istoku 1973. godine (za nedelju dana bilo izgubljeno 50% tenkova) i pri zauzimanju Groznog, kao i veoma mali gubici saveznika u ratu u Perzijskom zalivu (bilo je izgubljeno samo 18 tenkova) — ne mogu se uzeti kao tipični.

Što se tiče zaštite od nuklearnog oružja, taj problem treba da se rešava u okviru obezbeđenja zaštite od običnih sredstava uništavanja. Novim konstrukcionim rešenjima (celokupna posada u »kapsuli«) mogu biti postignuti visoki pokazatelji stepena smanjenja prodiruće radijacije pri eksploziji i pritiska fronta udarnog talasa bez posebnih povećanja mase i zapremine.

D. Bogdanović

AKTIVNA ZAŠTITA ZA TENKOVE*

Ideja aktivne zaštite za tenkove bila je prvi put pokrenuta u jednom od projektnih biroa u Tuli kasnih pedesetih godina kao posledica velikog napretka u razvoju kumulativnih protivoklopnih sredstava. Konceptija zaštite zasnivala se na sektorskom principu, pri čemu je površina tenka bila podeljena na nekoliko sektora koji se štite pomoću ugrađenih protivdejtviujućih sistema naoružanja.

Operativni postupak uključuje otkrivanje dolazećeg protivtenkovskog

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, septembar—oktobar 1997.

projektila, merenje parametara leta i, na kraju, njegovo uništenje. Iako vrlo jednostavna ideja, njena realizacija bila je teško ostvarljiva pomoću sredstava koja su tada bila na raspolaganju.

Nije bilo poznato kako se otkrivaju protivtenkovska sredstva malih razmera i još uz prisustvo ogromne buke. Nije bilo jasno ni kako ti napadajući projektili mogu biti uništeni. Takođe, bio je problem odrediti bezbedno rastojanje od tenka na kojem se mogu uništavati projektili, a da se ne oštete delovi tenka, posebno ploče namenjene za slabljenje kinetičke energije zrna. Ne manje problema bilo je vezano za određivanje preciznih karakteristika eksplozivnog tela informacionim sistemom.

Ove probleme uspešno su razrešili istraživački instituti i projektantski biroi odbrambene industrije, radio-industrije, mašinske i elektronske industrije udruženim naporima. Osnovni tehnički zahtevi razvijeni su u sistem za aktivnu zaštitu tenka, a njegova sledeća implementacija u moderan tehnički sistem.

Od 1977. do 1982. godine istraživanje i projektni rad bili su usmereni na kreiranje sistema za aktivnu zaštitu tenka DROZD. Taj sistem bio je namenjen za zaštitu tenka T-55A od protivtenkovskih vođenih raketa i protivtenkovskih granata.

U 1983. godini tenk T-55A opremljen je sistemom DROZD i uveden je u naoružanje tadašnje sovjetske armije.

Sistem DROZD sastoji se od radara, naoružanja i kontrolnog sistema. Radar otkriva i prati napadajuće protivtenkovsko oružje, a sistem naoružanja obezbeđuje lansiranje municije za zaštitu i njihovu eksploziju na određenom rastojanju.

Uništenje napadajućeg protivtenkovskog oružja obezbeđeno je dejstvom visokoeksplozivne parčadi zaštitne municije.

Kontrolni sistem namenjen je da uključi i isključi sistem za aktivnu zaštitu, kontroliše sve komponente sistema i ukazuje na valjanost municije za zaštitu. Kontrolni sistem, takođe, sadrži uređaj koji blokira vatreni sistem za aktivnu zaštitu, dok su otvoreni poklopci tenka i uređaj koji podržava generator koji obezbeđuje opaljenje metka za zaštitu u momentu kada je neispravan sistem za snabdevanje električnom energijom tenka.

Prema strukturi sistem za aktivnu zaštitu sastoji se od četiri dela naoružanja, od kojih je svaki popunjen sa dva metka za zaštitu, tri radarska modula, kontrolne table i priključaka za napajanje energijom i funkcionalnu povezanost komponenata sistema.

Sistem za aktivnu zaštitu montiran je na kupoli tenka. Tako je moguće menjati orijentaciju sistema okretanjem kupole tenka.

Delovi naoružanja i supervisokofrekventni moduli radara postavljeni su simetrično na osu kupole, dok je modul opreme radara postavljen na zadnjem delu kupole. Kontrolna tabla smeštena je unutar kupole naspram komandira tenka.

Sistem za aktivnu zaštitu je posle uključivanja odmah spreman za automatski rad, a njegove karakteristike su:

zaštitna zona:

— po azimutu	— —	$\pm 40^\circ$
— po elevaciji	— —	$-6 + 20^\circ$
brzina napadajućih raketa i granata	— —	70–700 m/s
verovatnoća pogađanja ne manja od	— —	0,7
potrošnja energije	—	700 W
masa opreme za zaštitu		1000 kg

Operativne karakteristike ne čine ograničenja za redovne eksploatacione

uslove tenka. Masa i dimenzije sistema za aktivnu zaštitu prilagođene su transportnim mogućnostima tenka. Tenk opremljen sistemom DROZD može savladivati vodene prepreke dubine do 5 m. Elektroenergetska kompatibilnost obezbeđena je za grupu tenkova veličine do 30 vozila. Pri opaljenju metka za zaštitu svetlosni signal specijalnog sektora povezuje se sa kontrolnom tablom, tako da može da služi i kao pokazivač cilja.

Opremanje serijskih tenkova sistemom za aktivnu zaštitu DROZD može smanjiti gubitke u raznim borbenim uslovima za 2 do 3 puta.

M. Krbavac

NOVI PROJEKTI RUSKIH AVIONA*

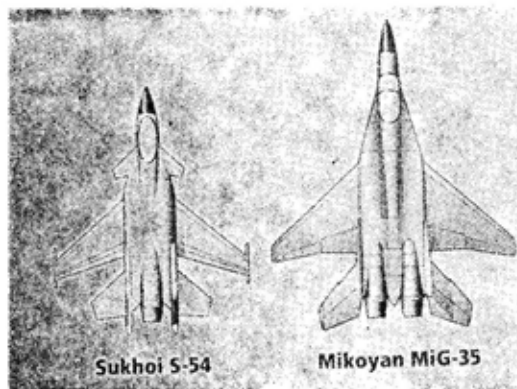
U vreme kada Evropa i SAD jedva da mogu podneti cenu dva velika projekta borbenih aviona (RAFALE i EUROFIGHTER, te F-22 i novi lovac JSF), ruske vazduhoplovne kompanije okreću se ka novim razvojnim programima. Prema informacijama, postoji pet takvih programa: Mikojanov višenamenski borbeni avion (poznat pod nazivom PROJEKAT 1-42) i Suhojev S-37 (do sada poznat kao Su-32), koji su nastali kao pandan američkom modernom taktičkom lovcu F-22, Mikojanov LFI i Suhojev S-54 — laki lovci i MiG-35 — lovac srednje veličine.

Mada se za četiri od pet ovih aviona očekuje da uskoro polete, nije bilo zvaničnih informacija od poslednje vazduhoplovne izložbe u Žukovskom po-

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, septembar, 1997.

red Moskve. Smatra se da je to siguran znak osjetljivosti programa razvoja koji im se pripisuje.

Najnapredniji su teški lovci, koji će za nekoliko meseci biti spremni za prve letove. Vodeći program, nekoliko godina analiziran i poznat, ali javno



nije prikazan, jeste Mikojanov višenamenski taktički lovac MFI.

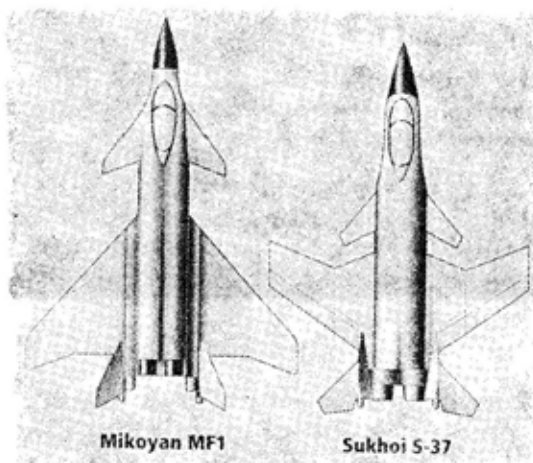
Prototip postoji od 1991. godine, kada je bio planiran prvi let. Dugotrajno pomanjkanje sredstava u ruskom vazduhoplovstvu doprinelo je da avion još ne poleti, mada su sva ispitivanja završena 1994. godine. Informacije o MFI su oskudne i pored nastojanja Mikojana da 1995. i 1997. godine dobije dozvolu za prikazivanje aviona, ali je on ostao u hangaru tokom vazduhoplovne izložbe MAKS '97.

Mikojan MFI (takođe poznat kao PROJEKAT 1-42 ili 1-44) jeste teški lovac sa konfiguracijom kanard, a pokreću ga dva snažna ventilatorska mlazna motora sa upravljivim vektorom potiska. Nominalna masa pri poletanju je 28 000 do 29 000 kg (maksimalna 35 000 kg), uz potisak od 350 kN, a odnos potiska i mase je oko 1,25:1.

Kao i američki lovac F-22, ruski MFI je sposoban za supersonični let i ima velike manevarske sposobnosti.

Njegov maksimalni domet supersoničnom brzinom je 2 000 km, a subsoničnom 4 000 km. Integrisana avionika uključuje fazni radar NIIP-N014, radar za osmatranje pozadine, sisteme za poboljšanu navigaciju i elektronske protivmere. Naoružanje uključuje nove rakete V-V svih dometa i taktičko oružje V-Z. Standardno oružje je raketa srednjeg dometa R-77M (NATO oznaka AA-12 ADDER). Mada je MFI još uvek prioritetan za rusko vazduhoplovstvo, finansijska strana programa je oskudna. Stoga je verovatno da će se redukovati programi ispitivanja, što umanjuje i nade za skoriju serijsku proizvodnju. Jedan od razloga za usporeni napredak na skupom i sofisticiranom MFI jeste i zaključak grupe MiG — MAPO da se ne planira izvozna varijanta. Zbog toga kompanija nije rado izdvojila potrebna sredstva za programe ispitivanja.

Suhojev novi lovac, o kojem ruski zvaničnici još čute, znatno je jeftiniji i neznatno manji od MFI. Međutim, početne informacije upućuju na zaključak da je on jednako sofisticiran kao i MFI, a njegova oznaka je menjana od Su-37 do Su-32. Oznaka Su-37 najpre je korišćena za označavanje lakog višenamenskog lovca koji



su tokom osamdesetih godina zahtevale zemlje bivšeg Varšavskog ugovora.

Avion Su-37 je pripremljen za svoj prvi let. Njegov projekat podrazumeva unapređene stealth karakteristike i unutrašnji prostor za smeštaj naoružanja. Pokreću ga dva ventilatorska mlazna motora AL-41F, slično kao i MFI.

Mikojanov LFI ili Suhojev S-54, ako ih izabere rusko vazduhoplovstvo, biće idealna zamena za teški i skuplji MFI ili Su-37. Avioni LFI i Su-54 su u fazi preliminarnog projektovanja, mada svaki od njih ima dugu istoriju nastanka. LFI je, na primer, ozvaničen tokom osamdesetih godina kao Tip-33, bio sličan američkom F-16. Pokretaće se jednim motorom RD-33, koji se koristi i na MiG-29.

Posle deset godina zastoja LFI projektovanje je ponovo oživelo. Prema ruskim zvaničnicima, LFI još uvek zadržava prvobitnu masu, ali se razmatraju varijante pogona sa jednim i dva motora. Zahteva se odnos potiska i mase od 1,3:1, kao za sve avione pете generacije.

Su-54 je kao laki borbeni koncept razvijen iz trenažnog aviona pre 16 godina. On je sličan avionu Su-35, ali je manji i koristi tandembrokrilnu konfiguraciju: kanard, krila i zadnje površine. Pokreće se jednim ventilatorskim mlaznim motorom, verovatno SALTUR AL-31F. Nema indikacija o promenljivom vektoru potiska, mada proizvođač motora UFA tvrdi da izrađuje motore sa »3D upravljivom mlaznicom za jednomotorne borbene avione«. Takođe, u ponudi je FAZOTRON SOKOL radar za upravljanje vatrom sa maksimalnim dometom od 180 km.

Prvi let Su-54 očekuje se tokom 1998. godine u verziji borbeno-trenažnog dvoseda. Program je primarno orijentisan na izvozno tržište kako bi

se iskoristili uspesi težih aviona Su-27 i Su-30, u zemljama kao što su Kina i Indija.

Budućnost svih ovih aviona je neizvesna. Naime, rusko vazduhoplovstvo nije kupilo nijedan avion u 1997. godini, a situacija se u dogledno vreme, verovatno, neće poboljšati. Zbog nedostatka novca, kao i činjenice da je modernizacija lovaca Su-27 i MiG-29 u fazi duboke operacionalizacije, potpuna zamena flote lovačkih aviona u Rusiji »zaleđena« je na period između 2008. i 2010. godine.

Dok neizvesnost oko zamene flote teških i lakih lovaca u ruskom vazduhoplovstvu traje, Mikojan radi na drugom tipu lovca — težem od MiG-29, ali lakšem od Su-27. Taj »srednji« lovac nosi oznaku MiG-35, ali se smatra da je to »visoko modernizovani Mig-29M« (MiG-29M je poboljšana varijanta MiG-29) ili MiG-29M2. Preliminarno projektovanje je završeno, a očekuje se da prvi prototip bude na vazduhoplovnoj izložbi u Farnborou u Velikoj Britaniji. Prvi let očekuje se početkom 1999. godine.

MiG-35 je veći od MiG-29M, sa razmahom krila od 12 m. Ima povećani prostor u koji se mogu smestiti dodatni rezervoari za gorivo, tako da je domet MiG-35 oko 3500 km, a krstarećom brzinom oko 4000 km. Avion će imati poboljšanu avioniku i snažnije motore sa promenljivim vektorom potiska. Potpuno integrisana digitalna avionska oprema uključivaće radar FAZOTRON RD-35, kao i letno-navigacione i samoodbrambene sisteme. Fazni radar sa elektronskim skaniranjem može pratiti 24 nezavisna cilja, od kojih četiri simultano. Domet pretraživanja u frontalnoj poziciji je 140 km, a pozadi oko 65 km. Ispod krila aviona nalazi se 10 podvesnih tačaka za naoružanje, i predviđa se da će nositi čitav asortiman ruskog naoružanja V-V i V-Z. Biće pokretan novim ventilatorskim mlaznim motorom KLIMOV RD-33 sa

vektorom potiska 3D. Maksimalni potisak biće oko 98,1 kN. Stealth karakteristike biće manje radikalne nego što se planira kod MFI ili Su-37, a zasničaju se na novim materijalima koji apsorbuju radarsko zračenje i novim prevlakama.

Ostali ruski razvojni programi u vazduhoplovstvu odnose se na »visoku modernizaciju« aviona koji su sada u upotrebi. Modernizacija MiG-29 usmerena je ka poboljšanju performansi, posebno manevarskih mogućnosti i dometa, ka ugradnji nove avionike i naoružanja. Radikalni put je i povećanje manevarskih mogućnosti ugradnjom motora RD-133.

MiG-29SMT sa kabinom od stakla, naoružanjem V-V i dodatnim rezervoarima za gorivo predstavlja znatno poboljšanu nadgradnju MiG-29. Ovaj potpuno modernizovani avion prikazan je na izložbi MAKS u avgustu 1997. godine, a njegov prvi let očekuje se u 1998. godini.

Mikojan, takođe, obećava prvi let modernizovanog MiG-29UB borbenog trenažnog aviona, koji će biti opremljen radarom (sadašnji model MiG-29UB nema radar), što će mu pružiti višenamenske mogućnosti za borbu i operativne treninge.

Su-27SM (izvozna oznaka SU-27SMK) ima sličan paket modernizacije kao i MiG-29SM, a odvija se u dve faze. U prvoj avion će dobiti 12 podvesnih tačaka za naoružanje (umesto sadašnjih 10), sistem punjenja gorivom u vazдушnom prostoru, povećanu zapreminu rezervoara i snabdeće se spoljnim rezervoarima. Biće sposoban da nosi nove rakete V-V srednjeg dometa R-77 tipa »ispali i zaboravi«, a poboljšaće mu se softver i kompjuter za upravljanje vatrom. U drugoj fazi Su-27SM će se opremiti vođenim raketama V-Z i novom avionikom (za izvozu varijantu obezbeđuje se francuska avionika). Radar će, takođe, biti zame-

njen radarom nove generacije ŽUK-27, umesto sadašnjeg MJEČ N001.

Očekuje se da će serijska proizvodnja Su-37 sa promenljivim vektorom potiska za Rusiju početi 2005. godine. Pored Su-30MK, i Su-35 i Su-37 su namenjeni za izvoz, a rusko vazduhoplovstvo smatra da su to primarni demonstratori tehnološkog napretka. Takođe, treba pomenuti i postojeći program modernizacije MiG-31 FOXHOUND (novi avion nosiće oznaku MiG-31F). Sistem naoružanja biće kompletiran sa Kh-31A/P, Kh-59M i Kh-29T/L raketama tipa V-Z, kao i vođenim bombama KAB-1500 L/T ili KAB-500 Kr, a nova laserska i televizijska oprema za kontrolu naoružanja V-Z biće ugrađena u podvesne kontejnere.

V. Radić

AVIJACIJA 21. VEKA*

Vojni stručnjaci i teoretičari smatraju da će, s obzirom na oblike i metode vođenja oružane borbe značajnu ulogu imati avijacija. Kao karakterističan primer može poslužiti poslednji rat u Persijskom zalivu gde je uloga avijacije bila odlučujuća. U vezi s tim, želja da se zaviri u budućnost vojne avijacije na domaku novog veka, u znatnoj meri određuje se usmerenošću i tempom realizacije inostranih avio-programa u SAD, koje raspolažu najmoćnijim i najskupljim vazдушnim snagama u svetu. One ne samo da stalno ukazuju pažnju razvoju i usavršavanju vojne avijacije već i realno ostvaruju planove finansiranja prioritarnih pravaca razvoja avijacije.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj—jun 1997.

Analiza pokazuje da u koncepcijskim planovima perspektivnog razvoja avijacije i avio-naoružanja vodećih zemalja nema principijelnih razlika. Uloga i obim zadataka koji se rešavaju avijacijom potvrđuju zaključke o neophodnosti pomeranja težišta na naučni pristup i stvaranje visokoefikasnih avijacionih sistema. Upravo, mobilnost, velika vatrena moć, borbena otpornost i veliki broj zadataka koje rešava avijacija, u znatnoj će meri određivati borbene mogućnosti zemlje. Pri tome će se posebna uloga davati balansiranom razvoju avijacionih sistema frontovske avijacije, avijacije velikog dometa, avijacije KoV, kao i sredstvima za obezbeđenje njihovih borbenih dejstava.

Brza promena situacije, prisustvo maskiranih objekata i lažnih ciljeva, intenzivno vatreno i radarsko protivdejstvo već danas zahtevaju promenu principa izgradnje informaciono-pretražnih, nišansko-navigacionih sistema i sredstava za upravljanje u borbi. Osnovni pravci njihovog razvoja u celini su usmereni na bližu i daleku perspektivu. Ipak, njihova realizacija suštinski će zavisiti od stanja nauke i tehnološke razvijenosti. Njihova široka primena, dalji razvoj satelitskih sistema za izviđanje, vezu i navigaciju, stvaranje perspektivnih radio-tehničkih sistema za daleko otkrivanje i prepoznavanje cilja, kopnenih i vazdušnih komandnih mesta, — obezbediće obradu informacija u realnom vremenu, prenos podataka o cilju, uključivši i potrebe upravljanja sredstvima drugih vidova OS.

Za povećanje borbenih mogućnosti avijacije stalna pažnja poklanja se usavršavanju tradicionalnih vrsta avio-naoružanja i stvaranju novih. Na primer, aktivno se radi na novim tipovima municije sa energičnijim eksplozivom, sa sistemima za navođenje i uništenje cilja visoke preciznosti, zasnovanih na novim principima fizike.

Može se tvrditi, ukoliko se nastavi sa daljim ulaganjima u ovaj razvoj, da će avijacija u skoroj budućnosti ovladati širokim mogućnostima i velikim borbenim potencijalom.

Za avijacione sisteme XXI veka biće realnost krstareća nadzvučna brzina leta, supermanevarska sposobnost, danonoćna primena po svakom vremenu, autonomnost, mala uočljivost, gađanje ciljeva iz svih položaja u bliskom vazдушnom boju, mnogokanalnost primene oružja, mogućnost jednovremenog napada vazdušnih ciljeva i kopnenih objekata oružjem visoke preciznosti, kao i velika bezbednost leta.

Među osnovnim naučnotehničkim problemima, koji će biti osnova za fundamentalne prodore u razvoju vojne avijacije, posebna pažnja poklonjena je novim svojstvima ugrađene opreme. Integralni kompleks tehničkih sredstava, uključenih u njegov sastav, postaće stvarno »mozak« avijacionih sistema različite namene. Osnova takvog kompleksa postaće ugrađeni intelektualni sistem visokog nivoa i oprema za upravljanje letom, motorom, za obradu i analizu unutrašnjih i spoljnjih informacija uz davanje preporuka pilotu (ili automatskim uređajima).

U konstrukciji tela primenjivaće se novi materijali s poboljšanim mehaničkim i fizičkim svojstvima. Usavršavaće se aerodinamičke karakteristike tela korišćenjem novih konstrukciono-aerodinamičkih oblika nosećih površina. Uključivanje inteligentnih vođenih sistema omogućiće realizaciju principa neposrednog upravljanja aerodinamičkim silama, vektorom vuče, reversom i u punoj meri će realizovati ideju supermanevrisanja avijacionim sistemima.

Povećanje efikasnosti primene vojne avijacije u budućnosti i njenog borbenog potencijala postaće mogući zahvaljujući stvaranju niza novih informaciono-pretražnih, nišansko-navigacionih i računarskih sistema uprav-

ljanja, kao i novih vrsta sredstava za nišanje. Ugrađena oprema obezbeđuje:

— danonoćnu upotrebu, kao i upotrebu po bilo kojem vremenu;

— autonomnost vođenja borbenih dejstava;

— automatsko pretraživanje, otkrivanje i prepoznavanje cilja, te primenu oružja;

— automatizaciju procesa uočavanja cilja, raspodelu ciljeva, razmenu podataka sa sadejstvjućim avionima i komandnim mestima;

— višekanalnost primene oružja i gađanje ciljeva iz svih položaja;

— visoku tačnost navođenja na cilj u uslovima svih vidova protivdejstva protivnika;

— automatizovani niski let s mogućnošću izbegavanja prepreka i obilaskom opasnih zona PVO;

— primenu velikog broja raznih vrsta sredstava za uništenje, uključujući i sredstva velike preciznosti, koja će imati veliku sposobnost izbora cilja i mogućnost uništenja manjih tačkastih ciljeva;

— jednovremeni napad vazдушnih ciljeva i kopnenih objekata.

Obezbeđenje velike sposobnosti opstanka u vazдушnom prostoru i dalje ostaje osnovni zadatak, a realizovaće se daljim povećanjem borbene izdržljivosti letelice, ojačanjem opreme za radio-elektronsko neutralisanje i smanjenje radarske infracrvene i akustičke uočljivosti.

Kabina pilota (posade) imaće bioadaptivni sistem i indikacije. Pilot će po svojoj želji moći da bira neophodan obim i oblik predočavanja informacija na višefunkcionalnim elektronskim indikatorima. Realno predočavanje, zajedno sa režimom interaktivnog upravljanja, omogućiće pilotu efikasno korišćenje ugrađene opreme i sredstava za uništenje, kao i deta-

ljne informacije pri vođenju vazdušnog boja i napadu objekata na zemlji.

U opremu kabina perspektivnih avio-sistema biće ugrađeni specijalni uređaji za ocenu fizičkog stanja pilota. Ti uređaji informisaće pilota o granicnom nivou opterećenja njegovog organizma, i omogućiće automatsko uvođenje aviona u bezbedan režim, u slučaju da pilot izgubi svest.

Posebna pažnja posvetiće se povećanju bezbednosti radi:

— davanja pomoći pilotu u obradi informacija, donošenja i realizacije rešenja o bezbednosti leta pri iskrsavanju nepredviđenih situacija pri letu, uključujući i automatsko pariranje;

— automatskog osiguranja i korekcije pogrešnih radnji pilota.

U tom smislu aviosistemi dostići će sposobnost aktivnog protivdejstva pri pojavama posebnih situacija u toku leta, i tako sprečavati avio-udese. Pilot će pri tome moći da usmeri pažnju na rešavanje najvažnijih borbenih zadataka.

Prioritetni tehničko-tehnološki putevi daljeg razvoja motora usmereni su na:

— širenje dijapazona stabilnosti i efikasnosti rada motora;

— izbor prema uslovima leta adaptivnih termodinamičkih ciklusa s jednovremenim povećanjem parametara radnog procesa;

— uvođenje novih materijala velike čvrstoće;

— razradu vrlo pouzdanih elektronskih sistema upravljanja, kontrole i prognoze stanja motora, koji rade u širokom temperaturnom intervalu;

— povećanje ekonomičnosti motora;

— osvajanje hiperzvučnih brzina leta;

— uvođenje sverežimskih izlaznih uređaja sa zaokretom vektora vuče, smanjenim nivoom uočljivosti, i dr.

Na taj način, realizacija perspektivnih tehnologija i uvođenje novih rezultata fundamentalnih istraživanja po prioritetnim pravcima omogućuje razvoj vojnih aviona i helikoptera na visokom i profitabilnom nivou.

M. Krbavac

DIZEL MOTORI ZA BRZOHODNE BRODOVE*

Globalna procena relativnog porasta brzina plovnih sredstava pokazuje da će u skoroj budućnosti najveće brzine biti 60 do 70 milja. U tom slučaju matematičke simulacije potvrđuju potrebu korišćenja dizel motora sa specifičnom masom manjom od 2 kg/kW (ukupna snaga motora, o čemu se još raspravlja, ne bi trebalo da bude od 20—25 MW). Na primer, prema podacima firme MTU, minimalne troškove za ceo vek upotrebe broda imaju oni koji su projektovani za brzine 60—70 milja sa ugrađenim dizel motorima specifične mase od 1,5 kg/kW.

Praktično je nemoguće dostići takve vrednosti specifične težine za motore koji nemaju laku konstrukciju, jer se radi o prosečnim efektivnim pritiscima u motoru i do 40 bara, što se ne može postići korišćenjem postojećih projektnih rešenja, materijala i tehnologija.

Ruska kompanija »Zvezda« jedna je od nekoliko u svetu koja proizvodi

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, novembar—decembar 1997.

motore snage od 300 do 7400 kW sa specifičnom masom manjom od 2 kg/kW, što nesumnjivo čini njihove proizvode prihvatljivim.

U svojim novim razvojnim projektima kompanija je zadržala koncept maksimalnog prilagođavanja zahtevima kupaca. Ta pozicija je i osnova razvoja i modernizacije postojećih dizel motora, povećanja ukupnih mogućnosti, pomoćne i dodatne opreme, kao i razvoja optimalnog aranžmana motornog pogona u brodu ili drugom plovnom sredstvu.

Dve veoma poznate familije brodskih motora ističu se u tekućoj proizvodnji ove kompanije: ChN18/20 i ChN16/17, koje su nedavno znatno usavršene. Tako su osnovne operativne karakteristike, pre svega ekonomičnost i pokazatelji životnog ciklusa, poboljšane, pa su ukupni troškovi upotrebe broda smanjeni u odnosu na savremene brzohodne brodove izrađene u drugim kompanijama. U tabeli 1 data su poboljšanja osnovnih karakteristika motora 12ChN18/20, za koje se smatra da potpuno zadovoljavaju potrebe savremenih brzohodnih brodova.

Dizel motori standarda 16/17 imaju specifičnu masu izvan dosega »motora od novih laganih konstrukcija«.

Početak serijske proizvodnje nove treće generacije dizel motora 12ChN18/20 sa snagom od 1100 kW i 1600 min⁻¹, koja je najavljena u 1995. godini, sada je na putu konkretne realizacije.

Dizel motori treće generacije, čiji osnovni model ima indeks M470, privukao je pažnju projekatanta i brodograditelja zbog višenamenskih uređaja koji se odnose na dodatnu opremu motora (generator do 10 kW, hidraulična pumpa, kompresor AK-150, itd.). Uz to, pored modularnog pristupa u ranijim fazama razvoja, moguće je postići razne konfiguracije dizel motora (tabela 2), dozvoljavajući tako da se za bilo koji brod izgradi optimalna varijanta.

Poboljšanja osnovnih karakteristika dizel motora 12ChN18/20

Generacija projekta	Prva	Druga	Treća
Tip dizel motora	M50F—8	M401A—2	M470
Snaga pri prekidu dovoda goriva (kW)	883	809	1100
Brzina obrtaja radilice (min ⁻¹)	1850	1600	1600
Srednja brzina klipa (m/s)	12,33	10,66	10,66
Srednji efektivni pritisak (bara)	9,36	9,92	13,48
Potrošnja goriva (g/kWh)	226	200	200
Resurs do generalnog remonta (h)	1000	4000	5000 do 8000
Gabaritne dimenzije (mm):			
— dužina	2570	2825	2780
— širina	1205	1260	1150
— visina	1205	1250	1285
Masa sa spojnicom (kg)	1800	2100	2700
Specifična masa (kg/kW)	2,04	2,59	2,45
Zapremina (m ³)	3,73	4,44	4,10
Snaga po jedinici zapremine (kW/m ³)	236	182	268

Tabela 2

Gabariti i masa brodskog dizel motora M470

Verzija	Dužina (mm)	Širina (mm)	Visina (mm)	Masa (kg)
Verzija 1	2780	1150	1285	2700
Verzija 3	3190	1150	1415	2950
Verzija 4	2780	1150	1285	2700
Verzija 5	*	1150	*	3150

* Zavisno od dužine spojničkog vratila

Verzije ovih motora koriste se za:

— brzohodne patrolne brodove MUSTANG-2 (Projekat 18623) i MUSTANG-1 (18627), kao i brzohodni brod MUFLON koji je projektovala kompanija »Redan«, i brzohodni brod MANGUST (Projekat 12250) koji je razvio Centralni mornarički tehnički biro »ALMAZ«;

— putnički katamaran SOKOL (Projekat 32107) koji je razvila Ruska mornarička tehnička kompanija;

— glisere ALBATROS i LASTAVICA koje je razvio Centralni gliserski projektni biro »Aleksejev«;

— patrolni brod PIKER koji je razvilo brodogradilište u Talinu.

Navedeni brodovi su već u upotrebi ili u fazi proizvodnje. Pored malih razmera, motori 16/17 mogu lako udovoljiti zahtevima budućih brzohodnih plovila, od kojih su glavni mala specifična masa i znatna snaga motora. Testovi su pokazali da postoje rezerve u poboljšanju njihovih karakteristika. S obzirom na to da postoje zahtevi za brzohodne brodove koji bi se koristili i u komercijalne, kompanija »Zvezda« razvila je i modele koji zadovoljavaju propise brodskog registra (tabela 3).

rzije M528 snage 1838 kW razvio je i odobrio Mornarički brodograđevni registar za putničke hidroglisere i brzohodne jahte.

Zahvaljujući ogromnom iskustvu u projektovanju i izradi reverzibilnih prenosa, kompanija »Zvezda« razvila je, izradila i opitovala familiju automotornih disk reverzibilnih prenosa u tri standardne veličine. Tradicionalno uređenje motora i pogonskog vratila, uz korišćenje disk reverzibilnog automotornog prenosa, omogućava smeštaj

Tabela 3

Osnovni pokazatelji adaptiranih dizel motora ChN16/17
(dizel motor sa obratnim-redukovanim prenosom)

Tip dizel motora	42ChNSP16/17	56ChNSG16/17
Snaga pri prekidu dovoda goriva DERRG/DE (kW)	1970/2010	3300/3360
Brzina obrtaja radilice (min ⁻¹)	1800	1900
Srednja klipna brzina (m/s)	10,2	10,76
Srednji efektivni pritisak (bar)	9,29	11,04
Potrošnja goriva (g/kWh)	204	204
Resurs do generalnog remonta (h)	1500—5000*	4500—6000*
Dimenzije DERRG/DE (mm):		
— dužina	3700/2500	4600/3180
— širina	1555/1555	1685/1685
— visina	1560/1560	1655/1655
Masa DERRG/DE (kg)	5500/3800	7500/5500
Specifična masa DERRG/DE (kg/kW)	2,7/1,89	2,27/1,63
Zapremina dizel motora DERRG/m ³)	6,06	8,87
Snaga po jedinici zapremine (kW/m ³)	332	378

* Zavisno od stepena pojačanja

Dobro poznata familija dizel motora 42 i 56N16/17 proširena je novim verzijama M533, snage 3676 kW i 2000 min⁻¹, i opremljena hidrauličnom pumpom 44 kW. MERKURI, vodeći brzohodni brod, koji je pogonjen pomenu tim dizel motorima, u fazi je ispitivanja na moru. Dizel motore verzije M532, snage 1985 kW i 2940 kW, i ve-

kompletnog motornog pogona na krmi broda. Osnovni pokazatelji su dati u tabeli 4. Reverzibilni prenos uključuje nezavisni sistem za podmazivanje i hlađenje, a povezan je sa dizel motorom preko kardanskog vratila. Može se koristiti sa motorima koje je izradila kompanija »Zvezda« ili se mogu ispo-

ručiti kao posebni sklopovi radi ugradnje u druge brodske pogone.

Firma »Zvezda« opremila je svoje motore automatskim daljinskim i in-

— brzinsko i reverzibilno daljinsko upravljanje;

— puštanje u rad, prazan hod i zaustavljanje motora;

Tabela 4

Pokazatelji autonomnog reverzibilnog prenosa

Naziv projekta	RRP 473.15	RRP 471.43	RRP 533.43
Maksimalna snaga (kW)	1100	2000	4000
Maksimalna brzina ulaznog vratila (min ⁻¹)	2000	2000	2000
Masa (kg)	800	1100	1400
Gabaritne dimenzije (mm):			
— dužina	830	1075	1100
— širina	1150	1290	1400
— visina	845	1150	1200

tegralnim sistemom za upozorenje i zaštitu, a nudi komplet koji se sastoji od tri autonomna automatska sistema za:

— upozorenje o opasnosti i zaštiti.

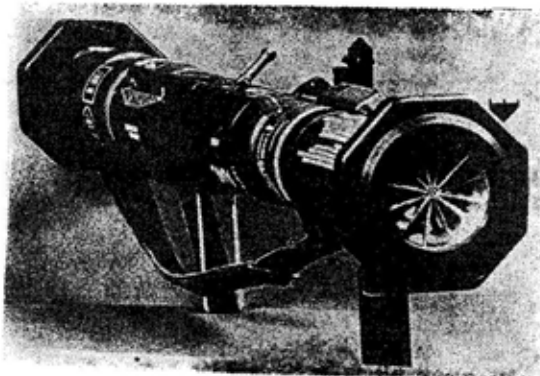
M. Krbavac



tehničke novosti i zanimljivosti

LAKO PROTIVTENKOVSKO ORUŽJE AT4 CS*

Nova varijanta lakog protivtenkovskog oružja LAW (light anti-armour weapon) AT4 CS (confined space — »ograničeni prostor«) firme Bofors nalazi se u serijskoj proizvodnji a prva isporuka armiji Danske očekuje se to-



Lako PT oružje AT4 CS

kom 1998. godine. Sledeći kupac je armija Venecuele. Takođe, armija Francuske izabrala je AT4 CS, jer ispunja-

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, septembar, 1997.

va njihove zahteve za protivtenkovsko oružje ABL (Anti — Blindee Legere).

Oružje AT4 CS razvijeno je i izrađeno na osnovu iskustava sa ranijim lakim PT oružjem AT4. Osnovna razlika između ova dva modela jeste što novo oružje ima sistem za povraćaj gasova i što omogućava da se gađa sigurnije u ograničenom prostoru bez neželjenih efekata po operatara.

Imajući u vidu da se mnoge armije sve češće uključuju u mirovne operacije, Bofors veruje da postoji značajno tržište za AT4 CS, kao i za stariji model. Oružjem mase 7,5 kg može se gađati iz oklopnih transportera kao i iz ograničenih prostora (zgrada i rovova). Kod mnogih drugih sličnih tipova oružja postoji jak povratni talas koji može da prouzrokuje povrede ljudstva iza oružja. Pored toga, AT4 CS proizvodi vrlo nizak nivo buke pri paljenju.

AT4 CS može da dejstvuje iz zatvorenih prostora površine samo 3 m², a veće prepreke mogu se nalaziti na samo 1 m iza oružja. Procedura gađanja istovetna je kao i za standardno oružje.

Krilcima stabilisan projektil kalibra 84 mm ima početnu brzinu 220 m/s kojom se pokušava ostvariti visok nivo tačnosti pogađanja na operativnom dometu. Tečna »kontramasa« koristi se, da hladi sagorele i zagrejane gasove kada napuste cev, tako da je njihova ekspanzija vrlo mala, a dejstva gasova unazad nema. Pogonsko gorivo i tečna »kontramasa« ne proizvode toksične efekte.

Standardno oružje AT4 CS ima bojnu glavu koja je optimizirana na maksimalni efekat iza oklopa. Kao alternativa koristi se kumulativna protivtenkovska bojna glava HP (high penetration — velike probojnosti) koja može da probije oklop debljine 500 mm.

Standardni AT4 proizvodio se nekoliko godina a prodavan je u 8 zemalja. Kompanija Alliant Technology iz SAD je licencno, pod oznakom M136, proizvela preko 250000 komada.

V.R.

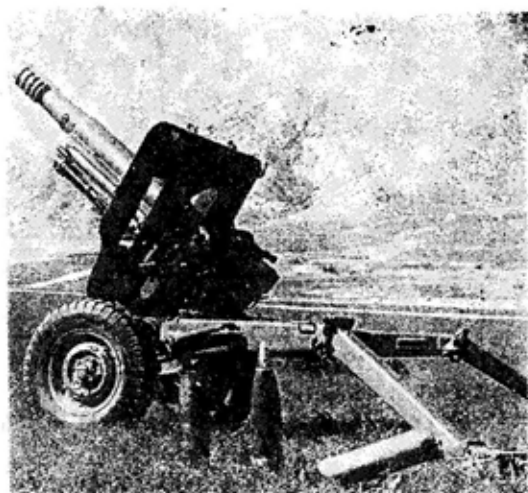
HAUBICE NORINCO 105 mm*

Kineska korporacija NORINCO počela je sa prodajom lakih haubica 105 mm, koje su identične italijanskim haubicama OTO-Breda 105 mm. Italijansko oruđe je, inače, uvedeno u proizvodnju pre 40 godina i izvezeno u preko 30 zemalja. Mada su u mnogim armijama ove haubice već zamenjene novim, savremenijim, ovo oruđe je još

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, septembar, 1997.

uvek interesantno, jer se može lako rasklopiti u 11 delova i koristiti u specijalnim jedinicama, kao što su planinske, vazdušnodesantne i one koje zahtevaju kompaktno, visokomobilno oruđe.

Alenia Difesa, odeljak kompanije OTO-Breda, isporučila je Kini pre izvesnog vremena dva primerka haubice 105 mm. Kao i OTO-Breda, NORINCO



Haubica NORINCO 105 mm

haubica 105 mm može se koristiti i kao protivtenkovsko oruđe koje ispaljuje kumulativne projekte. Ispaljujući standardne američke kumulativne projekte M1, može da ostvari domet 10 222 m. Ovo oruđe je poslednje u dugoj liniji kineskih oruđa koja su slična ili identična njihovim »dvojnica« proizvedenim na Zapadu, što je postala tradicija. Kina je često dobijala mali broj artiljerijskih sistema od zapadnih kompanija ili trećih zemalja, a kopirani ili sa neznatnim modifikacijama proizvedeni su sopstveni sistemi koji su prodavani na inostranom tržištu.

V.R.

AMERIČKA INTELIGENTNA MUNICIJA*

U toku su usavršavanja radi daljeg poboljšanja američkog artiljerijskog projektila 155 mm M989 SADARM (Sense and Destroy Armor — »oseti i uništi oklop«), koji se nalazi u serijskoj proizvodnji. Očekuje se da će poboljšani SADARM biti dva puta efikasniji i bar 10% skuplji od dosadašnjeg projektila.

Armija SAD sklopila je ugovor za usavršavanje ovog proizvoda sa kom-



Vežbovni projektil 155 mm M989 SADARM

panijom Aerojet. Okončanje radova na projektovanju očekuje se sredinom 1999. godine, a proizvodnja bi mogla otpočeti 2001. godine.

Poboljšani sistem koristiće iste senzore milimetarskih i IC talasa, ali na većoj visini i pod većim uglom, što će rezultirati tri puta većim odrazom. Takođe, imaće novu bojnu glavu sa kombinovanim efektima, pa će biti efikasniji protiv većeg broja ciljeva na većim daljinama.

SADARM je prvi artiljerijski projektil 155 mm uveden u masovnu proizvodnju koji je projektovan za gađanje iz postojećih vučnih (npr. M198) i samohodnih (npr. M109A5 ili M109A6 Paladin) artiljerijskih sistema. Projektil 155 mm SADARM ima dve vrste sub-

municije, od kojih svaka ima eksplozivno oblikovani penetrator (EFP) kojim se uništavaju svi oklopni ciljevi, uključujući i one koji su opremljeni eksplozivnim reaktivnim oklopom (ERA).

Projektil ima višenamensku senzorsku opremu koja je otporna na kontramere protivničkog ometanja i pasivni IC senzor, kao i senzor milimetarskih talasa sa pasivnim i aktivnim modom. On može da djeluje u svim vremenskim uslovima i ispaljuje projekte tipa fire-and-forget (»ispali i zaboravi«), kao i postojeći arsenal artiljerijskih projektila.

Na ispitnom poligonu Juma u Arizoni simultano je ispitivano 6 haubica 155 mm M198 koje su pogađale taktičke ciljeve sa 6 projektila. To je donelo ukupan broj od 36 pogodaka na minimalnom rastojanju od 4,4 km i maksimalnom od 19,3 km.

Kompanija Aerojet, sa glavnim podgovaračem Alliant Technology, dobila je tri ugovora za proizvodnju projektila 155 mm SADARM: 1995 — za 110 projektila, 1996 — 150 projektila i 1997 — 600 projektila. Ukupni zahtevi armije SAD su 73 000 komada, a proizvodnja i isporuka trajaće do 2012. godine sa ukupnim troškovima koji se procenjuju na 1,9 milijardi dolara. Armija SAD je, inače, investirala 800 miliona dolara u municiju SADARM, tj. njeno istraživanje i razvoj.

Francusko-švedski (Giat Industries-Bofors) projektil 155 mm BONUS i nemački (GIWS) SMART 155 mm takođe se razvijaju kao artiljerijski, mada se već nalaze u proizvodnji. Švajcarska je, takođe, pokazala interes za uvođenje inteligentnih projektila koje bi koristila za svoje 47-kalibarske haubice 155 mm M109.

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, septembar, 1997.

V.R.

POBOLJŠANE RUSKE RAKETE*

Ruske kompanije prikazale su nekoliko novih raketa na vazduhoplovnoj izložbi MAKS '97 u Žukovskom. Pored ostalih tu su bile i dve nove varijante borbene rakete Vimpel R-73 (NATO oznaka AA-11 »Archer«), koja se smatra najboljom u svetu u svojoj klasi. Raketa R-73 EL (export, laser) razlikuje se od standardne rakete po tome što ima laserski umesto optičkog upaljača. Laserski upaljač za raketu R-73 koristio se isključivo u ruskom vazduhoplovstvu, ali sada se nudi i za izvoz.

Druga raketa, označena kao K-74 ME (K znači da još nije u operativnoj upotrebi), opremljena je novom glavom za navođenje, koja omogućava veći obuhvat akvizicije ciljeva (120° umesto 80° do 90°) i bolju osetljivost.

Oba tipa rakete koriste pasivne IC tragače. Maksimalni domet K-74 je 40 km, što je dvaput više u odnosu na raketu R-73. Ostali parametri rakete nisu poznati. Ona je testirana u toku 1994. godine i sada je u serijskoj proizvodnji.

Regionalni projektantski biro NPO prikazao je novu tešku bombu KAB-1500 Kr (korrektirujemaja avijacionaja bomba, 1500 kg, korrelacionaja). Telo bombe i sistemi za upravljanje identični su kao kod teške, laserski vođene bombe KAB-1500 L-F, a ima 1180 kg eksploziva. Međutim, laserski tragač zamenjen je TV tragačem sa lakše bombe KAB-500 Kr. Prednosti TV tragača ogledaju se u kvalitetu nazvanom »drop-and-forget« (»odbaci i zaboravi«). Laserski vođena bomba, nasuprot tome, zahteva neprekidno označavanje cilja.

Drugi NPO proizvodi, prikazani na izložbi, podrazumevaju novu APR-3E (avijacionaja protivolodohnaja raketa) mornaričku protivpodmorničku raketu, koja je projektovana da se lansira sa aviona ili helikoptera. U poređenju sa APR-2, nova raketa se razlikuje po pogonskom motoru, koji nije na čvrsto raketno gorivo. Sposobna je da uništi podmornicu na dubini od 800 m, što je za 200 m veća dubina u odnosu na APR-2. Raketa APR-3 ima i dalje brzinu kretanja pod vodom od 120 km/h, a njena akustički vođena bojna glava može detektovati podmornicu na 2000 m (kod verzije APR-2 to je bilo 1500 m).

Ostali noviteti, prikazani na izložbi, odnose se na raketu V-V VIMPEL R-37 vrlo velikog dometa. Šest tih raketa prikazano je na teškom lovcu presretniču MiG-31. Razvijena od modela R-33 (NATO oznaka AA-9 AMOS), raketa R-37 ima najveći domet u odnosu na bilo koju raketu V-V u svetu. Prvi testovi letenja R-37 izvršeni su 1989. godine, a u aprilu 1994. godine izvršena su gađanja sa aviona MiG-31 na daljinama oko 300 km.

Rusija je, takođe, ozvaničila višekanalni sistem zemlja — vazduh S-300 PMU-2 Favorit u poboljšanoj verziji S-300 PMU-1, sa namerom da obuhvati avione, strategijske krstareće rakete, balističke rakete i oružje za napad velike preciznosti. Maksimalni domet sistema je veći od 200 km, a raketa nosi 180 kg eksploziva. Optimizirana je za presretanje taktičkih i balističkih raketa sa površinom preseka oko 0,002 m². Tokom testova 1995. godine, sistem Favorit uništio je nekoliko raketa tipa SCUD, razbijajući njihove bojne glave u 5—6 fragmenata po m². Kina je pokazala interesovanje za nabavku ovog sistema.

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, septembar, 1997.

USAVRŠAVANJE LOVCA MiG-29*

Prvi let poboljšane verzije ruskog aviona MiG-29, opremljenog kabinom od stakla, obavljen je novembra 1997. godine. U međuvremenu, Ekvador je potpisao ugovor vredan 540 miliona dolara za nabavku 12 ovih aviona, uključujući i dva trenažna.

Poslednja verzija aviona, označena kao Tip 9-17 sa potpuno operativnom kabinom, prikazana je na vazduhoplovnoj izložbi u Parizu 1996. godine. Ta verzija ima na prednjem panelu dva višefunkcionalna kolor displeja sa tečnim kristalima dimenzija 5x7 inča (12,5x18 cm) zajedno sa setom konvencionalnih instrumenata manjih dimenzija. Modifikovani radar na avionu ima dodatni mod za fotogrametrisanje terena sa rezolucijom od 15 m.

Tip 9-17 predstavlja korak prema modernizovanom modelu višenamenskog lovca MiG-29SMT, koji je prikazan na poslednjoj vazduhoplovnoj izložbi MAKS avgusta 1997. godine.

Sledeći korak u razvoju verzije SMT jeste uvođenje ventilatorskog mlaznog motora RD-133 sa 3D upravljivim vektorom potiska, koja će se prikazati na izložbi u Farnborou (Velika Britanija) 1998. godine. Postojeća krila zameniće se onima koja su ugrađivana na MiG-29M (MiG-33), jer pružaju veću mogućnost kontrole aviona u letu i imaju devet podvesnih tačaka za naoružanje (umesto sadašnjih 6).

Narudžbina Ekvadora pokrenula je marketinške aktivnosti firme MIG MAPO, koja je ranije prodala MiG-29 Indiji (10 aviona) i Slovačkoj (13 aviona). Poslednja narudžbina predviđa da Ekvador kupi 50 lovaca kako bi parirao sposobnostima svog suseda Pe-

rua, koji je 1996. godine kupio 18 aviona MiG-29 od Belorusije. Takve avione, takođe, poseduje i Kuba.

Drugi ugovor, vredan 34,4 miliona dolara, odnosi se na isporuku 18 aviona MiG-29 malezijskom ratnom vazduhoplovstvu. Korporacije Rosvoruženie, MIG MAPO i zajednička rusko-malezijska kompanija adaptirale su te avione tako da mogu nositi 4000 kg ubojnog tereta umesto sadašnjih 2000 kg, uvodeći i rakete V-V nove generacije R-7, i isprobavanjem mogućnosti punjenja gorivom u vazдушnom prostoru.

V.R.

AVIONI Su-39 ZA POLJSKU*

Ruska kompanija »Rosvoruženie« i aviokompanija »Suhoj Šturmovik« predlažu Poljskoj da kupi više od 100 aviona Su-39. Ruski partner treba da obezbedi lokalnu montažu aviona Su-39 (nove varijante Su-25) sa dodatnim višenamenskim performansama u fabrici aviona u Mielecu, i transfer tehnologije vezane za vođenu protivtenkovsku raketu VIKHR. Raketa bi se proizvodila u poljskoj fabrici Mesko u Skarzynsko-Kamienna.

Avion Su-39 (poznat i kao Su-25TM) subsonični je, višenamenski lovac opremljen elektro-optičkim sistemom za upravljanje vatrom SHKVAL, a raketa VIKHR je optimizirana za upotrebu protiv pokretnih ciljeva, kao što su tenkovi. Takođe, avion može da otvara

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, decembar, 1997.

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, septembar 1997.

vatru raketama »ispali i zaboravi« R-77, kao i iz osnovnog oružja, korišćenjem dodatnog radara KOPYO-25, koji se postavlja u trup aviona.

Proizvodnja nove varijante Su-25T, koja nema sistem KOPYO-25, počela je 1991. godine u Tbilisiju, Gruzija. Međutim, posle raspada SSSR, izrađeno je samo 12 primeraka ove letelice. Proizvodnja Su-39 ponovo je aktivirana, a prvi je kompletiran 1995. godine i do sada su izrađena 3 aviona. Avion Su-39 nalazi se u završnoj fazi ispitivanja i, uprkos smanjenja budžeta, ostaje prioritetan za rusko ratno vazduhoplovstvo.

Ponuda Rusije za isporuku aviona Poljskoj, uglavnom zbog političkih razloga ima male šanse za uspeh. Poljska je, na samitu NATO u Madridu jula 1997. godine, i zvanično pozvana da pristupi alijansi, a poznato je da želi da svoj ulazak veže nabavkom kompatibilnih aviona i sistema. Dve godine ranije Rusi su Varšavi nudili montažu MiG-29 u Poljskoj, ali se pojavila i konkurencija — Lockheed Martin F-16C, F/A-18, Miradž 2000 i JAS 39 Gripen.

Inače, cena aviona Su-39 sa naoružanjem iznosi oko 30 miliona dolara.

V. R.

GRIPEN TESTIRA C² KONCEPT ŠVEDSKE*

Švedsko ratno vazduhoplovstvo testiralo je novi operativni koncept komandovanja i upravljanja tokom pr-

vog operativnog trenaja eskadrile lovaca JAS 39 GRIPEN. Koncept je deo šire inicijative da se prihvati unificirana vazdušno-operativna komandna struktura za sve aktivnosti švedskog RV. Struktura će biti implementirana u julu 1998. godine, a potpuno borbeno spremna u toku 1999. godine.

Novi »virtualni« koncept vazdušnih operacija C² delimično je zasnovan na postojećim strukturama SAD i NATO. Postojeće samo jedan kombinovani centar za vazdušne operacije (CAOC) iz kojeg će komandant vazduhoplovnih snaga inicirati i voditi sve vazdušne operacije. CAOC će biti povezan sa komandom združenih snaga Švedske, iz koje će vrhovni komandant voditi operacije nacionalne odbrane. Ističe se da će CAOC pokretati sve vazdušne operacije, kao što su, na primer, strategijski udari, ali će kontrolu taktičkih napada i izviđačkih misija voditi regionalni komandanti. RV Švedske je sa izraelskom kompanijom TTL ugovorilo izradu studije o najboljoj strukturi nove C² organizacije.

Da bi pomogli implementaciji nove strukture, nekoliko švedskih proizvođača, uključujući Enator, dobilo je softvere za organizaciju planiranja vazdušnih operacija i sistema izvršenja zadataka. Tako će se delimično zameniti informativni sistem C² vazdušnih operacija RV Švedske, koji su razvile firme Ledningssystem i Flygvapnet. Struktura će biti proširena na svih 6 glavnih baza lovaca i 24. ratne operativne lokacije, pored 100 poletno-sletnih pista.

* Prema podacima iz časopisa JANE'S DEFENCE WEEKLY, septembar 1997.

V. R.

FRANCUSKA LETELICA ZA OMETANJE TELEKOMUNIKACIJA*

Francuska firma »MATRA BAe Dynamics« izvela je na poligonu u Landu 10 letnih operativnih testova sa nevođenom letelicom »DRAGON«.

Letelica ima masu od 150 kg, dužinu 2,4 m, a raspon delta krila je 3 m. Lansira se sa lansirne rampe u obliku saonica uz pomoć dva startna raketna motora na čvrsto gorivo. Letelica krs-tari brzinom od 50 m/s koju obezbeđuje klipni motor snage 47,6 kW.

»MATRA« je ovu letelicu za ometanje radio-komunikacija projektovala prema zahtevima francuske vojske, imajući u vidu korisni teret koji će nositi, a koji je razvila firma »Thomson-CSF«. Navedena oprema radi uz pomoć dve velike štapne antene koje letelica razvija na nosnom delu pri emitovanju svog signala. Po završetku misije letelica se vraća na mesto sa kojeg je lansirana, isključuje svoje motore i prizemljuje se uz pomoć padobrana. Zaštita od udara pri prizemljenju izvedena je pomoću vazdušnog jastuka koji se nalazi oko motora.

M. S.

PRENOSNI UREĐAJ ZA SATELITSKU KOMUNIKACIJU**

Ministarstvo odbrane Velike Britanije potpisalo je inicijalni ugovor vredan 32 miliona USD sa firmom »Racal

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 10/1997.

— Thorn Defence« o isporuci prenosnog uređaja UK/PSC-504 za satelitsku komunikaciju u X-bandu (talasnom području), koji će koristiti specijalne snage i druge jedinice. Ovi uređaji će omogućiti prenos glasa i drugih servisa preko satelita Velike Britanije, SAD ili NATO.

Prva narudžba odnosi se na 25 primeraka patrolnih terminala i pet komandnih terminala. Ukupna predugovorena količina iznosi 100 primeraka ovog uređaja.

Patrolni terminal u svom sastavu ima: antenu, radio-uređaj, bateriju, pribor i uređaj za unos podataka (DED — data entry device), ukupne mase manje od 12,5 kg, a zapremine manje od 10 litara, tako da može da se smesti u standardni ranac. Jedan operator može da montira terminal, izvrši proceduru samotestiranja i zahvat satelita u roku od pet minuta. Razmontiranje i pakovanje terminala zahteva manje od jednog minuta. Mod rada pri kojem se štedi energija produžava vreme korišćenja baterije.

Komandni terminal ima veću antenu, veću snagu, obezbeđuje veću brzinu prenosa podataka i automatsko praćenje satelita.

Uređaj PSC-504 koristi poseban sistem za upravljanje koji karakteriše višestruki zahtevom definisani pristup (DAMA — demand-assigned multiple-access) koji je razvila firma »Thomson-CSF Communications« radi obezbeđenja efikasnog korišćenja talasnog područja i uključivanja velikog broja terminala na rad u mreži. Navedena francuska kompanija je, takođe, odgovorna i za modeme i mikrotalasne podsklopove.

M. S.

** Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 10/1997.

NIU »VOJSKA«, 11002 Beograd, Birčaninova 5
Telefoni: (011) 645-020 i 656-122, lokal: 22-584
Telefax: 644-042, žiro-račun: 40823-849-0-2393

NARUDŽBENICA

Preplaćujem(o) se na časopise za 1998. godinu

primeraka

1. VOJNOTEHNIČKI GLASNIK (stručni i naučni časopis VJ) izlazi dvomesečno. Godišnja pretplata 60,00 dinara, polugodišnja pretplata 30,00 dinara.

Prilikom uplate pozvati se na broj: 07-9238.

2. VOJNO DELO (opštevojni teorijski časopis), izlazi dvomesečno. Godišnja pretplata 80,00 dinara, polugodišnja pretplata 40,00 dinara.

Prilikom uplate pozvati se na broj: 07-9235.

3. NOVI GLASNIK (vojnostručni intervidovski časopis), izlazi dvomesečno. Godišnja pretplata 100,00 dinara, polugodišnja pretplata 60,00 dinara.

Prilikom uplate pozvati se na broj: 07-9237.

Broj primeraka časopisa koji se naručuje upisati u narudžbenu i poslati na adresu: NIU »VOJSKA«, Birčaninova 5, 11002 Beograd.

Za pretplate fizičkih lica ne dostavljamo fakture. Poručioци uplaćuju iznos pretplate na žiro-račun NIU »VOJSKA«: 40823-849-0-2393 (sa pozivom na broj za svaki časopis) i šalju primerak uplatnice uz narudžbenu.

Casopise slati na adresu:

Kupac
(prezime i ime, naziv ustanove i broj telefona)

Mesto ul. br.

Dana: 199..... god.

M.P.

.....
Potpis naručioца

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, proizvodnju, upotrebu, tehnologiju, metodologiju, organizaciju i stručna, naučna, teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, članak, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći da li se radi o originalnom, naučnom, stručnom radu ili kompilaciji, koji su grafički prilozi originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), i ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, sa jasnim mislima, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u zakonski dozvoljenim mernim jedinicama. Matematičke izraze, koji se ne mogu pisati mašinom, ispisati rukom, pri čemu voditi računa o tačnom pisanju slova grčke azbuke, o velikim i malim slovima, o indeksima i eksponentima. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Ne treba ih lepiti, već samo naznačiti njihovo mesto u tekstu. Crteže treba raditi tušem na paus-papiru. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike — crteža i nazive pozicija na njima.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima VJ.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, titulu, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopis slati na adresu: Redakcija »Vojnotehničkog glasnika«, 11002 Beograd, Birčaninova 5, VE-1.

LEKTOR

Dobriša Miletić, profesor

KORICE

Milijko Milinković

KOREKTOR

Bojana Uzelac

Cena: 15,00 dinara

Tiraž: 1400 primeraka

Rešenjem Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, broj 413-00-222/95-0101 od 19. 06. 1995. godine časopis »Vojnotehnički glasnik« je oslobođen plaćanja opšteg poreza na promet proizvoda.

UDC: Jugoslovenski bibliografsko-informacijski institut