IZDAVAČKI SAVET:

General-major
ĐORĐE ĐUKIĆ, dipl. inž.
(predsednik Saveta)

General-potpukovnik
dr MILORAD DRAGOJEVIĆ, dipl. inž.

General-major
mr MILAN ZAKLAN, dipl. inž.

Pukovnik
RATOMIR MILOVANOVIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika)

Pukovnik
LJUBODRAG PAVLOVIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr ZORAN STOILJKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr JUGOSLAV KODŽOPELJIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr NIKOLA VUJANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILOŠ ČOLAKOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr ZAHARIJE VLAŠKALIN, dipl. inž.

Pukovnik
mr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr VIDOJE PANTELIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr ŽIVOJIN GRUJIĆ, dipl. inž.
(sekretar Saveta)

Pukovnik
MILISAV BRKIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
ASIM HADŽIEFENDIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.

Potpukovnik
mr DRAGOMIR MRDAK, dipl. inž.

Major
RADOLJUB DOŠIĆ, dipl. inž.

●

GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK

Pukovnik
mr ŽIVOJIN GRUJIĆ, dipl. inž.

LIKOVNO-TEHNIČKI UREDNIK

SLOBODAN MIHAILOVIĆ

LEKTOR

DOBRILA MILETIĆ, prof.

KOREKTOR

JOVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.

●

SEKRETAR REDAKCIJE

BRANKA STOJKOV

ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI GLASNIK — BEOGRAD, Birčaninova 5, VE-1. Telefoni: centrala 656-122, lokali: odgovorni urednik 22-976, sekretar 23-156, pretplata 32-937, žiro-račun: Vojnoizdavački i novinski centar (za Vojnotehnički glasnik) 60823-849-2393 Beograd. Godišnja pretplata: za pojedince — 600 dinara, a za ustanove, preduzeća i druge organizacije — 1800 dinara. Rukopisi se ne vraćaju. Štampa: Vojna štamparija — Beograd, Generala Ždanova 40 b.

YU ISSN 0042-8469

IZDAJE
GENERALŠTAB VOJSKE JUGOSLAVIJE

STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJE

VOJNOTEHNIČKI *glasnik*



6

GODINA XL ● NOVEMBAR—DECEMBAR 1992.

SADRŽAJ

Mr Vladimir Matijević, kapetan I klase, dipl. inž. 589 Primena Auto CAD-a i konačnih elemenata za proračun elektromagnetnog polja sinhronog generatora

Mr Branko Đedović, major, dipl. inž. 597 Mikroračunarska implementacija digitalnog regulatora pozicionog sistema automatskog upravljanja rotacijom

Mr Goran Savanović, kapetan I klase, dipl. inž. 605 Jedan metod brzog proračuna sopstvenih frekvencija helikoptera

Dr Milovan Ćirović, potpukovnik, dipl. inž. 619 Razmatranje održavanja u fazi razvoja elektronskog uređaja

Dr Dušan Rajić, kapetan I klase, dipl. inž. 627 Primena parametarskih testova analize varijanse u obradi rezultata delovanja hemijskog oružja

Radmila Obrovački, dipl. inž. 538 Analiza podataka o zastojima računarskog sistema u eksploataciji i pokazatelji raspoloživosti

Mr Vojkan Lučanin, dipl. iiž. **Dr Gradimir Ivanović**, dipl. iiž. 646 Preventivno održavanje prema stanju putničkog vagona

Mr Novak Smiljanić kapetan I klase, dipl. inž. 653 Arhitektura informacionog sistema metrologije Vojske Jugoslavije i model baze podataka podsistema verifikacije mernih sredstava

Lazar Cvetanović, pukovnik, dipl. inž. **Mr Zdravko Radišić**, kapetan I klase, dipl. inž. 660 Višekriterijumski model rotacije vozila na putnoj mreži

Dr Dragutin Jovanović, major, dipl. inž. 668 Obim prevoženja, pokretna sredstva i ograničenja — faktori organizovanja železničkog saobraćaja

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

675 Modernizacija sistema veza i komandovanja u oružanim snagama Ruske federacije — L. B.

679 Sredstva za razminiranje aerodroma u zapadnim zemljama — P. M.

TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

690 Zahtevi za poboljšanje američkog streljačkog oružja

690 Automatska puška 5,56 mm američke firme »COLT« za program »ACR«

691 Pištolj »P-229« švajcarske firme »SIG-SAUER«

692 Danska firma »RDM« nudi komplete za modernizaciju haubica

692 Francuski modularni IC osmatrački sistem »VAMPIR ML 11« za površinske brodove

693 Induktivni detektor sa optičkim vlaknima francuske firme »CROUZET«

694 Inteligentna olovka »MASTER YEOMAN« za brodsku navigaciju

695 Perspektive razvoja evropskih protivoklopnih projektila

696 Američki 156 mm protivoklopni artiljerijski projektil »COPPERHEAD« sa laserskim vođenjem

696 Američka kasetna vazduhoplovna bomba SFW sa protivoklopnom samovođenom kasetnom municijom SKEET

697 Britanski upaljač za protivoklopne mine

697 Ocenjivanje varijanti helikoptera »SH-60«

698 Izviđačka verzija italijanskog helikoptera »A129«

699 Kanadsko borbeno vozilo »BISON«

700 Usavršavanje vozila za izvlačenje »M88A1« američke firme »BMY«

701 VF/VVF primopredajnik »RF-3201« američke firme »HARRIS«

701 Radio-telefonski interfejs »RTU-200« američke firme »JPS COMMUNICATIONS«

701 Programabilni filtri »SR640«, »SR645« i »SR650« američke firme »STANFORD RESEARCH SYSTEMS«

702 Optički spregnuti digitalni filtar »66079« američke firme »MICROPAC INDUSTRIES«

702 Sintezator frekvencija »NJ88C33« američke firme »PLESSEY SEMICONDUCTORS CORPORATION«

702 Mini MTI-radar za bespilotne letelice

703 Veliki računari ES/9000 američke firme »IBM«

Mr Vladimir Matijević,
kapetan I klase, dipl. inž.

Primena Auto CAD-a i konačnih elemenata za proračun elektromagnetnog polja sinhronog generatora

U radu je prikazan numerički proračun elektromagnetnog polja siihronog generatora sa istaknutim polovima pomoću metode konačnih elemenata. Za generisanje mreže i konačnih elemenata korišćen je programski paket Auto CAD. Izvršei je proračun praznog hoda i opterećenja sinhronog generatora. Rezultati proračuna upoređeni su sa merenim vrednostima.

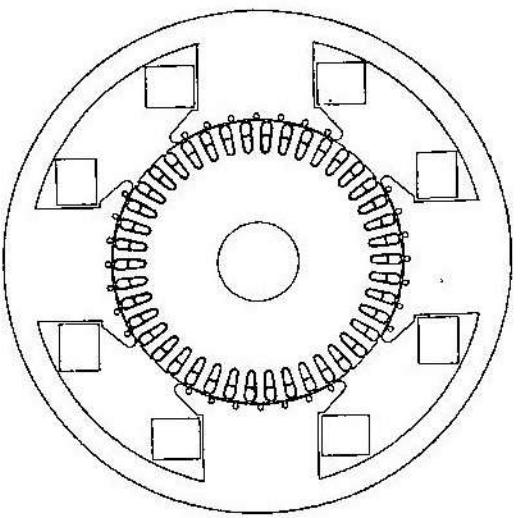
Uvod

Električne mašine tradicionalno se konstruišu na osnovu iskustva i eksperimentalnih podataka, uz korišćenje klasičnih metoda zasnovanih na teoriji strujnih kola i Kirchoffovim zakonima. Iako su klasične metode bazirane na jednostavnim analitičkim modelima, kvalitativno su tačne i uz upotrebu korekcionih sačinilaca daju, obično, dovoljno tačne rezultate.

U poslednjih dvadesetak godina, uporedo s razvojem računara, razvijene su numeričke metode koje omogućuju dobivanje detaljne slike magnetnog polja u mašini. Danas se najdalje otišlo u primeni metode konačnih elemenata, koja je, u poređenju sa ostalim numeričkim metodama, vrlo efikasna, jednostavna za primenu i dovoljno tačna. Osnovni nedostatak metode konačnih elemenata je veliki broj ulaznih podataka. Taj problem se vrlo uspešno rešava pomoću savremenih grafičkih stanica.

U savremenoj analizi procesa elektromehaničkog pretvaranja energije koristimo se pogodnostima i klasične teorije strujnih kola i teorije polja. Pri tome se polazi od proračuna magnetnog polja pomoću odgovarajuće numeričke metode, a zatim se na osnovu raspodele polja u mašini, uz primenu naponskih jednačina strujnih kola, proračunavaju obuhvatni fluksovi, reaktanse, momenti, itd. [1, 2].

U radu je prikazan numerički proračun elektromagnetnog polja sinhronog generatora sa istaknutim polovima, uz korišćenje programskog paketa Auto CAD za generisanje mreže konačnih elemenata i pripremu ulaznih podataka za numerički proračun.



Sl. 1 — Poprečni presek sinhronog generatora

Proračun je proveden na sinhronom generatoru elektroagregata ADP-30-3×400/230, čiji je poprečni presek prikazan na slici 1, a osnovni parametri sinhronog generatora u tabeli 1.

Tabela 1.

Osnovni parametri trofaznog sinhronog generatora

Veličina	Oznaka	Jed.	Iznos
Naziv snaga	S_n	kVA	40
Nazivni napon	U_n	V	400
Nazivna struja indukta	I_n	A	57.7
Nazivna struja pobude	I_f	A	5.0
Nazivni sačinilac snage	$\cos\varphi$	—	0.8
Broj polova	2p	kom	4
Ukupna dužina mašine	L_{uk}	m	0.135
Spoljni prečnik rotora	D_r	m	0.2505
Vazdušni procep u d-osi	δ	m	0.0011
Broj žlebova rotora	$N_ž$	kom	42
Broj navojaka po fazi	w_{ph}	kom	7
Broj navojaka pobudnog namota	w_f	kom	800

Metoda konačnih elemenata

Nelinearne parcijalne diferencijalne jednačine

Osnovne jednačine preko kojih se razmatra kvazistacionarno polje izvedene su iz Maksvellovih jednačina. Uz zanemarenje struja pomeraja, prva Maksvellova jednačina se redukuje na:

$$\text{rot } \underline{H} = \underline{J} \tag{1}$$

gde je $\underline{H}$ — jačina magnetnog polja, $\underline{J}$ — gustina struje.

Magnetna indukcija definirana je kao rotor funkcije $\underline{A}$, nazvane magnetni vektor potencijal:

$$\underline{B} = \text{rot } \underline{A} \tag{2}$$

Karakteristika magnetisanja određuje vezu između magnetne indukcije $\underline{B}$ i jačine magnetnog polja $\underline{H}$:

$$\underline{B} = \frac{1}{\upsilon}\,\underline{H} \tag{3}$$

gde je υ — magnetna reluktansa materijala.

Na osnovu jednačina (1—3) dobija se jednačina:

$$\text{rot } (\upsilon \text{ rot } \underline{A}) = \underline{J} \tag{4}$$

Kako se u radu posmatra dvodimenzionalni presek mašine, vredi:

$$B_z = O \quad B = (B^2_x + B^2_y)^{1/2}, \tag{5}$$

Budući je

$$J_x = O; \quad J_y = O; \quad J_z = J, \tag{6}$$

magnetni vektor-potencijal ima samo z — komponentu:

$$A_x = O; \quad A_y = O; \quad A_z = A. \tag{7}$$

Prema tome, jednačina (4) u pravougaonom koordinatnom sistemu glasi, [3, 4]:

$$\frac{\delta}{\delta x}\left(\upsilon(B)\frac{\delta A_z}{\delta x}\right) + \frac{\delta}{\delta y}\left(\upsilon(B)\frac{\delta A_z}{\delta y}\right) = -J_z \tag{8}$$

Rešenjem Poissonove nelinearne parcijalne diferencijalne jednačine (8) dobija se raspodela magnetnog potencijala — $A_z(x, y)$ u diskretnim tačkama poprečnog preseka mašine.

Pretpostavke

Aproksimacija mašine na dvodimenzionalnu sliku može se provesti pod uslovom da su ispunjene određene pret-

postavke koje bitnije utiču na rezultate proračuna.

Te pretpostavke su:

a) sinhrona mašina je beskonačne dužine, pa je omogućen dvodimenzionalan proračun magnetnog polja. U ovom slučaju uzet je Descartov pravougaoni koordinatni sistem;

b) magnetni materijal je homogen i izotropan, zanemarena je histereza, pa je kriva magnetisanja jednoznačna;

c) diskretne struje u pobudnom namotu i namotu indukta zamenjene su kontinuiranom gustinom struje J preko celog preseka pobudnog, odnosno namota indukta;

d) zanemaruje se magnetno polje izvan konture mašine;

e) zanemaruje se uticaj vrtložnih struja (jarmovi rotora i statora i polovi su lamelirani);

f) analiza se provodi na jedinačnom delu poprečnog preseka mašine;

g) proračun se provodi u određenom vremenskom trenutku u kojem se slika zadržava stacionarnom (položaj rotora prema statoru je nepromenljiv).

Granični uslovi

Za rešenje nelinearne diferencijalne jednačine (8), potrebno je definisati sledeće granične uslove:

1. Dirichletov granični uslov

Vrednosti magnetnog vektor-potencijala na delu konture A—B i C—D na slici 2, iznose:

$$A(\xi, \eta) = f(\xi, \eta) = 0 \qquad (9)$$

2. Neummanov granični uslov

Normalna derivacija magnetnog vektor-potencijala na delu granice iznosi:

$$\frac{\delta A(\xi, \eta)}{\delta \eta} = f(\xi, \eta) = 0 \qquad (01)$$

Neummanov granični uslov se, na primer, primenjuje pri proračunu praznog hoda, kad se granica postavlja u q-osu mašine.

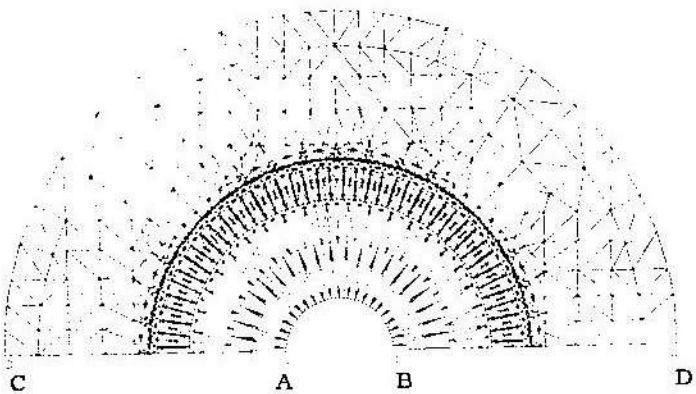
3. Cauchyev granični uslov

Magnetni vektor-potencijal u nekoj tački W mašine mora biti iste amplitude kao i vrednost potencijala u odgovarajućoj tački W' udaljenoj za polni korak — τ_p od tačke W:

$$A(\xi + m\tau_p, \eta) = (-1)^m A(\xi, \eta) \qquad (11)$$

gde je: m — broj polova po periodu. Cauchyev granični uslov primenjuje se pri proračunu mašine pod opterećenjem (linije A—C i B—D na slici 2).

4. Na granici vazduh—železo normalne komponente magnetne indukcije i tangencijalne komponente jačine magnetnog polja su neprekidne.



Sl. 2 — Mreža konačnih elemenata na jedničnom preseku sinhronog generatora

Aproksimacija BH-karakteristike

U proračunu je korišćena korigovana BH-karakteristika, dobivena množenjem vrednosti magnetne indukcije sa sačiniocem ispune, koji uzima u obzir uticaj izolacije između limova.

Numerički proračun raspodele magnetnog polja ne koristi direktno BH-karakteristiku, već se zbog povećanja tačnosti i brže konvergencije u proračunu koristi karakteristika $\delta\upsilon/\delta B = f(B)$.

Nelinearni sistem algebarskih jednačina kojima je opisano nelinearno magnetno polje rešen je Newton-Raphsonovim iterativnim postupkom. Nelinearnom proračunu uvek je prethodio linearizovani proračun, čije su izlazne vrednosti magnetnog potencijala korišćene kao početne vrednosti za nelinearni proračun.

Primena Auto CAD-a za generisanje mreže konačnih elemenata

Auto CAD je jedan od najstarijih programskih paketa za konstruisanje i projektovanje na PC računarima. Prednost ovog paketa u odnosu na druge, pogotovu one namenjene većim računskim sistemima, ogleda se u sledećem:

— znatno manja cena u odnosu na programske pakete namenjene velikim računarskim sistemima;

— manji psihološki otpor budućih korisnika prema Auto CAD-u, pre svega, zbog jednostavnijeg i pristupačnijeg korišćenja;

— Auto CAD raspolaže prikladnim izlaznim datotekama podataka, koji su neophodni za primenu metode konačnih elemenata.

Početak primene metode konačnih elemenata za proračun magnetnog polja sinhronog generatora sastoji se u generisanju mreže trouglova (na jediničnom preseku sinhronog generatora proizvoljnog su oblika i dimenzija. Povećanje gustine mreže, a samim tim i broja trouglova, bitno utiče na tačnost proračuna. S druge strane, povećanje broja trouglova povećava broj ulaznih podataka za proračun, a time i potrebnu radnu memoriju računara. Radna memorija je jedino ograničenje kod ovih proračuna. Rešenje ovog problema nalazi se u optimizaciji gustine mreže, generisanjem gušće mreže u području koje bitnije utiče na rezultate proračuna. To se, uglavnom, odnosi na vazdušni proces i prostor oko njega, jer tu dolazi do najvećih promena magnetnog polja.

Ulazni geometrijski podaci za numerički proračun su brojevi temena trouglova i pripadne koordinate. Numeracija trouglova mora se izvršiti u skladu sa određenim pravilima koja proizilaze iz same metode proračuna. Ta pravila za ovde korišćeni programski paket glase:

— temena trouglova moraju biti numerisana u smeru suprotnom kretanju kazaljke na satu;

— temena trouglova moraju biti numerisana tako da razlika brojeva susednih temena bude što manji broj;

— temena sa poznatim vrednostima potencijala moraju imati najveće brojeve.

Zadovoljenjem navedenih pravila generisana je mreža trougaonih elemenata, prikazana na slici 2.

DXF format jedan je od oblika zapisa izlaznih podataka slike nacrtane u Auto CAD-u. U datoteci zapisanoj u DXF formatu, pored podataka o nivou, tipu linije i ostalih atributivnih parametara slike, dati su i podaci o koordinatama presečenih tačaka. Ovi podaci su posebno važni s obzirom na zahteve metode konačnih elemenata.

Međutim, datoteka se ne može koristiti u izvornom obliku u programskim paketima za proračun polja. Zbog toga je potrebno softverski obraditi datoteku i prilagoditi je programima za numerički proračun polja. Najveći deo programa korišćenih u radu napisan je u programskom jeziku FORTRAN-77.

Sređivanje datoteke sa izlaznim podacima podeljeno je u nekoliko faza:

— određuje se broj čvorova i vrši se numerisanje po rastućem poluprečniku;

— vrši se prebrajanje linija i krajnjim tačkama se pridružuje broj čvora sa istim koordinatama;

— određuje se broj elementarnih trouglova i stvara izlazna datoteka sa numerisanim vrhovima u smeru suprotnom od kazaljke na satu;

— vrši se prenumeracija čvorova, tako da čvorovi sa poznatim potencijalom dobijaju najviše redne brojeve;

— definišu se trouglovi prema tipu materijala.

Eventualni problemi mogu se pojaviti u slučaju neraspolaganja dovoljnom veličinom radne memorije za velike mreže konačnih elemenata (od nekoliko hiljada elemenata).

Prazni hod sinhronog generatora

Kod neopterećene mašine jedina struja koja utiče na magnetne pojave u mašini je jednosmerna struja pobude na polu statora. Efektivna vrednost indukovane elektromotorne sile može se izraziti u obliku, [6]:

$$E_0 = 4.44\ f\ k_n\ w_{ph}\ \phi_1 \qquad (12)$$

gde je: f — učestanost, k_n — navojni sačinilac, w_{ph} — broj navojaka po fazi, ϕ_1 — magnetni fluks.

Magnetni fluks po polu može se dobiti iz jednačine:

$$\phi_1 = \frac{2}{p} B_1\ l_i\ r_r \qquad (13)$$

gde je: B_1 — amplituda magnetne indukcije, l_i — magnetna dužina mašine, r_r — spoljni poluprečnik rotora, p — broj pari polova.

Zbog proračuna efektivne vrednosti indukovanog napona preko amplitude magnetne indukcije B_1 na srednjoj liniji žlebova rotora, umesto spoljnjeg poluprečnika rotora uzet je poluprečnik koji odgovara srednjoj liniji žlebova rotora.

Vrednosti magnetne indukcije u pojedinom trouglu mreže dobijaju se na osnovu (2), posle čega se izdvajaju samo trouglovi koji naležu na srednju liniju žlebova rotora. Korišćenjem posebnog potprograma u okviru glavnog programa za proračun EMS sprovodi se Fourijerova analiza izdvojenih vrednosti indukcije, iz koje se dobija:

$$B(x) = \Sigma B_n \cos\left(\frac{n\ \Pi\ x}{\tau} - tg^{-1}\frac{a_n}{b_n}\right) \qquad (14)$$

gde je: n — red prostornog harmonika.

$$tg^{-1}\frac{a_n}{b_n} = \xi_1$$

— ugao između fazora EMS E_0 i q-ose.

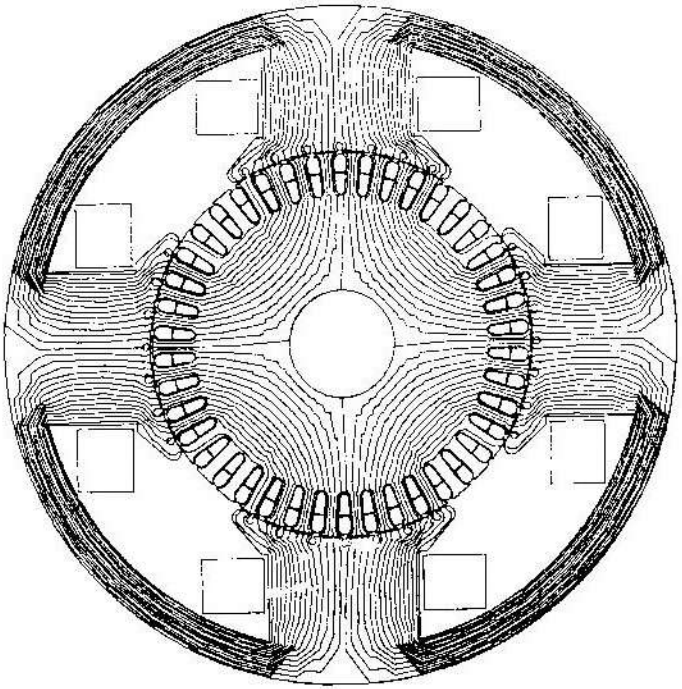
Za crtanje raspodele indukcije na srednjoj liniji žlebova rotora koristi se poseban programski paket UNIPLOT, instaliran na računskom sistemu CYBER 170, koji kao ulazne parametre koristi rezultate proračuna Fourijerove analize.

Proračun karakteristike praznog hoda sinhronog generatora sproveden je za sledeće vrednosti struje pobude:

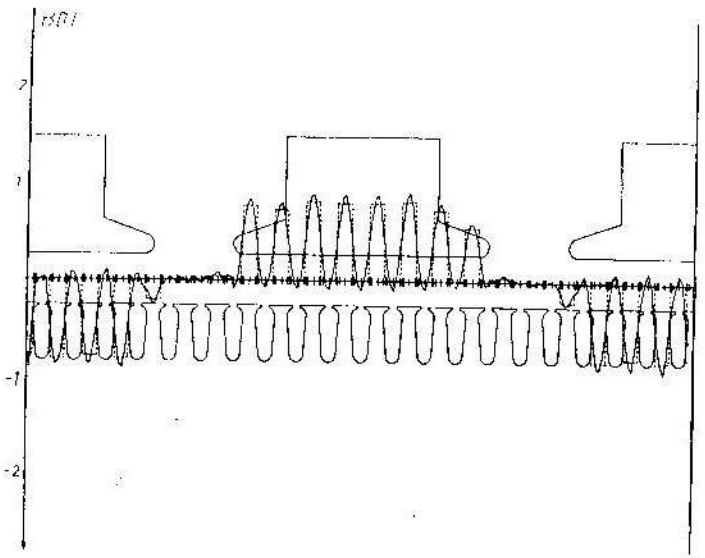
1. $I_f = 0.525$ A $= 25\%\ I_{fn}$
2. $I_f = 1.05$ A $= 50\%\ I_{fn}$
3. $I_f = 1.575$ A $= 75\%\ I_{fn}$
4. $I_f = 2.1$ A $= 100\%\ I_{fn}$
5. $I_f = 3.15$ A $= 150\%\ I_{fn}$
6. $I_f = 4.2$ A $= 200\%\ I_{fn}$

Za sačinilac ispune rotora i statora odabrana je vrednost $k_{pu} = 0.9$.

Na slici 3. prikazana je raspodela magnetnog polja sinhronog generatora pri $I_f = 100\%\ I_{fn}$, a na slici 4. raspodela magnetne indukcije na srednjoj liniji žleba rotora pri $I_f = 100\%\ I_{fn}$.

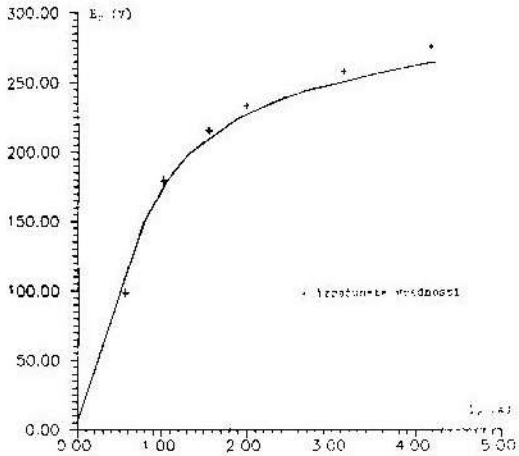


Sl. 3 — Raspodela magnetnog polja sinhronog generatora pri struji pobude $I_f = 100\%\ I_{fn}$



Sl. 4 — Raspodela magnetne indukcije na srednjoj liniji žleba rotora pri struji pobude $I_f = 100\%\ I_{fn}$

Na slici 5. upoređena je merena karakteristika praznog hoda sa izračunatim vrednostima indukovane EMS.



Sl. 5 — Karakteristika praznog hoda sinhronog generatora

Opterećenje sinhronog generatora

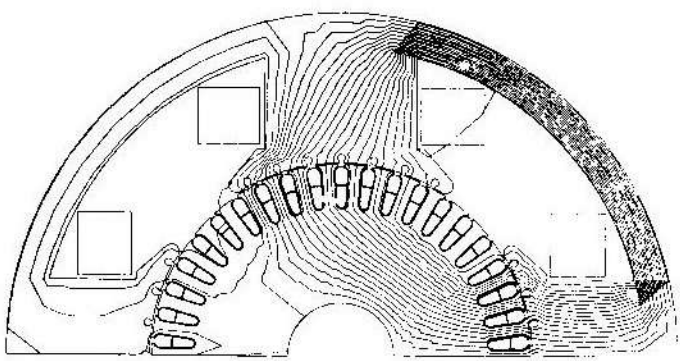
Pri opterećenju sinhronog generatora kroz namot indukta poteče struja opterećenja koja stvara sopstveno magnetno polje koje zajedno sa poljem pobudnog namota u vazdušnom procepu čini rezultantno magnetno polje. Polje reakcije indukta narušava simetriju magnetnog polja u mašini, što ima za posledicu niz negativnih pojava, koje rezultiraju time da napon na izvodima mašine pada sa opterećenjem.

U radu je proračun opterećenja proveden sa ciljem da se prikaže nesimetrija magnetnog polja koja nastaje kao posledica delovanja reakcije indukta. Također je proveden proračun raspodele magnetne indukcije na srednjoj liniji žleba rotora sinhronog generatora u režimu opterećenja.

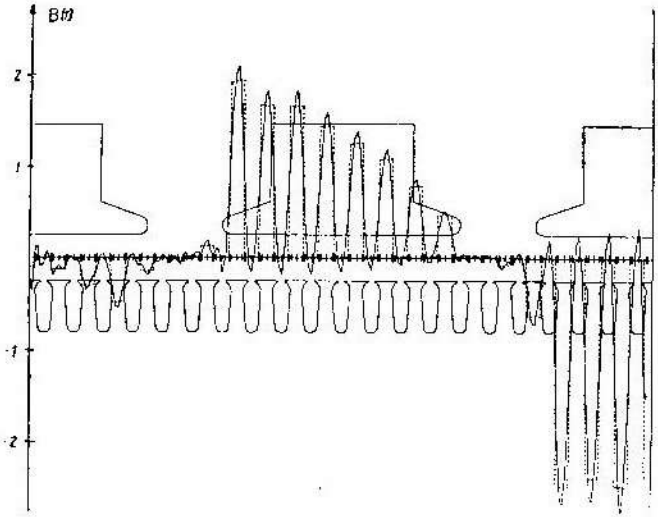
Proračun je proveden za nazivnu vrednost pobudne struje i deseterostruku nazivnu vrednost struje indukta da bi se jasnije izrazila nesimetrija u mašini. Takvo stanje mašine odgovara režimu simetričnog trofaznog udarnog kratkog spoja sinhronog generatora.

Numerički proračun opterećenja provodi se tako što se u fazi »a« zadaje maksimalna vrednost struje $I_{max} = \sqrt{2}\, I_a$, a u fazi »b« i »c« struje su dvostruko manjeg iznosa i suprotnog smera jedna u odnosu na drugu ($I_a = \sqrt{2} * 10 * 57.7$; $I_b = I_a/2$; $I_c = -I_a/2$).

Na slici 6. prikazana je raspodela magnetnog polja sinhronog generatora pri struji $I_a = 10\ I_{an}$, a na slici 7. odgovarajuća raspodela magnetne indukcije na srednjoj liniji žleba rotora.



Sl. 6 — Raspodela magnetnog polja sinhronog generatora pri struji indukta $I_a = 10\ I_{an}$



Sl. 7 — Raspodela magnetne indukcije na srednjoj liniji žleba rotora pri struji indukta $I_a = 10\ I_{an}$

Zaključak

U radu je izvršen numerički proračun praznog hoda i opterećenja sinhronog generatora sa istaknutim polovima pomoću metode konačnih elemenata. Kao preprocesor primenjen je programski paket Auto CAD, čije su izlazne datoteke prilagođene zahtevima programa kojima se vrši numerički proračun magnetnog polja u mašini.

Indukovani napon na izvodima mašine izračunat je pomoću amplitude osnovnog harmonika magnetne indukcije, dobijene Fourijerovom analizom raspodele indukcije na srednjoj liniji žleba rotora. Izračunate vrednosti indukovane elektromotorne sile na izvodima mašine pokazuju dobru podudarnost sa rezultatima merenja. Slike raspodele magnetnog polja i magnetne indukcije pri opterećenju prikazuju nesimetriju koja nastaje u mašini kao posledicu delovanja reakcije indukta.

Na osnovu dobijenih rezultata otvara se mogućnost dalje analize elektromagnetnih prilika u mašini, a time i mogućnosti optimiranja konstrukcije mašine radi dobijanja kvalitetno boljih izlaznih karakteristika mašine.

Literatura:

[1] Matijević V., Haznadar Z.: Proračun praznog hoda i nazivnog opterećenja sinhronog generatora s istaknutim polovima pomoću metode konačnih elemenata, Elektrotehnika 4/1990, Zagreb, strana 157—165.

[2] Matijević V.: Numerički proračun reaktancija sinhronog generatora sa istaknutim polovima, Magistarski rad — ETF, Zagreb, 1990.

[3] Haznadar Z., Jokić R.: Proračun polja sinhronih generatora metodom konačnih elemenata, Elektrotehnika 1/1976, Zagreb.

[4] Haznadar Z., Pužar F.: Primjena metode konačnih dijelova za proračun reaktancija sinhronih strojeva, Elektrotehnika 4/1981, Zagreb.

[5] Damjanović B., Damjanović P.: Auto CAD, Vinča, Beograd, 1989.

[6] Fitzgerald A. E., Kingsley C., Umans S. D.: ELECTRIC MACHINERY, four editon, Mc GRAW-HILL INTERNATIONAL BOOK COMPANY, Auckland, 1983.

Mr Branko Đedović,
major, dipl. inž.

Mikroračunarska implementacija digitalnog regulatora pozicionog sistema automatskog upravljanja rotacijom

U radu je obrađen problem mikroračunske implementacije digitalnog regulatora sistema automatskog upravljanja obrtnim masama velikog momenta inercije. Definisana je analogna shema upravljanja i projektovan digitalni model sistema. Posebna pažnja posvećena je analizi efekta dužine reči, kvantovanja analognog signala i brzine rada mikroprocesora na performanse sistema. Formiran je opštevažeći kriterijum o generalnoj formulaciji primenljivosti diskretnog regulatora.

Uvod

U savremenim tehničkim sredstvima javljaju se sistemi, odnosno elementi sistema, koji se mogu predstaviti u obliku dve obrtne mase velikih momenata inercije, jedne koja se obrće u horizontalnoj ravni i druge zglobno vezane za prethodnu, koja se obrće u vertikalnoj ravni. Pri funkcionisanju ovako koncipiranog sistema postavlja se zadatak ostvarivanja preciznog ugaonog položaja jedne i druge obrtne mase uz maksimalnu brzohodnost i minimalno vreme smirenja, što zahteva automatsko upravljanje obrtanjem ovih masa.

Postavljeni zadaci nameću primenu hidraulike u sistemu automatskog upravljanja. Međutim, s obzirom na današnji stepen razvoja tehnike sa sigurnošću se može tvrditi da simbioza mikroelektronike i hidraulike predstavlja najefikasniji način korišćenja prednosti koje poseduju hidraulični sistemi.

Ovaj rad ima za cilj da koncipira i izvrši analizu elektrohidrauličnog sistema upravljanja na bazi mikroračunara, razmatrajući prednosti i nedostatke ovakvog upravljanja uz programiranje algoritma, razmatranje uticaja konačne dužine reči i numeričkih grešaka na dinamiku regulacije.

Analogna shema upravljanja

Elektrohidraulični servosistemi kao podsistemi automatskog upravljanja (numerički upravljane alatne mašine, valjaonice čelika, radarske antene, i dr.), u novije vreme imaju sve veću primenu u upravljanju pozicijom i brzinom obrtanja masa velikog momenta inercije.

Posebnu prednost ovim sistemima dala je simbioza hidrauličkih i elektroničkih, odnosno mikroelektroničkih komponenata, gde se električnim signalom snage hiljaditog dela vata na ulazu upravlja snagama na izlazu i do više stotina kilovata.

Kao ulazni signali od posebnog su interesa za ovaj rad signali koji se dobijaju na izlazu savremenih mikroračunara u kojima se vrši brza i tačna obrada upravljačkih signala i podataka po zadanom programu, odnosno na osnovu podataka koji dolaze iz sistema za prikupljanje informacija.

Elektrohidraulični sistem automatskog upravljanja obrtnim masama koncipiran je složeni sistem sastavljen od tri podsistema:

— upravljački podsistem;

— podsistem za upravljanje u horizontalnoj ravni;

— podsistem za upravljanje u vertikalnoj ravni.

Upravljački podsistem koncipiran je tako da omogućuje pravovremeno, precizno i tačno dobijanje upravljačkog signala na izlazu iz mikroračunara kojim se utiče na izvršni deo sistema automatskog upravljanja po horizontali i vertikali.

Upravljački podsistem sačinjavaju:

— informacioni sistem;

— upravljački blok operatora;

— mikroračunar sa interfejsima, A/D i D/A konvertorima;

— elektronski pojačavač signala;

— davači informacija povratnih sprega .

Podsistem za upravljanje u horizontalnoj ravni je izvršni deo složenog sistema automatskog upravljanja, koji omogućuje da objekt upravljanja tačno i brzo prati upravljački signal.

Osnovne komponente podsistema upravljanja u horizontalnoj ravni su:

— elektronsko pojačalo signala sa izvorom električne energije;

— elektrohidraulični dvostepeni servorazvodnik sa izvorom hidrauličke energije;

— hidromotor;

— reduktor.

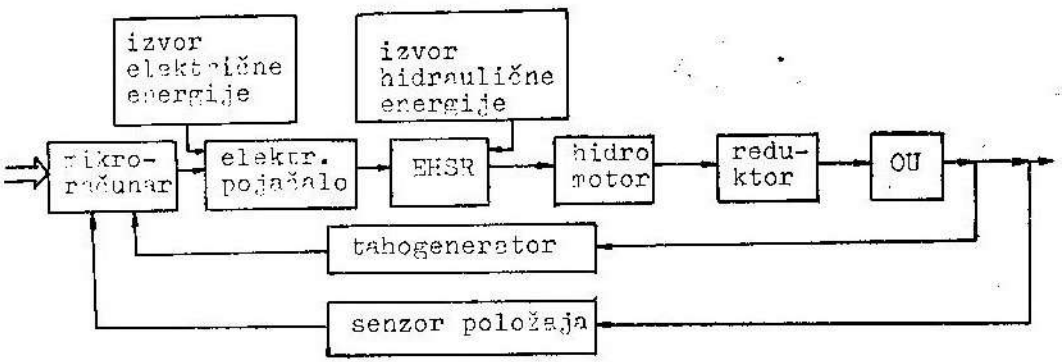
Podsistem za upravljanje u vertikalnoj ravni sačinjavaju:

— elektronsko pojačalo signala;

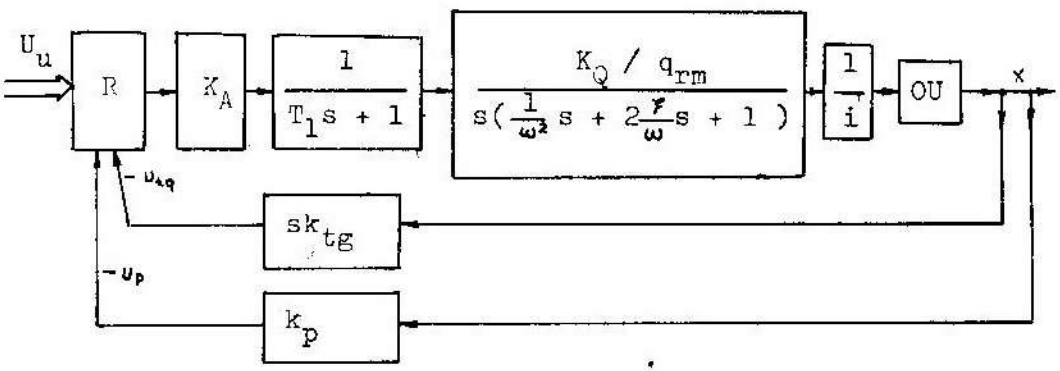
— elektrohidraulični dvostepeni servorazvodnik;

— hidrocilindar.

Analiza i sinteza podsistema upravljanja obrtnim masama u horizontalnoj i vertikalnoj ravni je u potpunosti analogna, te je u radu razmatrano upravljanje u jednoj (horizontalnoj) ravni.



Sl. 1 — Principijelna shema elektrohidrauličnog sistema automatskog upravljanja



Sl. 2 — Blok-dijagram elektrohidrauličnog sistema upravljanja u horizontalnoj ravni

Principijelna shema elektrohidrauličkog sistema automatskog upravljanja obrtnim masama izgleda kao na slici 1.

Matematički opisujući karakteristike komponenata, odnosno dinamički proces sistema upravljanja, koristeći njihove prenosne funkcije, sledi blok-dijagram sistema upravljanja u horizontalnoj ravni koji je prikazan na slici 2.

gde su:

R — digitalni regulator,
K_A — faktor pojačanja elektronskog pojačala,
T_1 — vremenska konstanta hidrauličnog pojačala,
K_Q — faktor pojačanja protoka hidromotora,
q_{rm} — specifični protok hidromotora,
ω — prirodna kružna frekvenca,
ζ — koeficijent prigušenja,
k_{tg} — koeficijent tahogeneratora,
k_p — koeficijent potenciometra.

Polazna veličina od koje se krenulo u statički i dinamički proračun sistema upravljanja je moment inercije obrtne mase u horizontalnoj ravni $J_m = 8300\ kgm^2$.

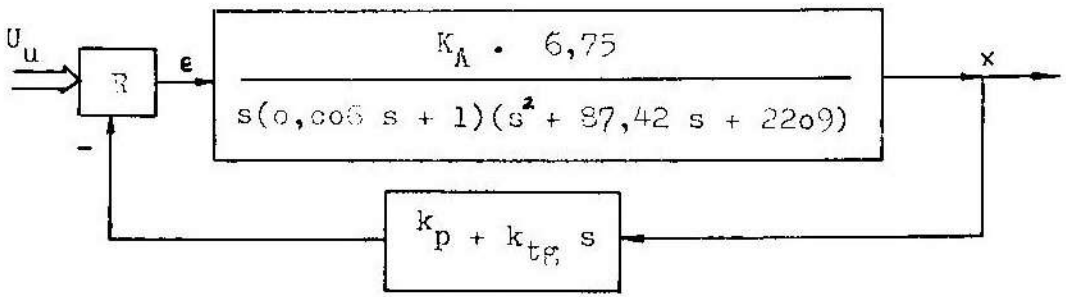
Nakon statičkog proračuna i izbora hidrauličkih komponenata sledi blok-dijagram sistema upravljanja koji je prikazan na slici 3.

Digitalni model sistema

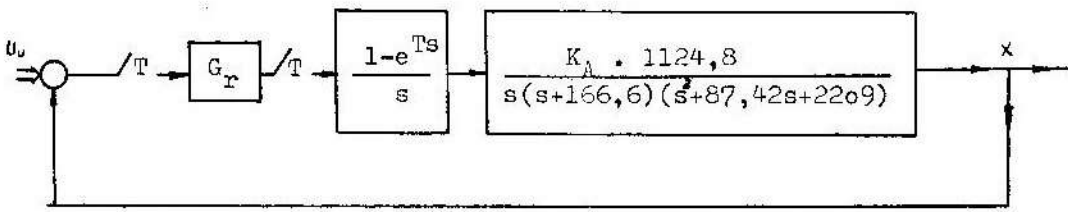
U projektovanom sistemu automatskog upravljanja primenjen je digitalni regulator, koji je u poređenju sa analognim regulatorom fleksibilniji, jer, zahvaljujući programabilnosti, omogućuje prilagođavanje regulatora karakteristikama objekta i zahtevima upravljanja bez izmene fizičke realizacije.

Primenom ekstrapolatora nultog reda sledi blok-dijagram digitalnog sistema automatskog upravljanja, prikazan na slici 4.

Primenom χ transformacije, uz korišćenje bilinearne transformacije, na prenosnu funkciju koja opisuje proces rotacije obrtne mase sledi sinteza digitalnog sistema upravljanja.



Sl. 3 — Blok-dijagram elektrohidrauličnog sistema upravljanja



Sl. 4 — Blok dijagram digitalnog sistema automatskog upravljanja

Prenosna funkcija otvorenog sistema bez korekcije data je relacijom:

$$G_{h_0}G_{pr(w)} = 3{,}32\,\frac{(0{,}664w-1)\,(1{,}444w+1)\,(1{,}585+1)}{(w+1)\,(w+1)\,(w+1)}. \qquad (1)$$

Posmatrajući prenosnu funkciju datu relacijom (1), uočava se da su sva tri pola u levoj poluravni w ravni, dok se jedna nula nalazi u desnoj poluravni w ravni, te pripada nestabilnom području.

Konstruišući logaritamske karakteristike $G_{h_0}G_{pr}(w)$, uočava se zavisnost amplitude i faze od ω_w. Analizom ovih karakteristika određuju se pokazatelji kvaliteta nekorigovanog sistema: rezerva po modulu, rezerva po fazi, pojas propuštanja, rezonantni vrh i rezonantna frekvenca prelaznog režima.

Logaritamska karakteristika sistema upravljanja data je na slici 5.

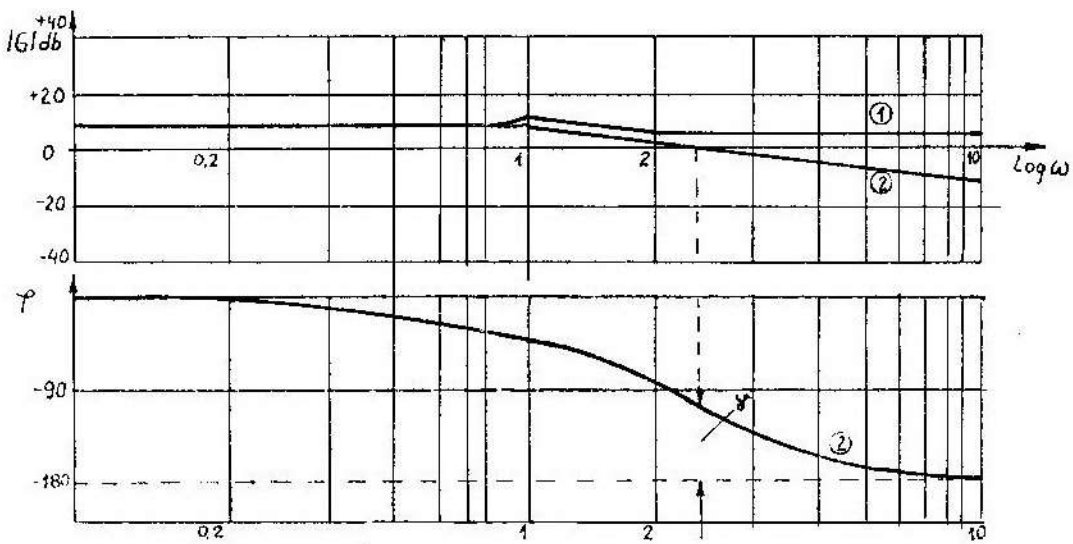
relacijom (1), sledi prenosna funkcija digitalnog regulatora sledećeg oblika:

$$G_r(w) = \frac{k}{(aw-1)\,(bw+1)} \qquad (2)$$

Na osnovu prelomnih frekvenca amplitudne karakteristike nekorigovanog sistema i njihovog međusobnog odnosa sa koeficijentima a i b sledi: a = = 0,664 i b = 0,143.

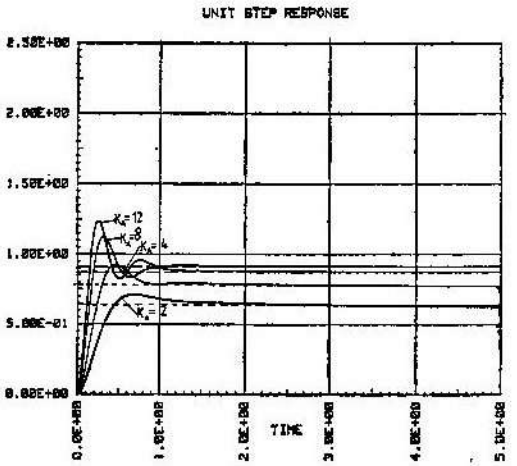
Odziv digitalnog sistema upravljanja na jediničnu odskočnu funkciju za vrednost faktora pojačanja K_A = 2, 4, 8 i 12 pokazan je na slici 6.

Odskočni odziv sistema za faktor pojačanja K_A = 2 izdvojeno je pokazan na slici 7. Analizom ovog dijagrama uočava se da je greška ustaljenog stanja



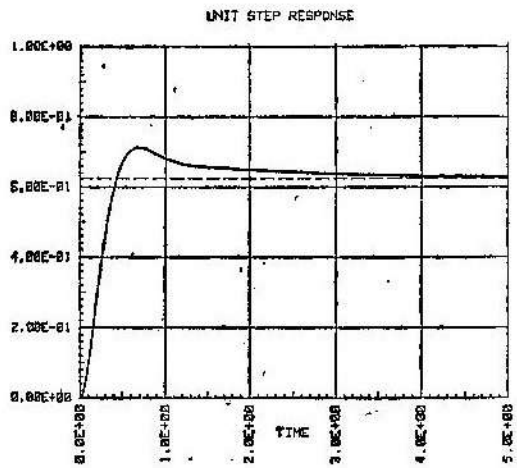
Sl. 5 — Logaritamska frekventna karakteristika digitalnog sistema automatskog upravljanja
1) bez korekcije, 2) sa korekcijom

Kako za vrednost K_A = 2 sistem bez korekcije nema željenu stabilnost, to u odnosu na prenosnu funkciju, datu e = 40%, što ne odgovara projektnim zahtevima. Greška ustaljenog stanja je posledica neusklađenog skaliranja od-



Sl. 6 — Odziv digitalnog sistema na jediničnu odskočnu funkciju za K_A=2, 4, 8, 12

nosa ulazne promenljive i izlaza i otklanja se uvođenjem linearnog pojačanja u sistem. Da bi se dobila željena vrednost e = 2%, analizom se dolazi do zaključka da ovoj korekciji odgovara pojačanje K = 1,6024.



Sl. 7 — Odskočni odziv digitalnog sistema za faktor pojačanja K_A=2

Odskočni odziv sistema za K_A = 2 sa unetom korekcijom pojačanja K = 1, 6024 pokazan je na slici 8.

Analizom dijagrama odziva sistema na jediničnu odskočnu funkciju, koji je prikazan na slici 8, slede performanse sistema:

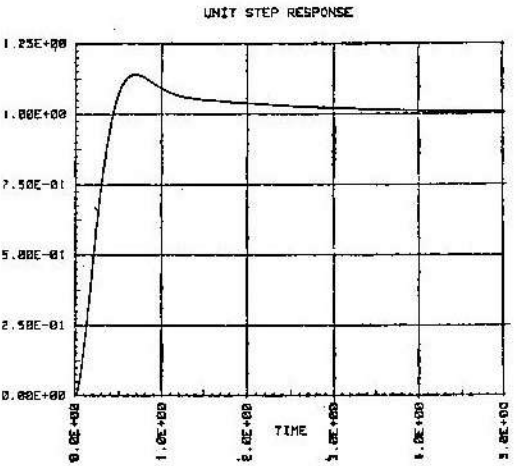
— vreme uspona T_u = 0,38 s,

— vreme smirenja za grešku ustaljenog stanja datu projektnim zahtevima e = 2%, T_s = 1,2 s,

— preskok sistema, M_p = 1,14,

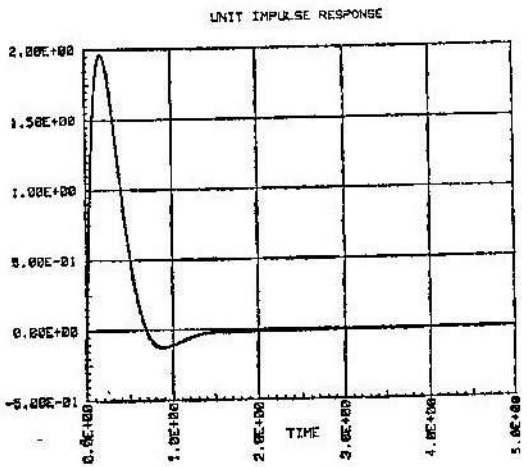
— predominantna vremenska konstanta sistema, T_d = 0,25 s,

— vreme kašnjenja, T_k = 0,04 s.



Sl. 8 — Odskočni odziv digitalnog sistema za faktor pojačanja K_A=2, sa uvedenom korekcijom pojačanja K=1,6024

Jedinični impulsni odziv digitalnog sistema izgleda kao na slici 9.



Sl. 9 — Jedinični impulsni odziv digitalnog sistema automatskog upravljanja

Mikroračunarska implementacija izabrane digitalne strukture

Upravljački podsistem sistema upravljanja obrtnim masama sačinjava mikroračunar koji istovremeno obavlja funkciju digitalnog regulatora.

Upravljanje obrtnim masama primenom mikroprocesora ostvaruje se unošenjem u memoriju mikroprocesorskog sistema programa algoritma rada, odnosno korekcije položaja objekta upravljanja u odnosu na željenu poziciju.

Na osnovu izraza (2), korišćenjem bilinearne transformacije sledi prenosna funkcija regulatora, realizovana na mikroračunaru rednim programiranjem, data relacijom:

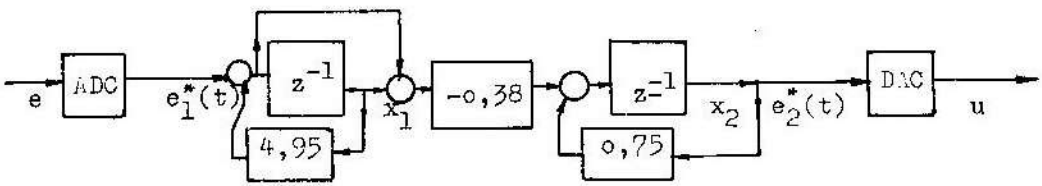
$$G_r(z) = \frac{1+z^{-1}}{(1+4{,}95z^{-1})} \cdot \frac{(-0{,}38)}{(1+0{,}75z^{-1})} \qquad (3)$$

Kaskadnom realizacijom digitalnog regulatora sledi:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}_{i+1} = \begin{bmatrix} 4{,}95 & 0 \\ -3{,}95 & -0{,}75 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} -0{,}38 \\ -0{,}38 \end{bmatrix} e_i^*(t)$$

$$e_i^*(t) = -3{,}95 \quad -0{,}75 \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} -0{,}38 \\ -0{,}38 \end{bmatrix} e_i^*(t). \qquad (4)$$

Blok-dijagram regulatora na osnovu izraza (3) dat je na slici 10.



Sl. 10 — Blok-dijagram regulatora

Jedan od najjačih programskih kvaliteta mikroprocesora je mogućnost donošenja odluke o toku daljeg odvijanja programa. Kako su programom uneseni matematički algoritmi svih mogućih situacija u kojima se može naći proces u svom odvijanju, to je mikroprocesor u stanju da donosi odluku na osnovu koje izračunava korekciju i ostvaruje potpunu kontrolu nad procesom.

U upravljanju procesom rotacije zahteva se obrada signala u realnom vremenu, zato je brzina realizovanja programa korekcije kritična komponenta, te upotreba mikroprocesora ima poseban značaj.

Programiranje regulatora

Mikroprocesori u tehnologiji CMOS našli su primenu u različitim sistemima konstruktivno udovoljavajući strogim zahtevima, te je u radu programiranje regulatora izvedeno na bazi procesora COSMAC CDP 1802, proizvođača RCA.

Inverznom transformacijom prenosne funkcije regulatora $G_r(z)=E_2(z)/E_1(z)$ sledi:

$$e_2(kT) = -0{,}38e_1(kT) - 0{,}38e_1(k-1)T - 5{,}7e_2(k-1)T + 3{,}7e_2(k-2)T. \qquad (5)$$

Korekcija se izvodi na osnovu programa datog nizom naredbi:

```
0000  NAM       KOREKCIJA UPRAVLJANJA PROCESOM ROTACIJE
0010  INP  1    UVESTI E1 (KT) NA ULAZNI UREĐAJ 1
0020  LDN  R3   SPREMI E1 (KT) U AKUMULATOR D
0030  LDA  N    SPREMI (−0,38) U REGISTAR N
0040  SEP  R8   IZRAČUNAJ (−0,38)*E1KT
0050  LDN  D    SPREMI REZULTAT U AKUMULATOR D
0060  LDN  P    SPREMI E1 (K-1) T U REGISTAR P
0070  SEP  R9   IZRAČUNAJ (−0,38)*E1 (K-1) T
0080  LDN  Ro   SPREMI REZULTAT U REGISTAR Ro
0090  ADD  R1   IZRAČUNAJ (−0,38)*E1 (KT) −0,38*E1 (K-1) T
0100  LDN  RO   SPREMI REZULTAT U REGISTAR R1
0110  LDN  B4   SPREMI E2 (K-1) T U AKUMULATOR D
0120  LDX  R2   SPREMI (−5,7) U REGISTAR R2
0130  SEP  R10  IZRAČUNAJ (−5,7)*E2 (K-1) T
0140  LDN  D    SPREMI REZULTAT U AKUMULATOR D
0150  SM   R6   IZRAČUNAJ (−0,38)*E1 (KT)−0,38*E1 (K-1) T-5,7*E2 (K-1) T
0160  LDX  R2   SPREMI REZULTAT U REGISTAR R2
0170  LDN  N    SPREMI E2 (K-2) T U REGISTAR N
0180  LDA  R7   SPREMI 3,7 U AKUMULATOR D
0190  SEP  R11  IZRAČUNAJ 3,7*E2 (K-2)T
0200  LDX  D    SPREMI REZULTAT U AKUMULATOR D
0210  SM   R8   IZRAČUNAJ −0,38*E1 (KT)−0,38*E1 (K-1) T-5,7*E2 (K-1) T+
                + 3,7*E2 (K-2)T
0220  OUT  6    PRENESI SADRŽAJ IZLAZNOM UREĐAJU 6
      END.
```

Analiza utjecaja koeficijenata greške na dinamiku regulacije

Mikroračunarska implementacija digitalnog regulatora uslovljena je uticajem konačne dužine REČI i brzine rada mikroračunara, kao faktorima od bitnog značaja za dinamiku regulacije procesa u realnom vremenu. Konačna dužina reči i AD konverzija podataka pri realizaciji programa regulatora za posledicu imaju greške uzrokovane skraćivanjem i zaokruživanjem podataka.

Veličina greške nastale skraćivanjem podataka računa se relacijom:

$$\varepsilon_T = Q_T(x) - x, \tag{6}$$

gde je:

$Q_T(x)$ — realna vrednost podatka,
x — skraćena vrednost podatka.

Veličina greške nastale zaokruživanjem podatka računa se relacijom:

$$\varepsilon_R = Q_R(x) - x, \tag{7}$$

gde je:

$Q_R(x)$ — realna vrednost podatka,
x — zaokružena vrednost podatka.

Za primenjeni 8-bitni mikroprocesor slede koeficijenti greške:

$$\begin{aligned} 0 \geqslant \varepsilon_T > -2^{-8} \quad & \text{za } x > 0 \\ 0 \leqslant \varepsilon_T < 2^{-8} \quad & \text{za } x < 0, \end{aligned} \tag{8}$$

odnosno

$$\frac{-2^{-8}}{2} \leqslant \varepsilon_R \leqslant \frac{2^{-8}}{2} \tag{9}$$

Greška kvantovanja uzrokuje određenu veličinu greške na izlazu iz re-

gulatora, definisanu statističkim parametrima $\bar{u}$ i σ_u. Proučavanjem ovih parametara saznaje se da li algoritam upravljanja multiplicira ili slabi šum kvantovanja. Na osnovu zakonitosti matematičke statistike sledi:

$$\bar{u} = \bar{\varepsilon} \sum_{k=0}^{\infty} h_k, \tag{10}$$

gde je h_k impulsni odziv, a ε je ulazni signal okarakterizovan sa ε i $\sigma\varepsilon$.

Disperzija slučajne promenljive data je relacijom:

$$\delta_u^2 = \delta_\varepsilon^2 \sum_{k=0}^{1} [h_k]^2. \tag{11}$$

Veličine $\bar{u}$ i δ_u^2 računaju se za svaki čvor posebno, a ukupna vrednost jednka je sumi, odnosno

$$\bar{u} = \bar{u}_1 + 2\bar{u}_2 + \bar{u}_3 = \frac{4}{(1+\beta_1)(1+\beta_2)} = 0{,}38\varepsilon. \tag{12}$$

$$\delta_u^2 = \delta_\varepsilon^2 \frac{4}{(\beta_1 - \beta_2(1-\beta_1\beta_2)} \left[\frac{\beta_1}{1+\beta_1^2} - \right.$$

$$\left. - \frac{\beta_2}{1+\beta_2^2} \right] = -0{,}04\delta_\varepsilon^2. \tag{13}$$

Digitalna dužina reči C+1, definisana je dinamičkim rangom analognog signala i šumom kvantovanja pri ADC i data relacijom:

$$C = \log_2 \frac{e_{max}}{e_{min}} \tag{14}$$

što u datom primeru iznosi $C \geqslant 8$ bita.

Program digitalnog regulatora, dat relacijom (5), realizuje se u 100 naredbi, što je 1,5 ms i predstavlja vreme kašnjenja.

Zaključak

Na temelju analize realizacije digitalnog regulatora na bazi mikroračunara uočavaju se kao prednosti: velika fleksibilnost u realizaciji korekcionog elementa, prilagodljivost i mogućnost proširenja zasnovana na programabilnosti, pouzdan rad i visok nivo automatizacije u upravljanju procesom. Kao negativne strane primene ističu se: rad s ograničenom dužinom reči i multipliciranje greške nastale kvantovanjem analognog signala. Svi navedeni nedostaci se daljim razvojem mikroračunara postepeno eliminišu i već danas, primenom računara pete generacije, postaju nezamenljivi u upravljanju procesima.

Literatura:

[1] Abdull, R., I Ciner, P., Elektrohidraulički servosistemi, Zagreb, 1985.

[2] Besekerskij, V. A. i Izrancev, V. V., Sistemi avtomatičeskovo upravlenija s mikro EVM, Moskva, 1987.

[3] Kvakernak, H. I Sivan, R., Linear Optimal Control Systems, J. Wiley, 1972.

[4] Matko, D., Diskretni regulacijski sistemi, Ljubljana, 1984.

[5] Ribarić, S. Arhitektura mikroprocesora, Zagreb, 1985.

[6] Specshart, F. H. I Green, W. L., A GUIDE TO USING CSMP — The Continuous System Modeling Program, Englewood Cliffs 1976.

[7] Tou, T. J., Digital and Sampled-data Control Sistems, Mc Graw-Hill, 1959.

[8] Tokheim, R. L., Theory and problems of Microprocessor Fundamentals, McGraw-Hill, 1983.

[9] Grujić, Ž., Hidraulički servosistemi, Zagreb, 1987.

Mr Goran Savanović,
kapetan I klase, dipl. inž.

Jedan metod brzog proračuna sopstvenih frekvencija helikoptera

U članku su obrađene osnovne postavke problema oscilovanja lopatica i helikoptera. Postupak proračuna sveden je na formiranje diferencijalnih jednačina ravnoteže elemenata kojima se opisuje oscilatorno kretanje delova helikoptera, a u nastavku se jednom od približnih numeričkih metoda izvodi proračun oblika oscilovanja i sopstvenih frekvenci i proračun naponskog stanja u presecima. Posebna pažnja je data kombinaciji proračuna sa merenjima nivoa oscilacija na helikopterima, koji su u eksploataciji, čime se omogućuje praćenje stanja helikoptera.

Uvod

Glasnik RV i PVO je već pisao o vibracijama helikoptera, kao o izuzetno ozbiljnom problemu koji se sreće u inženjerijskoj praksi u vazduhoplovstvu. Pri tome, posebna pažnja je bila posvećena uticaju vibracija na ljudski organizam [3].

U ovom radu, međutim, obrađene su osnovne postavke problema oscilovanja lopatica i helikoptera, uz prikaz frekvencijskog dijagrama sa analizom uticajnih parametara, a zatim je opisan i jedan skraćeni metod proračuna sopstvenih frekvencija za slučaj zajedničkih mašućih i torzionih oscilacija. Metod je praktičan za prvu fazu projektovanja, jer u skraćenom postupku proračuna brzo daje rezultate zadovoljavajuće tačnosti.

Uzroci pojave vibracija helikoptera

Aerodinamičke sile, koje deluju na krakove glavnog rotora, značajno se menjaju pri obrtanju rotora u stacionarnom režimu leta i imaju periodični karakter. Sile i momenti koji se javljaju na lopaticama rotora prenose se na glavčinu glavnog rotora preko osnih šarnira, i proizvode vibracije na trupu, a sastoje se od pomenutih aerodinamičkih sila, sila inercije i centrifugalnih sila, koje nastaju usled mašućeg kretanja, zabacivanja, zakretanja i obrtanja krakova. Značajne vibracije nastaju i usled obrtanja repnog rotora. Vibracije, takođe, nastaju i usled rada motora, transmisije i reduktora.

Na slici 1 naznačeni su najčešći uzročnici povišenih vibracija helikoptera.

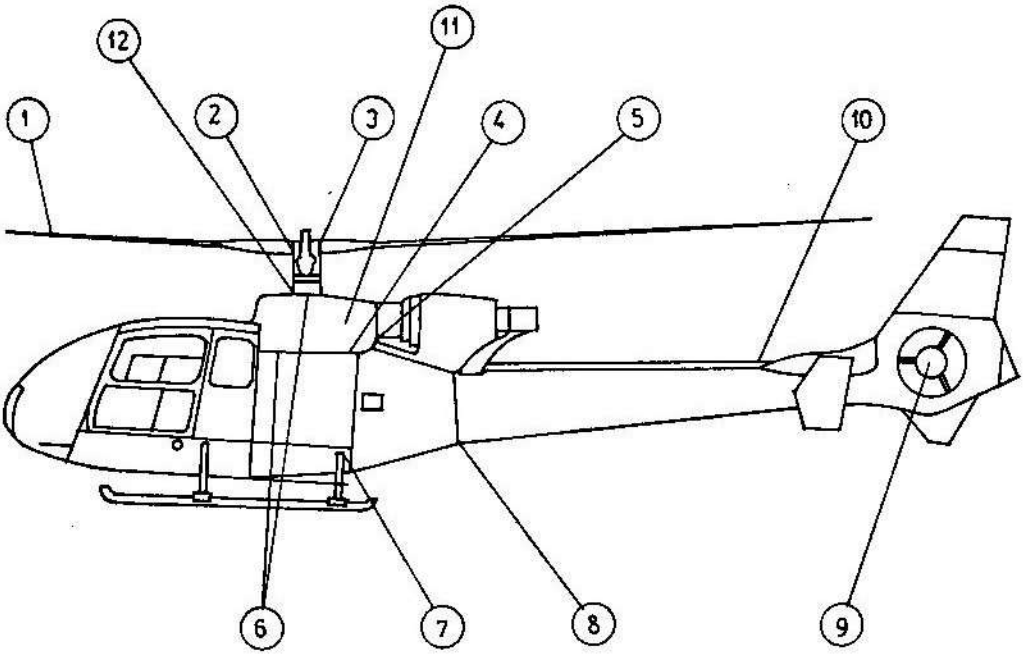
Uklanjanje ili smanjivanje nivoa vibracija ima veliki značaj iz tri razloga:

1. — Smanjivanje sila koje izazivaju zamor materijala na lopaticama, mehaničkim komponentama i konstrukciji helikoptera,

2. — Preventiva u cilju sprečavanja oštećenja ugrađene osetljive elektronske i druge opreme; i

3. — Vrednost sopstvenih frekvencija delova ljudskog organizma.

Na osnovu iznetog proizilazi važnost određivanja vrednosti sopstvenih frekvencija oscilovanja helikoptera, i harmonika tih frekvencija jer kada vrednost sopstvenih frekvencija dostigne vrednost frekvencije pobudnih oscilacija dolazi do rezonanse, koja za niže harmonike može da izazove katastrofalne posledice. Međutim, pri određivanju vrednosti sopstvenih frekvencija helikoptera u celini ili pojedinih njegovih elemenata, konstruktor je suočen sa tri osnovna ograničenja:



Sl. 1

— vrednost pobudnih frekvencija rotirajućih delova helikoptera (lopatice i glave glavnog i repnog rotora, reduktora, motora, transmisije);

— vrednost sopstvenih frekvencija delova helikoptera (lopatice glavnog i repnog rotora, struktura helikoptera, mehaničke komponente, itd.); i

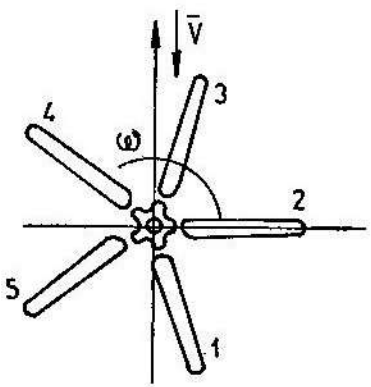
— vrednost sopstvenih frekvencija delova ljudskog organizma.

Pobudne sile i momenti

Prema samom principu letenja, helikopter je izložen dejstvu periodičnih sila i momenata. Lopatice vrše složeno obrtno kretanje oko ose glave glavnog rotora i oscilatorno kretanje u ravni mahanja, zabacivanja i zakretanja. Aerodinamičko opterećenje je promenljivo i po dužini lopatica i po azimutu, čak i u stacionarnom letu. Pri progresivnom letu, menja se i brzina i napadni ugao nadolazeće vazdušne struje, usled čega dolazi do mašućeg kretanja lopatice, što za posledicu ima pojavu vibracija helikoptera.

U cilju definisanja pobudnih sila $X(t)$, $Y(t)$, $Z(t)$ i momenata $M_x(t)$, $M_y(t)$, $M_z(t)$, koji se sa rotora prenose na strukturu helikoptera, posmatrajmo rotor sa pet lopatica, koji se obrće ugaonom brzinom ω.

Neka u trenutku vremena t, lopatica rotora zauzima položaj kao na slici 2.



Sl. 2

U svakom trenutku vremena pobudna sila X(t) ima različitu vrednost. Posle 1/5 vremena punog obrta rotora, prva lopatica će biti na mestu druge, druga na mestu treće itd. Zbog toga, ukoliko se teorijski radi o identičnim lopaticama, vrednost pobudne sile posle 1/5 vremena punog obrta rotora biće ponovo ista kao u početnom trenutku vremena. Očigledno je, dakle, da se raspored i veličina pobudnih sila u svakoj ravni ponavljaju posle svakih 1/5 obrta, a jasno je da to važi i za slučaj rotora za »z« lopatica, kada se raspored i veličine pobudnih sila ponavljaju svakih 1/z vremena punog obrta rotora.

Prema tome, proizilazi da periodična pobudna sila kod petolopatičnog rotora, koja se prenosi na helikopter, ima učestanost 5ω, dok za to vreme periodična sila koja dejstvuje na lopaticu ima učestanost ω.

S obzirom da frekvencija pobudnih sila helikoptera p, direktno zavisi od broja lopatica rotora z, frekvencija pobudnih sila i momenata se može u opštem slučaju izraziti kao:

$$p = z\omega \qquad (1)$$

Pobudna sila X(t), kao svaka periodična funkcija, se može razložiti u Furijeov red:

$$X(t) = X_o + X_{a1}\cos 5\omega t + X_{b1}\sin 5\omega t + X_{a2}\cos 10\omega t + X_{b2}\sin 10\omega t + \ldots \qquad (2)$$

Ili, na osnovu (1)

$$X(t) = X_o + X_{a1}\cos pt + X_{b1}\sin pt + X_{a2}\cos 2pt + X_{b2}\sin 2pt + \ldots + X_{an}\cos p_n t + X_{bn}\sin p_n t + \ldots + \qquad (3)$$

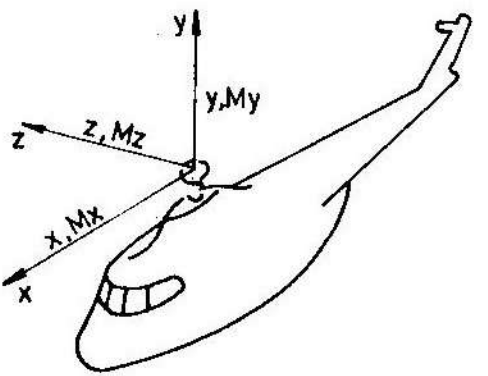
$$M_x = M_{xo} + M^x_{a1}\cos pt + M^x_{b1}\sin pt + M^x_{a2}\cos 2pt + M^x_{b2}\sin 2pt + \ldots + M^x_{an}\cos p_n t + M^x_{bn}\sin p_n t + \ldots +$$

$p_n = n\,z\,\omega$, je n-ta frekvencija pobudnih oscilacija.

Na isti način, mogu se definisati i ostale pobudne sile i momenti Y(t), Z(t), $M_y(t)$, $M_z(t)$.

Ukoliko helikopter ima i repni rotor, koji se obrće ugaonom brzinom ω_r, na helikopter će delovati i pobudne sile od repnog rotora, sa frekvencijom:

$p_{rro} = z_{rr}\,\omega_{rr}$, $p_{rr1} = 2\,p_{rro}$, $p_{rr2} = 3\,p_{rro}$, ... $p_{rrn} = (n+1)P_{rro}$, p_{rrn} — je n-ta frekvencija pobudnih oscilacija repnog rotora.



Sl. 3

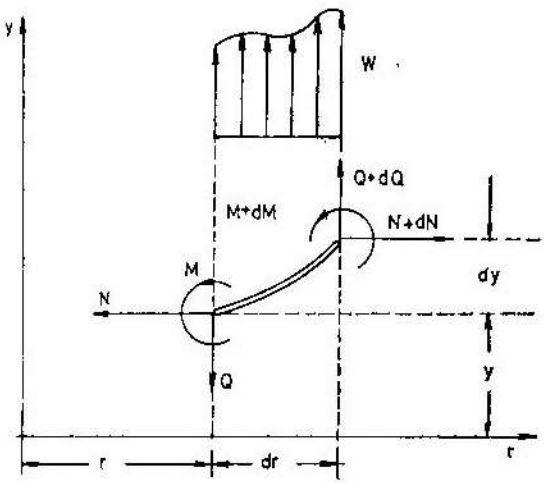
Mehaničke oscilacije koje se prenose na strukturu helikoptera (ili u vazduhoplovnom žargonu — vibracije helikoptera), uzrokovane su dejstvom opisanih pobudnih sila i momenata, kao neizbežna posledica principa na kojima se zasniva mogućnost leta helikoptera. U ovom radu, međutim, dat je akcenat na određivanje sopstvenih frekvencija lopatice, kao primer koji je primenljiv i pri određivanju sopstvenih frekvencija svakog drugog elementa ili helikoptera u celini.

Oscilacije lopatica helikoptera

Diferencijalne jednačine oscilovanja lopatice

Ograničen prostor daje mogućnost da se ovde opiše postupak formiranja diferencijalnih jednačina oscilovanja lopatice samo u ravni mahanja, kao i postupak određivanja sopstvenih frekvencija i oblika oscilovanja. Postupak je analogan i za ravan zabacivanja.

Ugib u ravni mahanja se određuje kao otklon lopatice u ravni normalnoj na ravan glavčine (slika 4), pri čemu se posmatra samo jedan isečak lopatice.



Sl. 4

Polazeći od uslova ravnoteže sila koje deluju na isečak lopatice, u literaturi [1] i [2] je pokazano da parcijalna diferencijalna jednačina oscilovanja lopatice ima sledeći oblik:

$$\frac{d^2}{dr^2}\left(EI_z\frac{\delta^2 y}{\delta r^2}\right)-\frac{\delta}{\delta r}\left(N\frac{\delta y}{\delta r}\right)+$$

$$+m\frac{\delta^2 y}{\delta t^2}=\frac{\delta T}{\delta r} \qquad (4)$$

ili,

$$(EI_z y'')''-(Ny')'+my=T' \qquad (5)$$

E — Jangov modul elastičnosti;

I_z — Moment inercije oko ose savijanja;

EI_z — Krutost lopatice;

N — Centrifugalna sila;

m — Masa lopatice;

y — Pomeraj lopatice u ravni mahanja.

Rešavanje diferencijalne jednačine (4 ili 5) u zatvorenom analitičkom obliku je nemoguće, čak i u slučaju da su parametri m i EI_z konstantni po dužini lopatice. U ovom slučaju, proračun frekvencije se vrši nekom od aproksimativnih metoda. Prethodno je potrebno sačiniti matematički model lopatice, u kome se lopatica zamenjuje konačnim elementima, kod kojih je masa koncentrisana u levom kraju elementa, a krutost na konačnom elementu je konstantna. Dužina i krutost elemenata međusobno mogu biti različite.

Na slici 5, prikazan je matematički model lopatice pogodan za proračun metodom tri momenta, detaljnije datoj u literaturi [1].

Kada je opterećenje T, (sl. 4) na lopaticu usled aerodinamičkih sila jednaka nuli, jednačina (5) predstavlja slobodno kretanje lopatice u vakumu, tj. jednačina opisuje slobodne oscilacije lopatice u polju centrifugalnih sila i dobija oblik:

$$(EI_z y'')''-(Ny')'+m\ddot{y}=0 \qquad (6)$$

U slučaju da nema obrtanja lopatica, tj. kada su centrifugalne sile jednake nuli, dobija se jednačina slobodnih oscilacija u obliku:

$$(EI_z y'')''+m\ddot{y}=0 \qquad (7)$$

Diferencijalna jednačina (7) predstavlja najprostiji oblik oscilovanja. Rešenje te jednačine može se dobiti raznim metodama. Koristeći, na primer, metod razdvajanja promenljivih [1] i uvođenjem smene:

$$y=\bar{y}\,(r)\,\sin pt$$

i posle četvorostrukog integraljenja dobija se jednačina oscilovanja u obliku:

$$\bar{y}=p^2\int_0^y\int_0^r\left(\frac{dr^2}{EI}\int_r^R\int_r^R m\,\bar{y}\,dr^2\right) \qquad (8)$$

Ova inteligentna jednačina može se rešiti na primer metodom postepenog približenja. S obzirom da i na levoj i desnoj strani jednačine figuriše nepoznata $\bar{y}$, funkciju na desnoj strani moguće je zameniti bilo kojom poznatom funkcijom, koja ima približan oblik

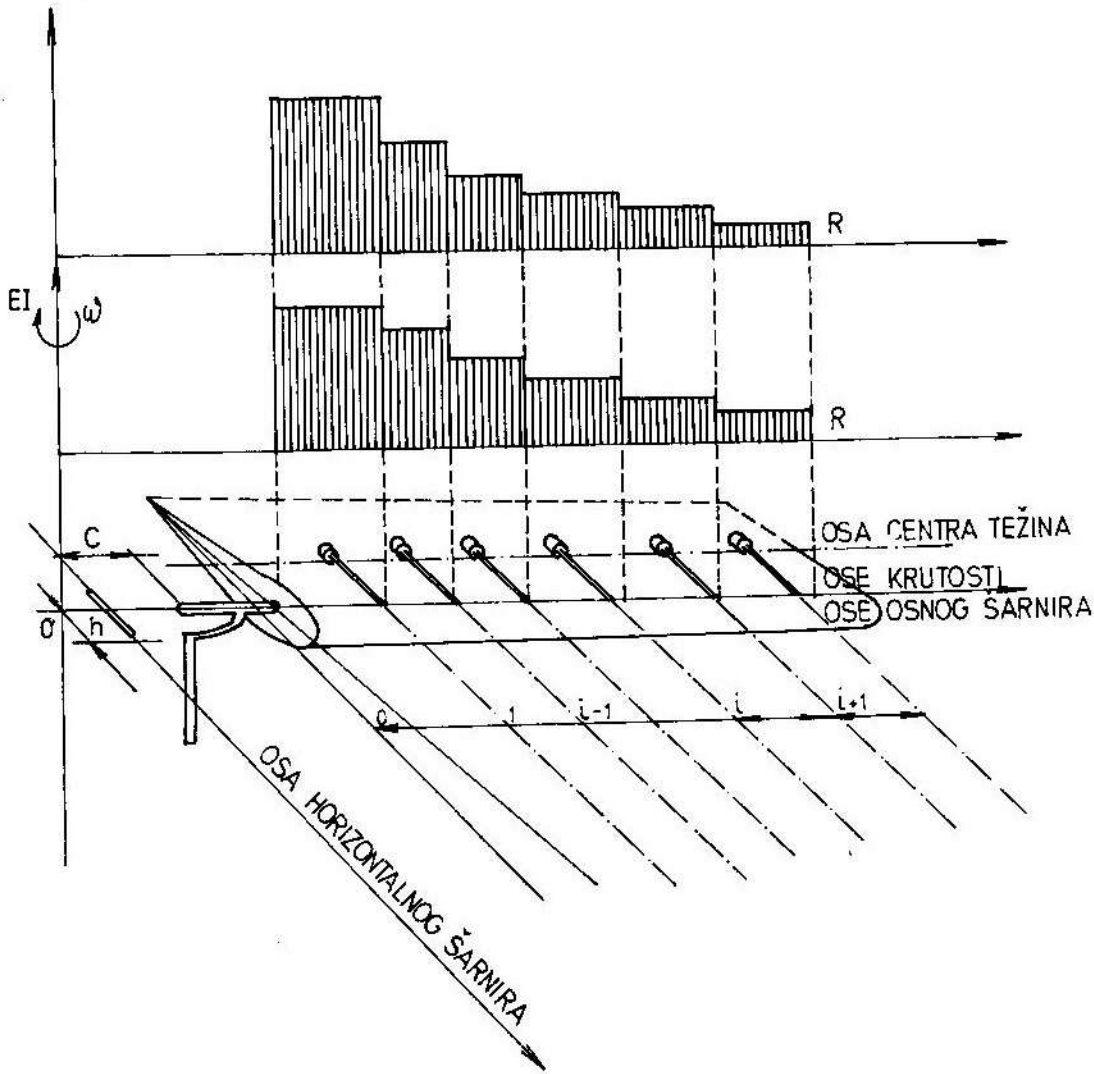
proračunavanog harmonika normiran bilo kojom vrednošću (na primer, da je na kraju lopatice $y_n=1$).

Proces proračuna teče tako što se svaki naredni ciklus unosi pod integral novo izračunata vrednost funkcije pomeranja $\bar{y}$. Proces teče sve dok se ne zadovolji uslov da je razlika sopstvenih frekvencija između dva susedna ciklusa p^2_i i p^2_{i+1} manja od unapred zadate greške ε, tj.

$$p^2_i - p^2_{i+1} < \varepsilon \qquad (9)$$

Ovim je određena funkcija pomeraja $\bar{y}_i$ (r) i sopstvena frekvencija p^2_i posmatranog harmonika. Proces brzo konvergira ka ε.

Da bi se proračunao svaki sledeći harmonik i njegova frekvencija, neophodno je da bude zadovoljen uslov ortogonalnosti sledećeg harmonika, sa svim prethodno izračunatim. Ovaj uslov proizilazi iz zakona o održanju energije, a fizički mu je smisao da njegovim ispunjenjem lopatica može istovreme-



Sl. 5

no oscilovati po više harmonika, ali samo po onim koji zadovoljavaju uslov ortogonalnosti

$$\Sigma\, m_i\, \bar{y}^{(j)} \bar{y}_i^{(j+1)} = 0 \qquad (10)$$

$\bar{y}_{i(j)}$ i $\bar{y}_i^{(j+1)}$ su pomeraji lopatice po j-tom i j+1-vom harmoniku, na i- tom preseku (konačnom elementu) lopatice.

Na taj način, ostvarena je i neophodna veza pri prelazu u proračunu sa jednog harmonika na drugi.

Diferencijalna jednačina oscilovanja lopatice u polju centrifugalnih sila (6), može se rešiti metodom Galerkina [1], tako što se kao polazni harmonici za proračun koriste oblici oscilovanja nerotirajuće lopatice, koji su izračunati po gore opisanom postupku. U sklopu tog postupka, dobija se veza između sopstvene frekvencije nerotirajuće i rotirajuće lopatice u obliku:

$$p_j^2 = p_{oj}^2 + k_j\omega^2, \qquad (11)$$

gde je:

p_j — sopstvena frekvencija lopatice u polju centrifugalnih sila

p_{oj} — sopstvena frekvencija lopatice bez uticaja centrifugalnih sila ($\omega = 0$),

k_j — koeficijent koji obuhvata uticaj centrifugalnih sila,

ω — ugaona brzina obrtaja rotora.

Iz izraza (11) proizilazi da za $\omega = 0$ postoji samo vrednost p_{oj} sopstvene frekvencije nerotirajuće lopatice. Sa povećanjem ugaone brzine obrtanja rotora raste i vrednost p_j sopstvene frekvencije lopatice.

S druge strane, vrednost sopstvene frekvencije nekog sistema za najprostiji slučaj oscilovanja (sistem koji predstavlja teg sa oprugom) je data sledećim izrazom:

$$p^2 = \frac{c}{m} \qquad (12)$$

gde je:

p — sopstvena frekvencija sistema;
c — krutost opruge;
m — masa tega.

Iz jednačine (12) sledi da sopstvena frekvencija oscilujućeg sistema raste sa povećanjem krutosti opruge (c). Analogijom, drugi član iz jednačine (11) se uslovno naziva dinamičkom krutošću lopatice. Fizički, naziv ima smisao s obzirom da je u koeficijentu k_j iz jednačine (11) sadržan uticaj centrifugalne sile, koja teži da »istegne« lopaticu, što je analogija sistemu tega sa oprugom.

Za slučaj oscilovanja lopatice u ravni zakretanja diferencijalna jednačina oscilovanja, analogno, ima oblik:

$$(GIo\varphi')' - Im\,(\ddot{\varphi} + \omega^2\varphi) = 0 \qquad (13)$$

G — Modul torzije lopatice;
Io — Polarni moment inercije poprečnog preseka;
Im — Maseni moment inercije preseka
φ — Pomeraj lopatice u ravni zakretanja.

Metod proračuna je identičan već opisanom metodu proračuna lopatice u ravni mahanja i stoga ovde neće biti posebno obrazlagan. U krajnjem, dobija se da je sopstvena frekvencija rotirajuće lopatice u ravni zakretanja data sledećim izrazom:

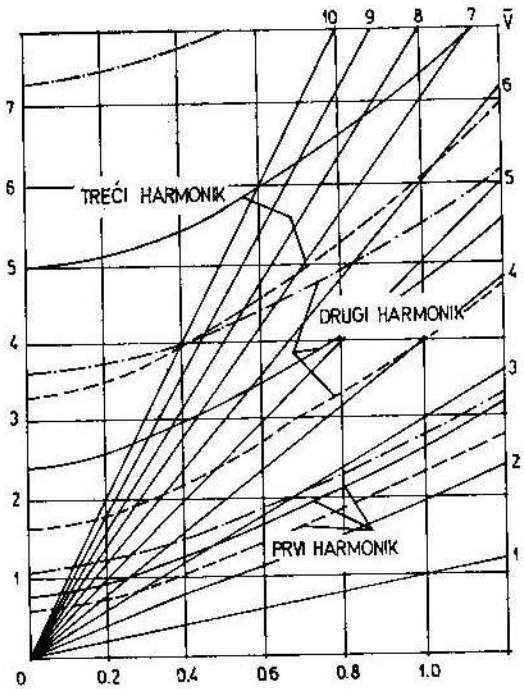
$$\upsilon^2 = \upsilon_o^2 + \omega^2 \qquad (14)$$

gde je:

υ — sopstvena frekvencija rotirajuće lopatice;
υ_o — sopstvena frekvencija nerotirajuće lopatice;
ω — ugaona brzina obrtanja rotora.

Analiza frekvencijskog dijagrama i uticaj projektnih parametara na veličinu sopstvenih frekvencija

Na osnovu proračuna vrednosti sopstvenih frekvencija (11) iz diferencijalne jednačine (6) sledi da sa povećanjem krutosti lopatice raste i njena sopstvena frekvencija, a da sa povećanjem mase vrednost sopstvene frekvencije pada. Možemo uslovno reći da sa povećanjem ugaone brzine raste dinamička krutost lopatice, a samim tim raste i njena sopstvena frekvencija.



Sl. 6

Postavlja se, međutim, pitanje koje su to kritične vrednosti frekvencije koje treba izbegavati, ili koje pri projektovanju izborom odgovarajućih parametara treba menjati. Odgovor je sadržan na frekvencijskom dijagramu, koji se formira na bazi napred opisanog proračuna sopstvenih i pobudnih frekvencija (jedan primer je prikazan slikom 6).

Na tom dijagramu, osim vrednosti sopstvenih frekvencija nekoliko harmonika, ucrtava se i određen broj harmonika pobudnih frekvencija. Za lopatice su bitni prvih 7—8 harmonika, jer i harmonijske komponente aerodinamičkih sila imaju značajnu veličinu samo do osmog harmonika. Iz dijagrama se vidi da se već treći harmonik sopstvenih frekvencija lopatice velike krutosti ne seče ni sa desetim harmonikom pobudne frekvencije u radnom dijapazonu broja obrtaja ($n/n_r < 1$).

Dijagram pobudnih harmonika se formira množenjem broja obrtaja rotora ω sa $n = 1, 2, \ldots$, čime se dobijaju različite vrednosti frekvencija, a za istu vrednost ugaone brzine. Ove vrednosti se mogu podeliti sa radnim brojem obrtaja, kako bi se dobio bezdimenzijski koeficijent koga je lakše analizirati. Ponavljanjem postupka za više vrednosti ugaonih brzina do radnog broja obrtaja ($n/n_r = 1$), dobija se lepeza pobudnih frekvencija. U preseku n-tog harmonika sopstvenih frekvencija sa j-tim harmonikom pobudnih frekvencija, nalaze se kritične vrednosti frekvencija i brojeva obrtaja.

Na osnovu navedenog, može se zaključiti da je promenom krutosti i mase lopatice moguće uticati na vrednosti sopstvene frekvencije lopatice. Međutim, i tu postoje ograničenja po pitanju više parametara:

— *masa lopatice:* Pri projektovanju se teži da masa lopatice bude što manja jer direktno utiče i na masu celog helikoptera. Međutim, nesrazmerno smanjenje mase dovodi do rasta promenljivih napona usled ugiba u ravni mahanja u toku leta, a samim tim i do smanjenja njenog resursa. Ovaj problem se dosta uspešno rešava upotrebom visoko otpornih kompozitnih materijala.

— *statitički ugib lopatice:* Ugib lopatice usled sopstvene težine ne treba da je suviše velik, a ograničen je i konstrukcijom samog helikoptera. Rast

veličine statičkog ugiba je u direktnoj vezi sa krutošću lopatice, pri čemu za lopatice male krutosti dolazi do povećanja dinamičkih preopterećenja.

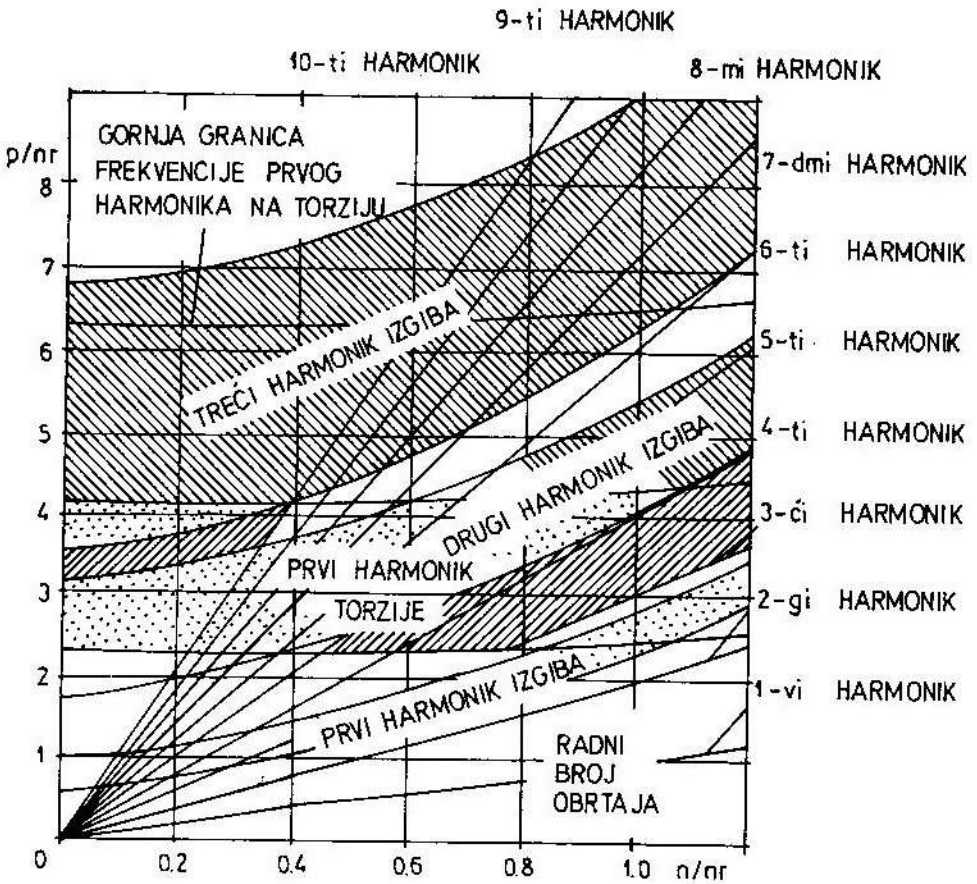
— *visina ramenjače:* Ovaj parametar je ograničen izborom aeroprofila i ne može se drastično povećavati, jer sa povećanjem visine ramenjače dolazi do povećanja dužine aerodinamičke tetive, što kao krajnju posledicu ima pogoršanje aerodinamičkih karakteristika rotora.

— *vitoperenost lopatice:* Ovaj parametar ima značaj kod obezbeđenja jednolike raspodele indukovnih brzina u ravni obrtanja.

— *aerodinamička čistoća površina:* Kod ovog parametra bitno je imati u vidu da sa povećanjem hrapavosti raste koeficijent otpora, tako da opada vrednost uzgona za isti napadni ugao.

— *krutost na torziju:* Sa dijagrama zajedničkih mašućih i torzionih oscilacija, prikazanom na sledećoj slici 7. se vidi da je od praktičnog značaja samo prvi harmonik torzionih oscilacija. Značaj vrednosti krutosti na torziju je kroz udeo torzije na zajedničke torzione oscilacije i oscilacije u ravni mahanja i kao parametar preko koga se određuje veličina šarnirnih momenata neophodnih za proračun sistema upravljanja nosećim rotorom.

S tim u vezi, po dinamičkim karakteristikama lopatice se dele na lopatice male, srednje i velike krutosti.



Sl. 7

Na frekvencijskom dijagramu sa slike 7 unesena su prva tri harmonika za sva tri tipa lopatica.

1. *Lopatice male krutosti:* kod ovih lopatica, drugi harmonik sopstvenih frekvencija seče se sa četvrtim harmonikom pobudnih oscilacija, a treći harmonik sopstvenih frekvencija seče se u radnom dijapazonu sa šestim harmonikom pobudnih oscilacija.

Ove lopatice nemaju dovoljnu čvrstinu, osetljive su na iznenadne promene struje vazduha i imaju mali resurs. Međutim, dosta se primenjuju zbog lake i proste konstrukcije. U početku, ove lopatice su rađene u kombinaciji drvo-metal, a zatim je ramenjača rađena od čelične cevi, dok su rebra od drvene lepenke sa platnenom oplatom.

2. *Lopatice srednje krutosti:* Prema dijagramu sa slike 7. drugi harmonik sopstvenih frekvencija seče se sa petim harmonikom pobudnih oscilacija, na 80% punog broja obrtaja rotora.

U početku, lopatice ovog tipa imale su profilisanu metalnu ramenjaču, metalna rebra i metalnu oplatu. Sa razvojem novih tehnologija, ramenjača ostaje ista, ali se ugrađuje saćasta struktura.

3. *Lopatice velike krutosti:* **Moguće** je postići da drugi harmonik sopstvenih frekvencija bude van petog harmonika pobudnih oscilacija. Time se smanjuju naizmenični naponi koji dejstvuju na ramenjaču u odnosu na lopatice srednje krutosti. Međutim, s obzirom da se povećanje krutosti obično vrši na račun povećanja mase ojačanjem ramenjače, može se desiti da je lopatica preteška i da je nesposobna da apsorbuje neravnomernost dejstva, aerodinamičkih sila, usled čega nije pogodna za povećana tresenja. Zbog toga su praktične lopatice od kompozitnih materijala. Ove lopatice imaju svojstvo visokog strukturalnog prigušenja, što je veoma važno u blizini rezonanse, jer utiče na smanjenje amplitude oscilovanja. Karakteriše ih visoka čvrstoća, krutost i otpornost na zamor. Promena sopstvenih frekvencija u ravni mahanja kod ovakvih lopatica može se vršiti odabiranjem posebnih vlakana, koja imaju po potrebi veći ili manji modul elastičnosti.

U dosadašnjoj analizi, pretežno je spominjan uticaj krutosti na drugi i treći harmonik. Prvi harmonik se obično nalazi između drugog i trećeg harmonika pobudnih oscilacija. Na njegov položaj može se uticati jedino drastičnijim izmenama konstrukcije i ugradnjom bezšarnirne lopatice, ugradnjom reaktivnih motora na kraju lopatice ili nekim drugim metodama.

Skraćena metoda proračuna sopstvene frekvencije za slučaj jednovremenih oscilacija u ravni mahanja i zakretanja

Problemu određivanja vrednosti sopstvenih frekvencija pristupa se, generalno, u sledeća tri slučaja:

a) Pri projektovanju novog helikoptera, neposredno po završenom izboru koncepcije helikoptera i po definisanju projektnih i aerodinamičkih parametara rotora i strukture. Ovaj proračun predstavlja osnov za proračun naponskih stanja.

b) U slučaju da se na već postojećem helikopteru vrši konstruktivna dorada većeg obima iz bilo kog razloga, proračun je takođe neophodno provesti.

c) Na helikopterima koji su u eksploataciji određivanje (merenjem) je ponekad neophodno izvršiti u cilju definisanja nivoa vibracija, lociranja uzroka, kao i njihovog smanjenja.

Proračun se vrši nekom od numeričkih metoda, a rezultati se usled kompleksnosti problema obavezno proveravaju ispitivanjem i merenjem. Pri tome je neophodno uzeti u obzir realni slučaj istovremenog oscilovanja u svim ravnima, što izuzetno usložnjava sam proračun i čini ga veoma dugotrajnim.

U svetu već postoje programi, namenjeni za projektovanje i matematičko modeliranje helikoptera. Na primer, program CONMIN omogućuje variranje i optimizaciju čak 5000 parametara helikoptera. Pri tome se kao parametri trupa helikoptera uzimaju u obzir materijal, dimenzije i poprečni presek okova, okvira i uzdužnika, raspored agregata, mase, opreme, itd. Za lopaticu, varira se vitoperenost, prečnik rotora, ugaona brzina rotora, raspodela tetive po razmahu, strelovitost, oblik profila lopatice, itd.

Međutim, za brze procene vrednosti zajedničkih mašućih i torzionih sopstvenih frekvencija moguće je primeniti i neki od skraćenih postupaka, koji daje osnovne (bar kvantitativne) vrednosti koje su dovoljne za inženjersku procenu, koje parametre treba izmeniti, a tek potom pristupiti dugotrajnom detaljnom proračunu. Jedan takav metod je prikazan u daljem tekstu, uz napomenu da je sasvim zadovoljavajuću tačnost izračunatih vrednosti zajedničkih oscilacija u ravni mahanja i zakretanja. Greška pri ovom proračunu iznosi 5—10% od vrednosti sopstvenih frekvencija, što je u fazi izbora projektnih parametara i koncepcije lopatice kako pri projektovanju nove, tako i pri modifikaciji postojeće lopatice, sasvim dovoljno.

Postupak bazira na rešavanju diferencijalnih jednačina oscilovanja lopatica, s tim što se integrali u diferencijalnim jednačinama rešavaju korišćenjem propusnog svojstva jedinične stepenaste funkcije [4].

Sistem diferencijalnih jednačina zajedničkih mašućih i torzionih oscilacija je moguće prikazati u obliku spregnutih diferencijalnih jednačina:

$$\begin{aligned} &EI_z y'')'' - (NY')' - mp^2 y + \\ &+ amp^2\varphi = 0 \\ &(GI_0\varphi')' - map^2 y + I_m (p^2 - \\ &-\omega^2)\varphi = 0 \end{aligned} \qquad (15)$$

gde je »a« rastojanje između centra masa i centra krutosti. Ostale oznake su već ranije pominjate u tekstu.

Centrifugalna sila se određuje preko integrala:

$$N = \int_r^R m\,\omega^2 (Ro + r)\,dr \qquad (16)$$

gde su R i Ro radijusi lopatice i glave glavnog rotora, a r radijus lopatice u bilo kom preseku. U cilju uprošćenja postupka, za funkcije y(r) i φ(r), mogu se odabrati oblici oscilovanja nerotirajuće lopatice sa po radijusu konstantnim maseno krutosnim karakteristikama, izračunatim prema jednačinama (8) —(10) i (13)—(14). U cilju uprošćenja terminologije, oznaka za pomeraj y, dobijena razdvajanjem promenljivih zamenjena je oznakom y i kao takva će se primenjivati u nastavku teksta. U tom slučaju, sistem jednačina (15) se može napisati u obliku:

$$\begin{aligned} &(Cn - bn - p^2 mn)\,A + p^2 akn B = 0 \\ &-p^2 ank A + (-ck + (p^2 - \omega^2)\,mk)B = 0 \end{aligned} \qquad (17)$$

Integrali u jednačinama (17) dobijeni su sprovođenjem Galerkinovog postupka. U tom slučaju, članovi u jednačini postaju:

$$Cn = \int_r^R EI_z (y'')^2 dr$$

$$bn = -\omega^2 \int_0^r dr \int_r^R m(Ro - r)\,(y')^2 dr =$$

$$= -\omega^2 bn^*$$

gde je:

$$bn^* = \int_0^r dr \int_r^R m(Ro - r)\,(y')^2\,dr \qquad (18)$$

$$mn = \int_0^R my^2 dr$$

$$akn = \int_r^R am\varphi y^2 dr$$

$$ck = \int_r^R GI_0\,(\varphi')^2 dr$$

$$ck = \int_0^R I_0 \varphi^2 dr$$

Sistem jednačina (17) imaće rešenja, kada je determinanta sistema jed-

naka nuli. U tom slučaju dobijamo frekvencijsku jednačinu u obliku:

$$(1-\varkappa^2)p^4-(pn^2+pk^2)p^2+pn^2pk^2=0 \quad (19)$$

Parcijalne vrednosti frekvencija u ravni mahanja i zakretanja su:

$$pn^2=\frac{cn}{mn}+\varphi^2\frac{bn^*}{mn}$$
$$p_k^2=\frac{ck}{mk}+\omega^2 \quad (20)$$

Veza između mašućih i torzionih oscilacija je:

$$\varkappa=\frac{akn\ ank}{mkmn} \quad (21)$$

Iz jednačine (19), dobijamo frekvenciju zajedničkih mašućih i torzionih oscilacija:

$$p^2{}_{1,2}=\frac{(pn^2+pk^2)\pm\sqrt{(pn^2-pk^2)+4\varkappa pn^2pk^2}}{2\ (1-\varkappa)} \quad (22)$$

I u ovom slučaju lopatica se deli na »n« delova, sa konstantnim maseno krutosnim karakteristikama u svakom elementu. Izračunavanje integrala (18) se provodi koristeći propusno svojstvo jedinične stepenaste funkcije, tj. da na posmatranom konačnom elementu funkcija ima vrednost U=1, a van njega U=0.

U tom slučaju integrali (18), izračunavaju se na sledeći način:

— Izračunavanje mase:

$$m(r)=m_1\sum_{i=1}^{N}m_i(U\ (r-r_{pi})-U(r-r_{kj})) \quad (23)$$

gde je:

m_1 — masa po jedinici dužine (specifična masa), početnog elementa

$\overline{m}_i$ — masa i-tog elementa, svedena na masu prvog elementa ($\overline{m}_i=m_i/m_1$)

U — jedinična stepenasta funkcija

p i k — označavaju početak i kraj konačnog elementa lopatice.

Unošenjem izraza za masu u jednačinu (18), dobijaju se sledeći izrazi:

$$mn=m_1R\sum_{i=1}^{N}(\int_{r_{pi}}^{1}y^2d\bar{r}-\int_{r_{ki}}^{1}y^2d\bar{r})$$

$$cn=(EI_z)_1R\sum_{i=1}^{N}(\overline{EI}_z)_i\ (\int_{r_{pi}}^{1}(y'')^2\,dr-\int_{r_{ki}}^{1}(y'')^2\,dr) \quad (24)$$

$$bn=-\omega^2m_1R\sum_{i=1}^{N}\overline{m}_i\ (\int_{o}^{1}\int_{r_{pi}}^{1}(\overline{Ro}-\bar{r})\ (y')^2d\bar{r}-\int_{o}^{1}\int_{r_{ki}}^{1}(\overline{Ro}-\bar{r})\ (y')^2)$$

$$bn=-\omega^2m_1R^3\sum_{i=1}^{N}\overline{m}_i\ (\int_{o}^{1}(Ro-\bar{r})d\bar{r}\ (\int_{r_p}^{1}(y')^2\,d\bar{r}-\int_{r_k}^{1}(y')^2\,dr))$$

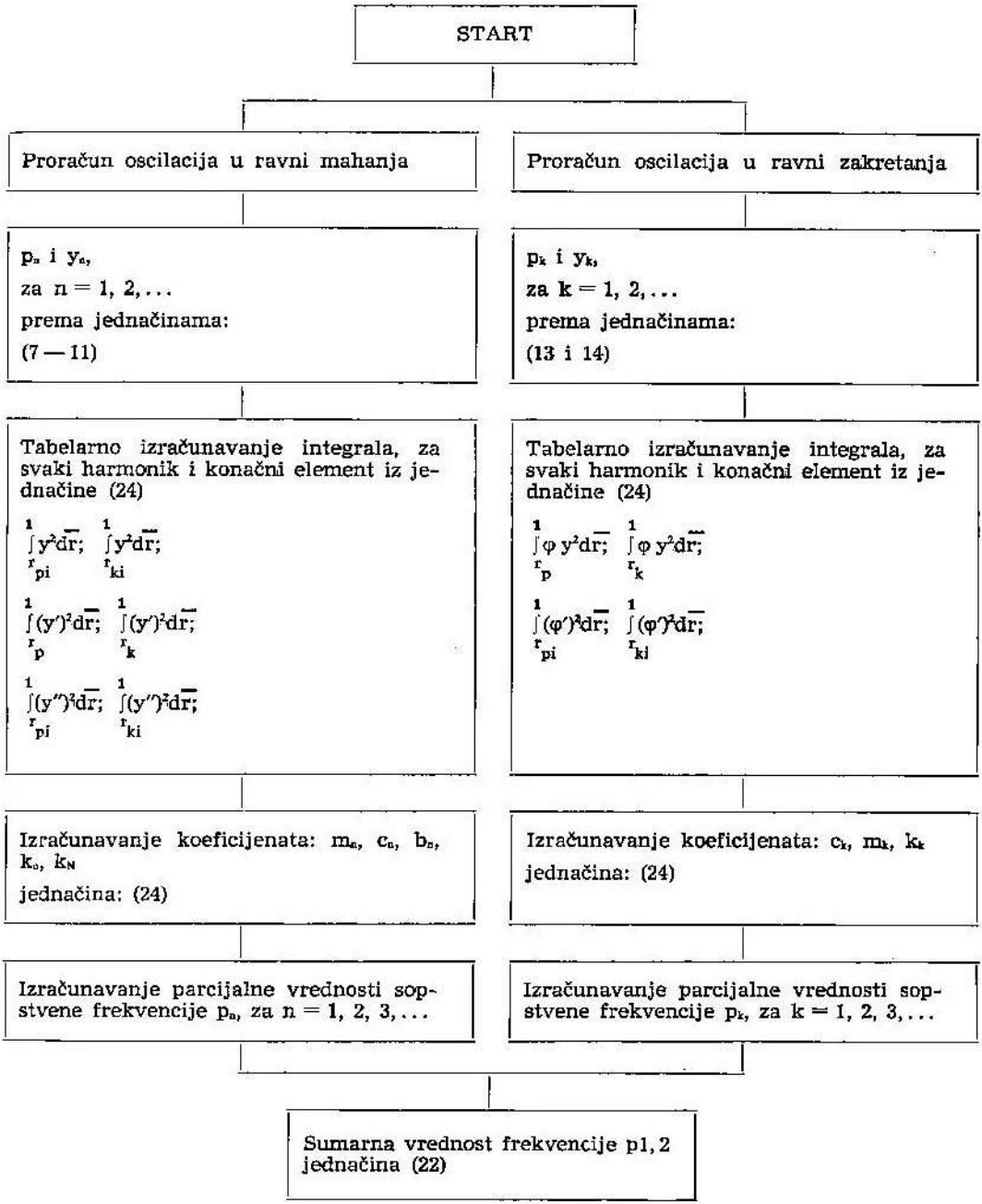
$$akn=amR\sum_{i=1}^{N}\overline{m}_i\ (\int_{r_k}^{1}\varphi\,y^2d\bar{r}-\int_{r_p}^{1}\varphi\,y^2\,d\bar{r})$$

$$ck=(GiIoi)\sum_{i=1}^{N}(GiIoi)\ (\int_{r_{pi}}^{1}(\varphi')^2dr-\int_{r_{ki}}^{1}(\varphi')^2\,dr)$$

$$mk=(Im)_1\sum_{i=1}^{N}I\overline{m}\ (\int_{r_p}^{1}\varphi^2dr-\int_{r_k}^{1}\varphi^2dr)$$

$$\frac{bn}{mn}=\omega^2\,R\,K_N$$

$$k_N=\frac{-\omega^2R\sum_{i=1}^{R}(\int_{r_{pi}}^{1}(y')^2d\bar{r}-\int_{r_{ki}}^{1}(y')^2d\bar{r})\sum_{i=1}^{N}\overline{m}i(Ro(\bar{r}_p-r_k)+\frac{1}{2}(r_p{}^2-r_k{}^2))}{\sum_{i=1}^{N}(\int_{r_p}^{1}y^2d\bar{r}-\int_{r_k}^{1}y^2d\bar{r})}$$



Sl. 8 — Algoritam toka proračuna sopstvenih frekvencija skraćenom metodom

Na isti način se određuju i koeficijenti kn i kk:

$$\frac{cn}{mn} = \frac{(EIz)_1}{m_1} kn$$

$$\frac{ck}{mk} = \left(\frac{GIo}{Im}\right)_1 kk \qquad (25)$$

n — n-ti harmonik mašućih oscilacija

k — k-ti harmonik torzionih oscilacija.

Integrali u jednačinama (24), mogu se izračunati ranije i dati u obliku grafika ili tablice.

Sada se izrazi za frekvenciju n-tog harmonika mašućih i frekvenciju k-tog harmonika torzionih oscilacija mogu napisati u obliku:

$$pn = \sqrt{\frac{(Eiz)_1}{m_1} kn^2 + \omega^2 R^2 k_N^2}$$

$$pk = \sqrt{\frac{GIo}{Im} kk^2} \qquad (26)$$

Koeficijenti kn, k_N i kk, definisani su jednačinama (24) i (25).

Na slici 8. prikazan je algoritam toka proračuna:

U algoritmu za proračun, korišćene su sledeće oznake:

p_n — sopstvena frekvencija n-tog harmonika u ravni mahanja

y_n — n-ti harmonik u ravni mahanja

p_k — sopstvena frekvencija k-tog harmonika u ravni zakretanja

φ_k — k-ti harmonik u ravni zakretanja

$p_{i,j}$ — frekvencija zajedničkih oscilacija u ravni zakretanja i mahanja, n-tog i k-tog harmonika.

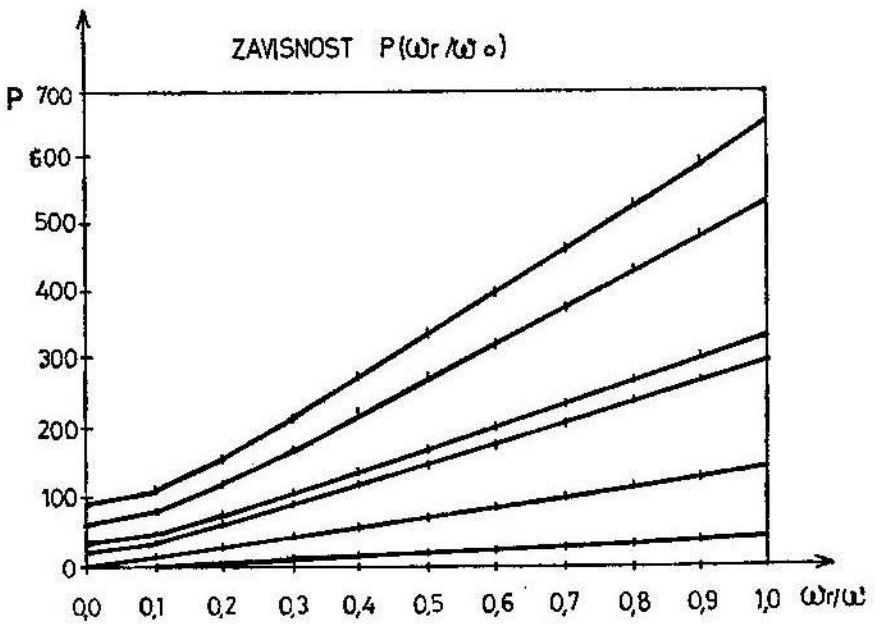
Ostale oznake su ranije date u tekstu.

Na slici 9 prikazani su rezultati proračuna ovom metodom sopstvenih frekvencija lopatice helikoptera.

Ovaj metod je praktičan, jer se može primeniti i za druge oscilujuće elemente, koji se opisanim metodom mogu aproksimirati u elastičnu gredu.

Zaključak

Prikazani skraćeni metod za brzu procenu sopstvenih frekvencija lopatice helikoptera za slučaj zajedničkih ma-



Sl. 9

šućih i torzionih oscilacija je sasvim zadovoljavajući za nivo eksploatacije i održavanja, ali i za početnu inženjersku procenu kod projektovanja novih ili rekonstrukcije već postojećih elemenata.

Druga korist šire primene prikazanog (ili nekog sličnog) programa mogla bi biti u koncentraciji iskustvenih i teorijskih znanja. Naime, poznavanje teorijskih uzroka nastanka prekomernih vibracija, merenje njihovih vrednosti na odgovarajućim tačkama helikoptera i iskustvena znanja stečena u jedinicama i remontnom zavodu omogućuju formiranje stabla otkaza, koje bi algoritamski moglo korisnika da navodi na uzrok povišenih vibracija, kao i na metode za njihovo otklanjanje.

Sledeći korak bio bi formiranje još složenijeg programa, u kome bi bili:

1. Zadati parametri:

— vrednost pobudnih frekvencija rotirajućih delova helikoptera, na određenim režimima leta,

— vrednost sopstvenih frekvencija prvih 7—8 harmonika oscilovanja vitalnih delova helikoptera (lopatice, struktura, itd.).

2. Ograničenja:

— Dozvoljene vrednosti amplituda i frekvencija koje je propisao proizvođač, i (ili)

— Dozvoljene vrednosti amplituda i sopstvenih frekvencija delova ljudskog organizma, na granici komfortabilnosti.

3. Snimljeni parametri:

— Snimljene vrednosti frekvencija i amplituda na tačkama definisanim pod stavom 1.

4. Analiza:

Na osnovu datih vrednosti program bi mogao vršiti predikciju mogućeg uzročnika vibracija, kao i davati preporuke za njihovo otklanjanje.

Literatura:

[1] M. L. Mil': Vertolety — Raščet i proektirovanije izda- tel,stvo »Mašinostroenie«, Moskva, 1967. god.

[2] A. R. S. Bramwell: Dinamika vertoletov, (prevod sa engleskog na ruski), izdatel'stvo, Maśinostroenie, 1976. god.

[3] klk Nikodinović Dragan: Glasnik RV i PVO br. 5, iz 1985. god. Vibracije helikoptera.

[4] Čujko A. N., Pavljuk N. I.: UDK 629.735 Uprošćenij metod opredeljenija sobstvenyh kolebanij lopasti vertoleta, 1990, od.

[5] Goran Savanović: Uticaj aerodinamičkih i projektnih parametara na sopstvene frekvencije i frekventne karakteristike helikoptera, 1991, god. (magistarski rad).

Dr Milovan Ćirović,
potpukovnik, dipl. inž.

Razmatranje održavanja u fazi razvoja elektronskog uređaja

U radu je prikazan model koji omogućava ocenu pojediiih rešenja ili varijanti konstrukcije elektronskog uređaja sa stanovišta održavanja. Pored ostvarivanja visokog nivoa taktičko-tehničkih zahteva, koje nameće predviđeni način upotrebe tih sredstava, pri razvoju elektronskih uređaja neophodno je razmatranje i ugradnja elemenata integralne logističke podrške, kako bi se ostvarila zadata pouzdanost i operativna gotovost. Kako će se pojedine odluke konstruktora odraziti na fazu eksploatacije, posebno na održavanje, moguće je sagledati preko odgovarajućih modela sistema održavanja.

Uvod

Pri razvoju elektronskih uređaja veoma je izražen problem da se u najranijim fazama razvoja donosi najveći broj odluka, čija je težina to veća što su donete ranije, a podaci potrebni za njihovo donošenje su oskudni i neizvesni baš u tim fazama.

Uticaj odluka inženjera u razvoju — konstruktora na fazu eksploatacije, posebno na održavanje, moguće je sagledati preko odgovarajućih modela sistema održavanja. Ocenu pojedinih rešenja ili varijanti konstrukcije moguće je izvršiti na osnovu operativne raspoloživosti, jer je ona kompleksno svojstvo elektronskog uređaja na osnovu koje se najbolje izražava efikasnost sistema održavanja, odnosno, prilagođenost nekog uređaja ili konstrukcije zadatom sistemu održavanja.

Proračun operativne raspoloživosti može se vršiti pomoću različitih modela. U radu će se operativna raspoloživost, kao parametar pomoću koga se data konstrukcija ocenjuje sa stanovišta održavanja, proračunavati pomoću dva modela:

— primenom programskog paketa PREDICTOR,

— pomoću razvijenog simulacionog modela sistema održavanja.

Oba modela biće prikazana kroz razmatranje održavanja elektronskog uređaja koji se nalazi u jedinicama na trupnom nivou.

Proračun operativne gotovosti pomoću programskog paketa PREDICTOR

Model za proračun operativne raspoloživosti pomoću PREDICTORA baziran je na detaljnom modelu pouzdanosti prikazanom u literaturi [4]. Taj model je dopunjen podacima koji opisuju sklopove i podsklopove, a to su:

— pouzdanost sklopa (FR);

— normativ vremena održavanja (MT — Maintenance Table);

— preventivno održavanje (PM — Preventive Maintenance);

— uslovi izvođenja preventivnog održavanja;

— doprinos preventivnog održavanja pouzdanosti sklopa (SAVE);

— logističko vreme kašnjenja (DELAY);

— koeficijent eksploatacije (DC — Duty Cycle), itd.

Model za proračun raspoloživosti i inicijalni program dati su u literaturi [4]. Proračun raspoloživosti na predictoru je veoma detaljan i opširan. Takav proračun ne odgovara potrebama

većine modela za ocenu sistema održavanja, zbog toga je razvijen program koji iz ovog kompletnog proračuna uzima samo one podatke o sklopovima i blokovima koji su potrebni u daljem radu. Rezultati proračuna za nivo blokova i uređaja dati su u tabeli 1.

ki sistem održavanja, vodeća metoda je simulaciono modelovanje [2]. Za rešavanje problema stvaraju se modeli koji čine apstraktne predstave o strukturi problema.

Ima više razloga koji utiču da se simulaciono modelovanje koristi u ana-

Tabela 1

Rezultati proračuna raspoloživosti pomoću PREDICTORA

PART	GM MOBILE FAILURE RATE /M HRS.	QTY	TOTAL FAILURE RATE /M HRS.	REPAIR CLOCK MINUTES	MMM/ N 52560 O HOURS T E
TEMPERATURE 30 C.					
LEVEL 1 UPRAVLJACKA KUTI	29.7188	1	29.7188	.0	.0
LEVEL 1 PRIJEMNIK POBUDJ	32.1025	1	32.1025	134.6	227.0
LEVEL 1 POJACALO SA PRI	11.9222	1	11.9222	56.5	35.4
LEVEL 1 PRIBOR	9.8349	1	9.8349	145.9	75.4
ACTIVE PM 5 ACTIONS	.0000			2700.0	13500.0
			83.5784		
LEVEL 0 RADIO-UREDJAJ RU			83.5784	76.9	337.9
AVG. DOWN TIME: 81.0 HRS. PER OUTAGE					
LEVEL 0 RADIO-UREDJAJ RU	83.5784	1	83.5784	76.9	337.9

QUANTITATIVE FACTORS-(HOURS)					
MTBF	11964.8	MEAN CORR. TIME	1.3	UNSCHED. MAINT.	5.6
MTBM	5595.7	MEAN PREV. TIME	45.0	SCHED. MAINT.	45.0
MTTM	24.6	UNSCH. MAN HRS	5.6	UNSCH. UTILITY	1.0
		SCHED. MAN HRS	225.0	SCH. UTILITY	1.0
AVG. DOWN TIME:	124.0	AVG. DELAY TIME:	.0		

AVAILABILITY FACTORS

INHERENT	.9998929	ACHIEVED	.9956312	OPERATIONAL	.9741370

Prikazani rezultati dobijeni su uz sledeća osnovna ograničenja: uređaj se održava na nivou sklopa, izvode se dve preventivne akcije godišnje u trajanju od 150 min, i koeficijent eksploatacije je 0,15. Ostali ulazni podaci se zadaju u modelu ulaznih podataka.

Simulacioni model višenivoiskog sistema održavanja

Za opis i rešavanje složenih dinamičkih problema, kakav je i viešnivoslizi sistema održavanja elektronskih sredstava:

— eksperiment sa realnim sistemom i u realnim uslovima je nemoguć;

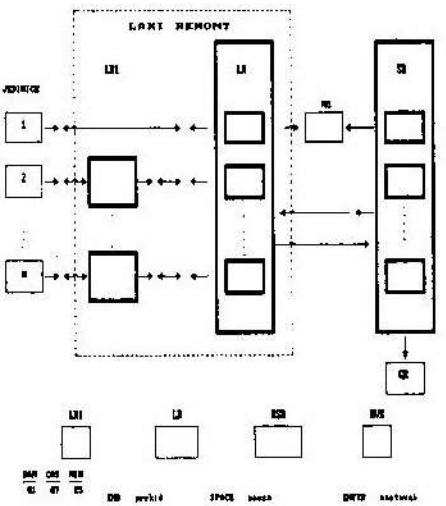
— višenivoiski sistem održavanja je prekompleksan da bi se mogao opisati analitički.

Simulaciono modelovanje posebno je interesantna metoda za modelovanje i analizu savremenih organizacionih sistema, kakav je i sistem održavanja, i to zbog njihove: složene strukture, di-

namike i nestacionarnosti rada, postojanja slučajnih promenljivih i upravljanja radom sistema.

Kod složenih dinamičkih sistema, kakav je i višenivoiski sistem održavanja, nije moguće, bez preteranog pojednostavljenja, naći zadovoljavajuće analitičko postavljanje ni rešavanje problema. Dakle, nije moguće dobiti rešenje u kojem su zavisne promenljive funkcije nezavisnih promenljivih. Zbog ovih razloga u ovom radu je izabrana metoda simulacionog modelovanja.

Zbog slučajnog karaktera promenljivih u modelu dobiva se više različitih vrednosti zavisnih promenljivih za istu vrednost nezavisnih promenljivih (uzimanjem uzorka eksperimenta). To znači da i pripremanje i analiza simulacionog eksperimenta zahteva statistički pristup. S obzirom na složenost modela i potrebu izvođenja većeg broja eksperimenata, instrument za izgradnju simulacionog modela i eksperimentisanje s njim je računar.



Sl. 1 — Prikaz modifikovane sheme sistema održavanja

Na osnovu modifikovane sheme procesa održavanja stvoren je simulacioni model sistema održavanja. Njegov shematski prikaz dat je na slici 1. Na prikazanoj modifikovanoj shemi koriste se sledeće skraćenice: LR1 — laki remont na nivou bataljona — diviziona, LR — laki remont na nivou brigade, SR — srednji remont, GR — generalni remont, NG — nepovratni gubici, KSR — komplet rezervnih delova za srednji remont, RVK — rezerve rezervnih delova Vrhovne komande.

Detaljno objašnjenje svih procesa u simulacionom modelu dato je u [4], uz napomenu da se generalni remont neće razmatrati, jer se pretpostavlja da se TMS upućena na GR ne mogu vratiti u jedinicu za vreme trajanja borbenih dejstava, te se zato za njih samo konstatuje da su za GR, a računaju se kao nepovratni gubici.

Neispravnosti na elektronskim uređajima nastaju iz dva razloga:

— usled slučajnih otkaza, i

— usled borbenih dejstava neprijatelja (oštećenja).

Otkazi nastupaju slučajno, po nekoj raspodeli, a oštećenja po nekoj drugoj raspodeli koja uzima u obzir vid b/d (napad ili odbrana), angažovanje jedinice i vreme kad su b'd najintenzivnija.

Model održavanja (prikazan na slici 1) zadaje se preko ulaznih podataka, odnosno, preko raspodela verovatnoća sledećih vremena: čekanja na transport, transporta, čekanja na održavanje, održavanja, čekanja na transport na viši nivo održavanja ili povratak u jedinicu, itd.

Osnovne komponente simulacionog modelovanja su: sistem, model, program za računar i računar. Operacije koje se realizuju u toku postupka simulacionog modelovanja su: analiza i modelovanje, programiranje i simulacija. Sistem održavanja elektronskih sredstava je po svojoj prirodi diskretan sistem, jer se njegova stanja menjaju u konačnom broju vremenskih tačaka. Zbog toga je izabrana simulacija diskretnih događaja kao najbolji simula-

cioni model čiji su osnovni pojmovi i model (sistem održavanja), komponente (uređaji), stanje sistema, aktivnosti (akcije održavanja), događaj (nastanak otkaza) i resursi (kadar, oprema, objekti).

Za izgrađeni simulacioni model razvijen je simulacioni program. Računarski program je razvijen na personalnom računaru u turbo basicu kao programskom jeziku iz sledećih razloga:

— nastojanje da simulacioni model bude lako pristupačan i ugodan za rad;

— da se ulazni parametri mogu jednostavno zadavati i menjati;

— da se model može veoma lako nadograđivati;

— praćenje nivoa rezervi rezervnih delova ešeloniranih po normativima, i

— da se tok simulacije prati vizuelno, na video ekranu.

Unos i promena ulaznih podataka rešeni su programski i veoma su prilagođeni korisniku čija znanja iz informatike mogu biti oskudna. Ulazni podaci su formirani prema opisu modela i za sve slučajne promenljive veličine u simulacionom modelu održavanja može se koristiti 7 tipova raspodela za koje su razvijeni generatori slučajnih brojeva. Istraživanje tipa raspodele i njenih parametara biće prikazano kasnije.

Određivanje vrednosti ulaznih parametara za simulacioni model održavanja posebno je važno pitanje, kome je u ovom radu poklonjena posebna pažnja. To je učinjeno zbog toga što rezultat simulacije, kao skup vrednosti zavisnih promenljivih, značajno zavisi od vrednosti nezavisne promenljive (koja se zadaje kao ulazni parametar), što znači da će simulacioni model »vernije« oponašati realni sistem ako su vrednosti ulaznih parametara definisane tako da predstavljaju relevantne pokazatelje realnog sistema. Posebno je izražen problem kod određivanja ulaznih parametara za model održavanja u ratnim uslovima.

Analiza i ocena elektronskih i drugih tehničkih sistema, sa stanovišta održavanja i drugih elemenata ITOb-a, posebno u fazi razvoja, moguća je ili praćenjem ponašanja sličnih tehničkih sistema koji su već u eksploataciji ili predviđanjem mogućih stanja u kojima se može naći tehnički sistem koji se razvija. Zbog jednostavnosti bilo bi mnogo lakše razmatrati upotrebu — eksploataciju tehničkih sredstava u miru, ali zbog osnovne namene i nastojanja da sistem održavanja i integralnog tehničkog obezbeđenja bude što sličniji u miru i ratu analiziraće se eksploatacija tehničkih sistema u ratu.

Simulacija i modeli borbenih dejstava (vežbe, manevri, i sl.) ne mogu da izraze svu složenost rata kao kompleksne pojave, a kvalitativne pokazatelje cubitaka i oštećenja tehničkih sistema nije moguće u potpunosti modelovati. Zbog toga će se koristiti statistička simulacija i druge metode operacionih istraživanja za analizu ovog složenog procesa.

Statistička obrada podataka o gubicima, za različite vidove borbenih dejstava, koji su uzeti iz više izvora, izvršena je primenom standardnog statističkog paketa i prikazana je u [4]. Za utvrđivanje raspodela i parametara tih raspodela, vezanih za vremena održavanja, odabran je uzorak od 60 uređaja i skupljeni su podaci za period od 11 godina.

Srednja vrednost vremena održavanja mnogo je veća od one koja je normativno propisana, i od stvarno potrebnog vremena dobijenog snimanjem za realizaciju ovih akcija održavanja. Dva su osnovna razloga zbog čega su takvi podaci u radioničkoj dokumentaciji. Prvi, u radioničkoj dokumentaciji se ne prikazuje posebno aktivno vreme održavanja, već su u prikazanom vremenu za neku akciju održavanja sadržana i sva pripremno završna i ostala vremena. Drugi, prikazivanje radnih

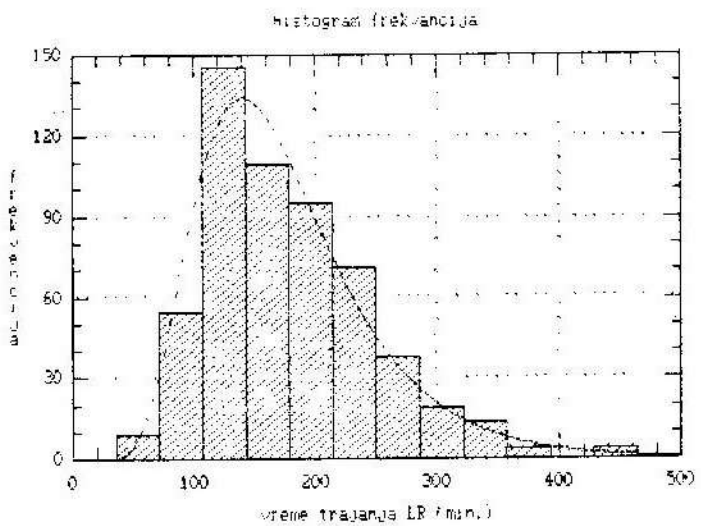
sati vojnika-mehaničara, čija efikasnost je u većini slučajeva niska, povećava vreme izvođenja ovih akcija održavanja prosečno za 30%.

Iz dostupne dokumentacije, za navedeni uzorak, prikupljena su 563 vremena korektivnog održavanja iz domena lakog remonta. Koristeći programski paket (testom hi-kvadrat), za testiranje neparametarskih hipoteza ustanovljeno je da lognormalna raspodela najbolje opisuje prikupljene podatke. Rezultati statističke obrade vremena korektivnog održavanja prikazani su na slici 2. Navedeni podaci za vremena korektivnog održavanja prikupljeni su iz realnog sistema održavanja.

Chisquare Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		71.43	9	10	.1501
	71.43	107.14	54	70	3.6747
	107.14	142.86	145	126	2.9191
	142.86	178.57	109	125	1.9766
	178.57	214.29	95	93	.0551
	214.29	250.00	71	59	2.2380
	250.00	285.71	38	35	.2207
	285.71	321.43	19	20	.0483
	321.43	357.14	14	11	.7592
	357.14	392.86	4	6	.7273
above	392.86		5	8	.8779

Chisquare = 13.6469 with 8 d.f. Sig. level = 0.0914468



Sl. 2 — Histogram i test hi-kvadrat vremena korektivnog održavanja

Tabela 2

Prikaz rezultata simulacionog modela održavanja

```
Start generatora RND: -1
Vremenska jedinica simulacije: 5 min.
Vreme simulacije b/d          : 3 : 0 : 0   (dan : čas : minut)
Ukupno vreme simulacije       : 3 :18 : 5   (dan : čas : minut)

   Broj TMS nakon simulacije:  - u jedinicama    : 56
                               - nep.gub. na LR  :  5
                               - nep.gub. na SR  :  0
                               - za GR           :  3

   Broj simuliranih kvarova:   - otkaza          : 10
                               - oštećenja       : 16
                               - ukupno          : 26

   Broj simuliranih održavanja na:  - LR1        :  6
                                    - LR         : 19
                                    - SR         :  6

   Izdato r/d iz:              - KLR za:  - LR1  :  1
                                          - LR   :  7
                               - KSR za:  - LR   :  6
                                          - SR   :  4
                                          - KLR  :  2
                               - RVK za   - KSR  :  0

        Srednje vreme u radu          :       71 : 17    (čas : minut)
        Srednje vreme u otkazu        :        7 : 24    (čas : minut)
        Srednje vreme održavanja na : - LR1: 0 : 46    (čas : minut)
                                      - LR : 0 : 57    (čas : minut)
                                      - SR : 0 : 57    (čas : minut)

        Iskorištenje mehaničara na  : - LR1:  22.03 %
                                      - LR :  34.09 %

            ======================
            Raspoloživost: 90.58%
            ======================
```

Vremena između otkaza (MTBF) prikupljena su za navedeni uzorak od 60 uređaja i prikazana su u [4], a na osnovu statističke obrade sakupljenih vremena može se zaključiti da se vremena između otkaza pokoravaju lognormalnoj raspodeli. U literaturi i dostupnim istraživanjima navodi se da se ova vremena pokoravaju (najbolje opisuju) eksponencijalnom raspodelom. Odgovor na pitanje zašto je za MTBF dobijena lognormalna raspodela sadržan je činjenici da je koeficijent eksploatacije dela sredstava za koja su prikupljani podaci veoma nizak (Ke $<$ 0,005), tako da uzorak sredstava u eksploataciij, realno gledano, nije homogen skup, iako po formalnom statusu jeste.

Vremena između održavanja prikupljena su za isti uzorak i prikazana su, takođe, u [4]. Statističkom obradom sakupljenih vremena utvrđen je tip raspodele. Niska vrednost srednjeg vremena između održavanja uslovljeni su, prvenstveno, veoma malim koeficijentom eksploatacije dela sredstava. Radi dalje analize uzeti su samo podaci za uređaje čiji je koeficijent eksploatacije

veći od 0,01 (Ke > 0,01) i dobijeni su rezultati koji su korišteni u daljem radu.

Na osnovu statističke obrade vremena održavanja, koja su uzeta za koeficijent eksploatacije veći od 0.1, očito je da su srednja vremena između otkaza i između održavanja znatno veća od prosečnih vremena i da eksponencijalna raspodela najbolje opisuje ta vremena. Ta činjenica ima veliki značaj za dalji praktičan rad u okviru simulacionog modela održavanja.

Ovaj simulacioni model daje veliki broj statističkih podataka koji omogućavaju:

— analizu sistema održavanja, i

— ocenu konstrukcije, odnosno, uređaja sa stanovišta njegove prilagođenosti definisanom sistemu održavanja.

Svi procesi u simulacionom modelu odvijaju se potpuno paralelno, tj. u jednom trenutku se moraju analizirati sva stanja simulacionog modela. Model stoga izgleda dosta komplikovano, ali se lako može shvatiti ako se ovi procesi razbiju tako da svaki proces predstavlja podsistem sistema održavanja i da podsistemi budu serijski povezani u zatvorenu petlju, tako da jedan podsistem komunicira samo sa susednima i to tako da izlaz prethodnog bude ulaz trenutno posmatranog, a njegov izlaz bude ulaz sledećeg podsistema. Model će se najlakše razumeti ako se uporedo sa tekstom prati i šema simulacionog modela sistema održavanja.

U tabeli 2 dati su samo neki rezultati simulacije. Upoređujući rezultate operativne raspoloživosti, dobijene pomoću PREDICTORA (tabela 1), i ove dobijene na osnovu simulacionog modela, uočava se razlika koja je nastala prvenstveno zbog različitog načina određivanja ulaznih podataka. Na osnovu statističkih podataka iz realnog sistema [4], može se zaključiti da je simulacioni model pogodniji za ocenu konstrukcije sa stanovišta održavanja.

Zaključak

Operativna raspoloživost kao značajan pokazatelj za ocenu date konstrukcije ili uređaja sa stanovišta održavanja u radu proračunava se pomoću programskog paketa PREDICTOR i na osnovu razvijenog simulacionog modela. Vrednost operativne raspoloživosti proračunate pomoću simulacionog modela iznosi 0.908 i dosta je niža od vrednosti dobijene pomoću PREDICTORA (0.954). Ova razlika u vrednostima proračunate operativne raspoloživosti javlja se zbog toga što su vrednosti parametara koje se zadaju u modelu ulaznih podataka za PREDICTOR prognozirane, dok se kod simulacionog modela ulazni podaci zadaju preko raspodela verovatnoća za svaku promenljivu a na osnovu podataka iz realnog sistema.

Zbog toga, i u radu iznetih razloga, može se konstatovati da je simulacioni model sistema održavanja pogodniji za ocenu konstrukcije sa stanovišta održavanja. Ova konstatacija posebno dobija na značaju ako se uzmu u obzir veoma visoki troškovi nabavke PREDICTORA.

Razrađeni model višenivoiskog sistema održavanja omogućava da se u fazi razvoja dobiju podaci o tome kako će se uređaj koji se razvija »ponašati« u realnom sistemu eksploatacije i održavanja.

Tipovi raspodela i njihovi parametri određivani su: simulacijom otkaza i snimanjem vremena održavanja i prikupljanjem podataka iz realnog sistema. Prikupljeni podaci iz realnog sistema kojima se izražavaju vremena održavanja i druga logistička vremena jesu i do tri puta veća od vremena dobijenih simulacijom otkaza i snimanjem, zbog toga jer su ova prva vremena opterećena raznim organizacionim gubicima koji se na takav način pokrivaju.

Troškovi razvoja, održavanja i ostali troškovi nisu razmatrani u ovom

radu, prvenstveno zbog njihove obimnosti. Najbolja optimizacija konstrukcije sa stanovišta najvećeg broja logističkih parametara, pa i troškova, može se izvršiti pomoću modela ekonomske efektivnosti [4].

Literatura:

[1] Automotive electronics reliability handbook, Society of Engineers, Inc. 400 commonwealth Drive warrendale, PA 15096, 1987.

[2] Benjamin O. C.: Computer applications in maintenance management, Maintenance Management International, No. 7, 1989, 179—188.

[3] Blanchard S. B.: Logistics engineering and management, third edition, Printice — Hall, 1986.

[4] Ćirović M.: Modeliranje elektronskih sistema u toku razvoja sa stanovišta integralnog tehničkog obezbeđenja, Doktorska disertacija, CVTS, Zagreb, 1989.

[5] Mladenović N.: Simulacioni model sistema održavanja, diplomski rad, VVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1988.

[6] PREDICTOR Users Manual Supplement, Management Sciences Inc., Alburquerque, 1983.

[7] Todorović J., Sistemski prilaz razvoju vozila, VTG, br. 3, 1988, strana 261—272.

Dr Dušan Rajić,
kapetan I klase, dipl. inž.

Primena parametarskih testova analize varijanse u obradi rezultata delovanja hemijskog oružja

Pomoću parametarskih metoda analize varijanse (ANOVE) izvršena je obrada rezultata merenja delovanja hemijskog oružja na populaciju. Prezentovana je mogućnost ANOVE kao statističke metode u analiziranju kvantitativno-kvalitativnih faktora koji utiču na određene fizičko-hemijske pojave. Prezentacija navedene statističke metode, preko konkretnih primera, uz pomoć računara, omogućuje reproducibilnost postupka i pri izučavanju drugih pojava, iz drugih oblasti vojnotehničkih nauka.

Uvod

Pri merenju bilo koje veličine javljaju se veća ili manja odstupanja od njene prave vrednosti, pa se pri određivanju brojnih vrednosti veličina uzimaju u obzir one vrednosti za koje se veruje da su manje ili više bliske pravim vrednostima [1]. Za kritički odnos prema eksperimentalnim podacima, koji uvek sadrže pogrešku, i za jasno razlikovanje koji su zaključci, izvedeni iz njih pouzdani, a koji su neosnovani, treba znati oceniti rezultate merenja. Bez takve ocene ne može se kvantitativno odrediti proučavano svojstvo i u njemu se ne mogu ustanoviti objektivno postojeće zakonitosti [2]. Kako se, međutim, kvantitativna strana pojava ne može odvojiti od njihove prirode, od kvaliteta, to se kvantitativna statistička analiza mora u punoj meri oslanjati na kvalitativnu analizu [3].

Skraćivanje vremena obrade i statističkog istraživanja u celini, kao i obezbeđenje tačnosti u radu i aktuelnost dobijenih rezultata, može se postići primenom računara, što je bilo presudno za njegovu upotrebu ovom prilikom. Oni omogućavaju primenu novih i celishodnih metoda deskripcije i analize, veću obuhvatnost posmatranja, veći broj tačnih pokazatelja, tabela i grafičkih prikaza, brža i efikasnija probna istraživanja, racionalnije planiranje statističkih akcija, kao i istraživanje složenih pojava, koje iziskuju obimnu i složenu obradu podataka [3, 4].

Cilj ovog rada sastoji se u tome da se preko konkretnih primera iz oblasti primene hemijskog oružja ilustruje način korišćenja jednog segmenta statističke analize — parametarska metoda analize varijanse (ANOVA). Izračunati primeri biće dovoljno indikativni za jednostavnu upotrebu programa »Statgraphics« i proračuna na personalnim računarima (PC) za bilo koje druge slučajeve, jer danas više nema nijedne grane nauke u kojoj se ne bi mogao uspešno primeniti statistički način istraživanja.

Analiza varijanse sa jednim faktorom varijabiliteta

ANOVA je postupak kojim se testira hipoteza o jednakosti aritmetičkih sredina više skupova. Najširu primenu ANOVA nalazi u oblasti statističkih eksperimenata, gde se koncepti teorije uzoraka i statističkog zaključivanja ne koriste samo za pribavljanje informacija o karakteristikama skupova ili testiranje hipoteza o njima, nego se istražuje i uticaj pretpostavljenih faktora na posmatranu pojavu [5].

Parametarski ili klasični metodi su deo statističke teorije i metodologije, u

kojima postupci zaključivanja zavise od strogih pretpostavki vezanih za prirodu osnovnog skupa iz koga se uzima uzorak. Osnovne pretpostavke koje zahteva ANOVA da bi zaključak bio potpuno ispravan su normalnost i homogenost, tj. osnovni skupovi kojima pripadaju izučeni uzorci moraju imati normalne rasporede sa jednakim varijansama. Zato ANOVA spada u parametarske metode. Prema centralnoj graničnoj teoremi, raspored prostih slučajnih uzoraka izvučenih iz jednog skupa (bez obzira na to kakav je raspored tog skupa) teži normalnom rasporedu kada veličina uzoraka teži beskonačnosti. Iz toga proizlazi da će raspored aritmetičkih sredina prostih slučajnih uzoraka iste veličine n, izvučenih iz skupa veličine N čiji raspored nije normalan, imati približno oblik normalnog rasporeda ako je uzorak dovoljno veliki. U statistici je usvojeno da uzorci, čija je veličina $n \geqslant 30$, ispunjavaju ovaj zahtev, tj. smatraju se dovoljno velikim [3].

Ocena aritmetičke sredine skupa na osnovu malog uzorka ($n < 30$) donosi se polazeći od rasporeda t vrednosti (statistike t) koji, kada je osnovni skup normalno raspoređen, ima oblik i osobine tzv. Studentovog t rasporeda [6]

Kada je broj posmatranja po jednom faktoru isti, reč je o tzv. balansiranom eksperimentalnom planu. Ukoliko taj zahtev nije ispunjen, radi se o nebalansiranom eksperimentalnom planu.

Precizno formulisana verbalna tvrđenja, očekivanja, pretpostavke o karakteristici jednog skupa (ili odnosu vrednosti posmatrane karakteristike u više skupova) nazivaju se statističkim hipotezama, a naučni metod — postupak provere ovih pretpostavki predstavlja testiranje statističkih hipoteza [6].

Klasični postupak testiranja statističke hipoteze odvija se u šest etapa [3]:

a) formulisanje nulte i alternativne hipoteze;

b) izbor statistike testa na kome će se zasnivati odluka o prihvatanju ili odbacivanju hipoteze;

c) izbor nivoa značajnosti testa, α;

d) formulisanje pravila odlučivanja na osnovu koga se opredeljuje prihvatanje ili odbacivanje nulte hipoteze;

e) izbor uzoraka iz osnovnog skupa i izračunavanje vrednosti statistike testa;

f) donošenje odluke o prihvatanju ili odbacivanju nulte hipoteze, zasnovane na odabranom pravilu odlučivanja (etapa d) i izračunatoj vrednosti statistike testa (etapa e).

Formulisanje nulte i alternativne hipoteze

Nulta hipoteza (H_0) predstavlja tvrđenje ili očekivanje koje se tiče vrednosti parametara skupa, a čija se verodostojnost proverava postupkom testiranja.

Svakoj H_0 pridružena je tzv. alternativna hipoteza (H_1). Ona obuhvata sve moguće vrednosti parametara skupa koje nisu obuhvaćene H_0.

Primer 1.

U tab. 1. prikazan je izmišljen primer iz koga se vidi srednje aritmetičko vreme preživljavanja vojnika koji su bili izloženi delovanju tri vrste bojnih otrova (BOt): A_1, A_2 i A_3. Postavlja se pitanje — da li postoji razlika u efektima delovanja BOt-a A_1, A_2 i A_3.

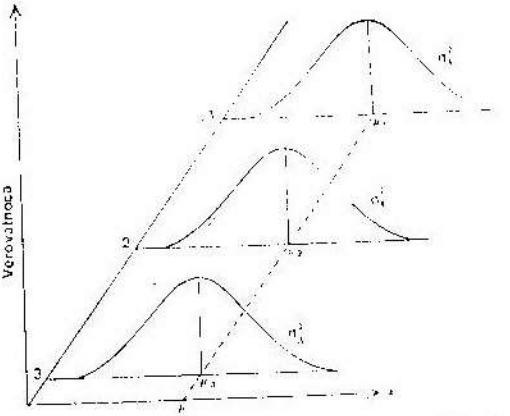
U navedenom primeru H_0 glasi: između posmatranih modaliteta (jačina delovanja tri vrste BOt-a) ne postoji statistički značajna razlika, tj. delovanje sva tri otrova na preživljavanje vojnika je jednako.

Alternativna hipoteza H_1 glasi: bar dva modaliteta faktora A (bar dva BOt-a) među sobom se statistički znatno razlikuju.

Tabela 1

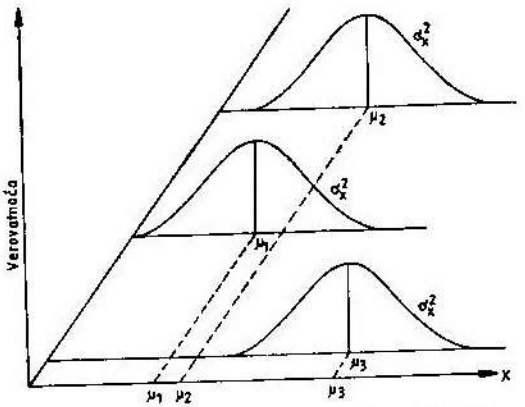
Preživljavanje vojnika nakon izlaganja delovanju tri vrste BOt-a

Red. br. merenja	Prosečno vreme preživljavanja (h) u odnosu na BOt		
	A_1	A_2	A_3
1	0,31	0,36	0,22
2	0,45	0,29	0,21
3	0,46	0,40	0,18
4	0,43	0,23	0,23
5	0,82	0,92	0,30
6	1,10	0,61	0,37
7	0,88	0,49	0,38
8	0,72	1,24	0,29
9	0,43	0,44	0,23
10	0,45	0,35	0,25
11	0,63	0,31	0,24
12	0,76	0,40	0,22
13	0,45	0,56	0,30
14	0,71	1,02	0,36
15	0,66	0,71	0,31
16	0,62	0,38	0,33



Sl. 1 — Ponašanje skupova kada je istinita nulta hipoteza:

a) skupovi su normalno raspoređeni; b) skupovi imaju istu varijansu; c) skupovi imaju iste aritmetičke sredine



Sl. 2 — Ponašanje skupova kada nulta hipoteza nije istinita:

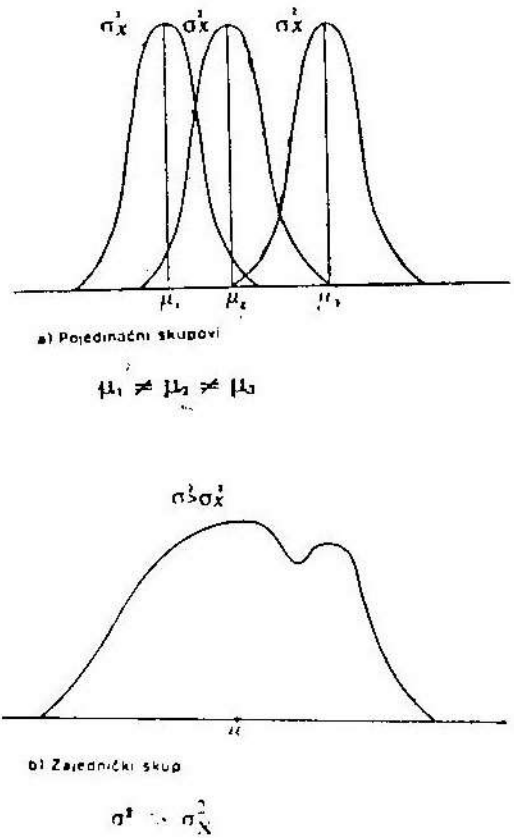
a) skupovi su normalno raspoređeni; b) skupovi imaju istu varijansu; c) skupovi imaju različite aritmetičke sredine

Kada je H_0 istinita, skupovi podataka će se ponašati kao na sl. 1. Svi skupovi će imati normalan raspored, istu varijansu i istu aritmetičku sredinu.

Ukoliko H_0 nije istinita, raspored ovih skupova biće normalni, njihove varijanse jednake, a aritmetičke sredine različite (sl. 2).

Iako su varijanse pojedinačnih skupova i sada identične, njihov zajednički varijabilitet biće veći (sl. 3.), odnosno varijansa njihovog zajedničkog skupa σ^2 biće veća od varijanse pojedinačnih skupova: $\sigma^2 > \sigma_x^2$. Razlika se javlja zbog toga što varijansa pojedinačnih skupova, σ_x^2, sadrži samo slučajan varijabilitet unutar skupova, a varijansa zajedničkog skupa σ^2, još i varijabilitet iz-

među skupova, odnosno razlike njihovih aritmetičkih sredina koje se javljaju pod uticajem posmatranog faktora.



Sl. 3 — Ukupan varijabilitet skupova sa različitim aritmetičkim sredinama: varijansa zajedničkog skupa σ^2 je veća od varijansi skupova σ_x^2

Zadatak ANOVE svodi se, upravo, na testiranje značajnosti razlike ovih varijansi, pa se nulta i alternativna hipoteza mogu formulisati u terminima varijansi: $H_0: \sigma^2 = \sigma_x^2$ i $H_1: \sigma^2 > \sigma_x^2$, gde je σ_x^2 varijansa pojedinačnog skupa, a σ^2 varijansa zajedničkog skupa.

Treba, dakle, na osnovu podataka uzoraka, oceniti ove dve varijanse i testirati značajnost njihove razlike — izvršiti ANOVU. To će biti, zapravo, dve nepristrasne ocene varijanse zajedničkog skupa. Jedna od njih, $\hat{\sigma}^2$, zasnovana na varijabilitetu aritmetičkih sredina uzoraka, a druga, $\hat{\sigma}^2$ na varijabilitetu unutar uzoraka. Značajnost razlike dveju ocena varijanse zajedničkog skupa određuje se na osnovu verovatnoće da se $\hat{\sigma}^2 > \hat{\sigma}_x^2$ javi slučajno, iako je $\hat{\sigma}^2 = \hat{\sigma}_x^2$. Ako rezultat testa na izabranom nivou značajnosti pokaže da je $\hat{\sigma}^2$ znatno veće od σ_x^2 biće to razlog da se ne prihvati H_0. Može se zaključiti da razlike aritmetičkih sredina posmatranih skupova nisu slučajne, odnosno da se efekti bar dva tretmana međusobno razlikuju.

Pri tome, kada tretmani nisu birani na slučaj iz šireg skupa, nego su izabrani po nekom drugom kriterijumu, rezultati ANOVE pripisaće se samo modalitetima tretmana obuhvaćenih eksperimentom. U konkretnom primeru bile bi to samo tri vrste otrova: A_1, A_2, A_3. Da je njihov izbor izvršen po principu slučajnosti iz skupa svih vrsta, zaključci bi se odnosili na sve tri vrste BOt-a. Ovakvi modeli sa fiksnim modalitetom tretmana su jednostavniji.

U primeru 1. ocena varijanse zajedničkog skupa, zasnovana na razlikama aritmetičkih sredina uzoraka i druga njena ocena, zasnovana na slučajnim varijacijama unutar skupova data je u tab. 2.

Za testiranje razlike ocena varijansi skupa, uz pretpostavku da je skup normalno raspoređen, koristi se F — statistika, pri čemu je $F = \hat{\sigma}_1^2 / \hat{\sigma}_2^2$, gde $\hat{\sigma}_1^2$ i $\hat{\sigma}_2^2$ predstavljaju dve nezavisne ocene varijanse skupa. Većina testova zasnovanih na F rasporedu spada u grupu jednosmernih testova, čija se kritična oblast nalazi na desnoj strani gde pripada i ANOVA. Tablice u prilozima statističkih knjiga daju kritične vrednosti F — statistike na desnoj strani raspore-

da za nivoe značajnosti: $\sigma=0,05$ i $\sigma=0,01$. Ukoliko je F tabl. $\geqslant$ F izrač., prihvatiće se H_0, tj. zaključak da su razlike aritmetičkih sredina posmatranih skupova samo slučajne, na izabranom nivou značajnosti.

Ocena varijanse skupa na osnovu varijansi aritmetičkih sredina uzoraka $\hat{\sigma}^2$, naziva se u praksi faktorskom varijansom (V_F), jer se varijabilitet koji ona izražava javlja pod uticajem posmatranog faktora.

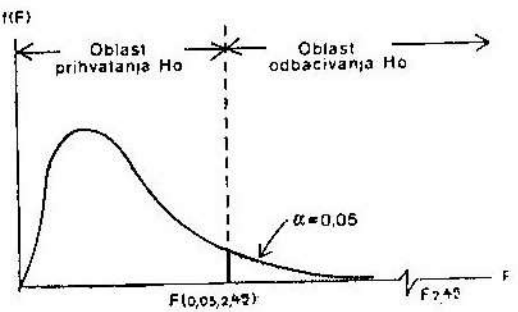
Tabela 2

Analiza varijanse sa jednim faktorom varijabiliteta na osnovu podataka iz tab. 1.

Izvori varijacije	Suma kvadrata odstupanja	Stepeni slobode	Varijansa	F-odnos	Nivo značajnosti
Izmedju grupa	1,0330125	2	0,5165063	11,786	0,0001
Pogreška	1,9720688	45	0,0438238		
Ukupno	3,0050813	47			

Ukoliko je H_0 istinita, $\hat{\sigma}^2$ težiće da se izjednači sa σ_x^2, a ukoliko je istinita H_1, $\hat{\sigma}^2$ biće znatno veća od $\hat{\sigma}^2_x$. U našem slučaju $\hat{\sigma}^2=0,5165063\geqslant 0,0438238$. Razlika je velika da bi bila slučajna, ali njena značajnost će ipak biti proverena.

U navedenom primeru, realizovana vrednost F statistike je prema tab. 2.=11,786. Iz tablica kritična vrednost F na nivou značajnosti od 0,05 za broj stepeni slobode 2 i 45 iznosi 3,20. Pošto je realizovana vrednost F statistike veća od njene kritične vrednosti: $F_{2,45}=11,786>F_{(0,05;2,45)}=3,20$, kao što prikazuje i sl. 4, odbacuje se H_0 na nivou značajnosti od 0,05 i zaključuje da se bar



Sl. 4 — Kritična oblast za $F_{2,47}\geqslant 1$, na nivou značajnosti $\alpha=0,05$

jedna od testiranih aritmetičkih sredina (efekat bar jednog od tri posmatrana otrova) sistematski, odnosno značajno razlikuje od ostalih.

Druga ocena varijanse skupa, $\hat{\sigma}_x^2$, naziva se rezidualnom varijansom (V_R). Ona izražava slučajan varijabilitet zavisne promenljive X, ali ona kod potpuno slučajnog plana ANOVE sa jednim faktorom varijabiliteta može obuhvatiti i sistematski (statistički značajan) varijabilitet, čiji izvori nisu identifkovani:

— nehomogenost eksperimentalnih jedinica za koje se pretpostavlja da su homogene (npr. različite telesne mase vojnika, različita prirodna otpornost i izdržljivost organizma pojedinaca, itd.);

— faktori koji nisu obuhvaćeni modelom (npr. uticaj vlage, toplote, i sl.) interakcija faktora.

Ove izvore varijabiliteta zato treba imati u vidu pri planiranju eksperimenata, a naročito kada primenjeni ek-

speriment pokaže da je $V_R > V_F$, što u našem primeru nije slučaj. Povećanje V_R uključenjem sistemskog neidentifikovanog varijabiliteta, čak i kad ona nije veća od V_F, može pogrešno navesti na prihvatanje H_0 kada ona nije istinita. Radi izolacije uticaja neslučajnog varijabiliteta na V_R menja se plan eksperimenta, uvode novi faktori u analizu, povećava broj posmatranja ili vrše druge modifikacije.

U poslednjoj koloni tab. 2. data je i vrednost verovatnoće p za F, na osnovu koje bi se doneo isti zaključak da H_0 ne može da se prihvati, jer je p — vrednost = 0,0001, a to je manje od 0,05 na nivou značajnosti od 0,05. Kada test ANOVE, na datom nivou značajnosti, ne podrži nultu hipotezu, odnosno kada se usvoji alternativa da se bar dve aritmetičke sredine (bar dva efekta modaliteta faktora) sistematski razlikuju, postavlja se pitanje koje se aritmetičke sredine sistematski razlikuju i koliko. Odgovor na ovo pitanje daje više metoda.

Kod primene ANOVE jedna od osnovnih pretpostavki je da su varijanse pogreške svakog tretmana homogene. Manje odstupanje od ove pretpostavke ne bi bitnije uticalo na zaključke koji se izvode primenom F — testa, gde se uzima zajednička varijansa pogreške. Kod većih razlika između varijansi, pristrasnost F — testa se povećava, te je opravdano proveriti da li je uslov homogenosti varijansi ispunjen. Za tu svrhu može da se primeni više testova (Cochranov C test, Bartlettov i Hartleyov test). Program »Statgraphics« pruža mogućnost proračuna homogenosti varijansi. Izborom opcije »Variance Check« i obradom podataka iz tab. 1. dobijaju se sledeće vrednosti testova homogenosti varijansi:

— Cochran C test: 0,636891
P=5,01344 E-3;

— Bartlett test: 1,80789;
P=2,39952 E-6;

— Hartley test: 21,5899.

Prema sva tri testa naši podaci su homogeni i taj faktor je isključen kao razlog sistematskog varijabiliteta rezidualne varijanse V_R.

Pored toga, u programu »Statgraphics« postoji mogućnost izbora opcije testiranja nivoa rangova tzv. »Multiple range test«. Interpretacija podataka iz tab. 1, uz upotrebu spomenute opcije, daje podatke navedene u tab. 3.

Tabela 3

Višestruka analiza ranga na osnovu podataka iz tab. 1

Rang	Broj merenja	Srednja aritmetička vrednost	Homogenost skupa
1	12	0,3141667	*
3	12	0,3925000	**
4	12	0,5341667	**
2	12	0,6766667	*

U vezi sa formulacijom modela ANOVE treba reći da komponenta A_i pokazuje u kojoj meri modalitet A_i (vrsta otrova) doprinosi da se aritmetička sredina skupa, na koji je on primenjen, statistički značajno rzlikuje od zajedničke aritmetičke sredine svih posmatranih skupova. Otuda, ako je istinita H_0, modalitet faktora A ne prouzrokuju statistički značajne razlike između posmatranih skupova. Njihov efekat shvaćen u tom smislu jednak je nuli.

Alternativna hipoteza H_1 je različita od nule, što znači da se bar dva modaliteta faktora A među sobom statistički značajno razlikuju.

U praktičnom izvođenju eksperimenta narušenost pretpostavke o aditivnosti komponenta nema odlučujući uticaj na valjanost zaključaka, a takođe ni odstupanje od normalnosti, naročito ako su uzorci iste veličine. Ukoliko postoji značajna razlika uticaja pojedinačnih modaliteta faktora, a odstupanja od ovih pretpostavki nisu suviše

velika, test će je otkriti. ANOVA nije osetljiva ni na narušenost pretpostavke o jednakosti varijansi slučajnih grešaka. Najveći efekat u smislu donošenja pogrešnog zaključka javlja se ako nije ispunjena pretpostavka o nezavisnosti slučajnih grešaka, bez obzira na to da li su uzroci iste ili različite veličine.

Izborom opcije »Means table« dobija se tab. 4. iz koje se detaljno vide numerički iznosi odstupanja za primer 1, a isto to može se grafički prikazati izborom apcije »Means plot«.

Iz tab. 4. vidi se da se prosečno vreme preživljavanja znatno razlikuje, pa se od ANOVE očekuje da omogući zaključak o značajnosti tih razlika.

modaliteti samo jednog faktora, primenjuju se moreli ANOVE sa 2 i više faktora.

Analiza varijanse sa dva faktora varijabiliteta

Uvođenjem dva faktora u eksperimentalno istraživanje, zasnovano na statistički homogenim eksperimentalnim jedinicama, prelazi se na potpuno slučajan plan ANOVE sa dva ili više faktora varijabiliteta.

Primer 2.

Podacima navedenim u primeru 1 treba dodati sledeće: ispitivanje preživljavanja usled delovanja tri vrste BOt-a prošireno je ispitivanjem uticaja četiri vrste tretmana (B_1—B_2). Dobijeni eksperimentalni podaci prikazani su u tab. 1, s tim da se prva četiri redna broja merenja i prezentovani podaci odnose za sva tri BOt-a na tretman B_1, od 5.—8. na B_2, od 9.—12. na B_3, i od 13.—16. rednog broja merenja podaci se odnose na preživljavanje vojnika kod tretmana B_4.

Tabela 4

Srednje vrednosti parametara ANOVE na osnovu podataka iz tabele 1

BOt	Broj merenja	Aritmetička sredina skupa	Standardna greška (unutrašnja)	Standardna greška (rezervna)	95 % interval pouzdanosti	
A1	16	0,617500	0,0523353	0,0523353	0,5120671	0,7229329
A2	16	0,5443750	0,0723416	0,0523353	0,4389421	0,6498079
A3	16	0,2762500	0,0155691	0,0523353	0,1708171	0,3816829
Ukupno	48	0,4793750	0,0302158	0,0302158	0,4185033	0,5402467

Izborom opcije »Residual plots« mogu se dobiti dijagrami rasturenosti reziduala koji pružaju korisne informacije, jer prikazuju grafičko odstupanje linije regresije od empirijskih podataka. Taj program, zapravo, pruža izvesna saznanja o ispunjenosti pretpostavki modela. Tačke na dijagramu se raspoređuju oko horizontalne linije koja označava njihovo odstupanje.

Aritmetičke sredine uzoraka A_3 se značajno razlikuju od otrova A_1 i A_2, što se očito vidi iz tab. 3. i 4. Prema tome, najveći efekat toksičnosti pokazuje agens A_3, zatim A_2 i na kraju A_1.

Kada postoje indicije da na varijabilitet zavisne promenljive ne utiču

Pretpostavimo da na osnovu podataka iz tab. 1. treba ispitati značajnost razlika uticaja vrste otrova, A_i kao jednog i uslova tretmana, B_i kao drugog faktora varijabiliteta preživljavanja.

Izborom opcije »Multifacto Arnalysis of Variance« dobijaju se podaci navedeni u tab. 5.

Pod interakcijom faktora podazumeva se združeni (povezani) uticaj posmatranih faktora, što znači da se uti-

Tabela 5

Analiza varijanse sa dva faktora varijabiliteta

Izvori varijacije	Zbir kvadrata	Stepeni slobode	Ocena varijanse	F - odnos	Nivo značajnosti
SREDNJI EFEKTI	1,9542188	5	0,3908438	17,572	0,0000
otrov	1,0330125	2	0,5165063	23,222	0,0000
tretman	0,9212063	3	0,3070688	13,806	0,0000
2-FAKTORSKA INTERAKCIJA	0,2501375	6	0,416896	1,874	0,1123
otrov - tretman	0,2501375	6	0,416896	1,874	0,1123
REZIDUAL	0,8007250	36	0,222424		
UKUPNO	3,0050813	47			

Predmet testiranja u našem primeru (podaci iz tab. 1) bile bi sledeće hipoteze:

1. H_0:$A_1=A_2=A_3=0$
   H_1 : različito ($A_1=A_2=A_3=0$)
2. H_0:$B_1=B_2=B_3=B_4=0$
   H_1 različito ($B_1=B_2=B_3=B_4=0$)

Rezultati ANOVE na nivou značajnosti $\alpha=0,05$ pokazuju da su za srednje efekte (Main efects), koji uključuju otrov i tretman, vrednosti verovatnoće $0,0000>0,05$, što znači da se H_0 odbacuje. To isto može da se ustanovi poređenjem F — vrednosti iz tab. 5. i iz priručnika F teor. Prema tome, razlike efekata modaliteta faktora A (vrste otrova), kao i razlike efekata modaliteta faktora B (vrste tretmana) nisu se pokazale slučajnim, pa se nulte hipoteze H_{OA} i H_{OB} neće prihvatiti.

Pošto je utvrđeno da su razlike efekata modaliteta oba faktora statistički značajne, postavlja se pitanje njihovog relativnog uticaja na varijabilitet zavisne promenjive.

caj jednog faktora menja u zavisnosti od nivoa (modaliteta) drugog faktora. Primenom modela sa jednim posmatranjem za svaku kombinaciju faktora, interakcija se uključuje u rezidualnu varijansu, povećava je i dovodi do nejasnih ili pogrešnih esperimentalnih rezultata. Njeno izdvajanje iz rezidualne varijanse postiže se povećanjem broja posmatranja ishoda svake kombinacije faktora. Interakcija se ni tako ne može uvek uspešno objasniti, ali je važna njena identifikacija, jer omogućuje jasniju predstavu o uticaju posmatranih faktora. Ako je interakcija statistički značajna, a u našem primeru ona to očito jeste, ukazuje na združeni uticaj oba faktora na zavisnu promenljivu (preživljavanje). Ukoliko ta interakcija nije značajna, istraživanje primarnih efekata posmatranih faktora zasniva se na realnoj oceni rezidualne varijanse (bez uplitanja interakcije), nego primenom modela ANOVE sa dva faktora i jednim posmatranjem za svaku kombinaciju faktora.

Uvođenjem interakcije kao nove komponente, testiraju se sledeće hipoteze:

1. H_0:$A_1=A_2=A_3=0$
   H_1:različito $(A_1=A_2=A_3=0)$
2. H_0:$B_1=B_2=B_3=B_4=0$
   H_1:različito $(B_1=B_2=B_3=B_4=0)$
3. H_0:$(AB)_{ij}=0$
   $H_1=(AB)_{ij}$ različito od 0

U našem primeru predmet interesovanja je sledeći:

a) Da li su razlike efekata modaliteta faktora A (uticaj otrova) statistički značajne, odnosno da li se varijacije zavisno promenljive, tj. preživljavanje u zavisnosti od vrste otrova znatno razlikuje.

b) Da li su razlike efekata modaliteta faktora B (uticaj tretmana) statistički značajne, odnosno da li se varijacije zavisno promenljive — preživljavanje kod trovanja pri raznim tretmanima, znatno razlikuju.

c) Da li je interakcija A i B statistički značajna, odnosno da li jedna vrsta otrova uz jedan tretman deluje smrtonosnije od drugih kombinacija.

Iz tab. 5. izvlače se sledeći zaključci na nivou značajnosti $\alpha=0,05$:

a) Razlike efekata modaliteta faktora A pokazale su se statistički značajnim, pošto je $F_{rzi}>F_{tabl.}$, a isto tako i verovatnoće.

b) Isti zaključak važi kada je u pitanju uticaj faktora B.

c) Interakcija ovih faktora međutim, nije se pokazala statistički značajnom, jer je odgovarajuća realizovana vrednost F statistike manja od njene tablične vrednosti.

Odsustvo interakcije posmatranih faktora upućuje na objašnjenje varijacija zavisno promenljive — preživljavanje usled delovanja raznih otrova u različitim uslovima, kao rezultat aditivnog dejstva posmatranih modaliteta faktora. A (otrova) i faktora B (tretmana). Ima dakle smisla da se u nastavku ispita koji od ova dva faktora više doprinosi objašnjenju varijabiliteta zavisne promenljive, a zatim koji se od posmatranih modaliteta razlikuju značajno, a koji pokazuju samo slučajne razlike.

ANOVA sa dva faktora varijabiliteta bolje koristi informacije uzoraka, nego ANOVA sa jednim faktorom varijabiliteta, ne samo zbog toga što može otkriti uticaj drugog faktora, nego što se njegovim uvođenjem smanjuje rezidualna varijansa i kad njegov uticaj nije značajan. Smanjem rezidualne varijanse dobija se jasnija slika o istinitosti testiranih hipoteza.

Značajnost interakcije kao i efekata modaliteta posmatranih faktora može se ispitati i uvođenjem novog faktora varijabiliteta — primenom ANOVE sa tri faktora varijalibiteta. Prema tome, treba imati u vidu da će u takvom modelu broj stepeni slobode rezidualne varijanse biti veći, pa se može desiti da uvođenje novog faktora, ako njegov doprinos objašnjenju varijabiliteta nije veliki, ne dovode do smanjenja rezidualne varijanse. ANOVA sa tri faktora varijabiliteta predstavlja prošireni postupak ANOVE dva faktora sa više posmatranja za svaku kombinaciju faktora, što neće biti predmet našeg posmatranja.

Iz tab. 6. uočava se precizan uticaj, kako vrste otrova, tako i tretmana na preživljavanje.

Izloženi i drugi modeli ANOVE omogućuju ocenu snačajnosti razlike aritmetičkih sredina, a ne njihovog nivoa, odnosno ocenu značajnosti uticaja modaliteta testiranih faktora na razlikovanje aritmetičkih sredina posma-

Tabela 6

Srednje vrednosti preživljavanja

Oznaka nivoa	Broj merenja	Srednja aritmetička vrednost	Stand. greška (unutrašnja)	Standardna greška (rezervna)	95 % interval pouzdanosti	
otrov						
1	16	0,6175000	0,0523569	0,0372847	0,5418656	0,6931344
2	16	0,5443750	0,0723416	0,0372847	0,4687406	0,6200094
3	16	0,2762500	0,0155691	0,0372847	0,2006156	0,3518844
tretman						
1	12	0,3141667	0,0295281	0,0430526	0,2268316	0,4015017
2	12	0,6766667	0,0926163	0,0430526	0,5893316	0,7640017
3	12	0,3925000	0,0482124	0,0430526	0,3051649	0,4798351
4	12	0,5341667	0,0633468	0,0430526	0,4468316	0,6215017
otrov i tretman						
1 1	4	0,4125000	0,0347311	0,0745694	0,2612312	0,5637688
1 2	4	0,8800000	0,0804156	0,0745694	0,7287312	1,0312688
1 3	4	0,5675000	0,0783555	0,0745694	0,4162312	0,7187688
1 4	4	0,6100000	0,0564210	0,0745694	0,4587312	0,7612688
ukupno	48	0,4793750	0,0215263	0,0215263	0,4357075	0,5230425

tranih skupova. Usvajanje hipoteze o izjednačavanju efekata modaliteta faktora sa nulom znači prihvatanje zaključaka da ti modaliteti ne doprinose menjanju razlike aritmetičke sredine. Odluka o prihvatanju alternativne hipoteze upućuje na zaključak da posmatrani modaliteti statistički značajno menjaju odnos bar dve aritmetičke sredine, što implicira i njihov uticaj na varijabilitet zavisno promenljive.

ANOVA nalazi veoma široku primenu u oblasti istraživanja međusobnih veza atributnih obeležja, na koja se ne mogu primeniti statistički metodi prilagođeni numeričkim obeležjima.

Kada pretpostavke ANOVE nisu ispunjene ili se ne mogu proveriti, primenjuju se odgovarajući neparametarski testovi.

Izborom opcije »Multiple Range test« za otrov dobijaju se podaci navedeni u tab. 7, a za tretman u tab. 8.

Tabela 7

Višestruki test ranga u odnosu na delovanje BOt-a

Rang	95% interval pouzdanosti Broj	Prosek	Homogenost
3	16	0.2762500	*
2	16	0.5443750	*
	16	0.6175000	*

Tabela 8

Višestruki test ranga u odnosu na uticaj tretmana

Rang	Broj merenja	Aritmetička sredina skupa	Homogenost skupa
3	16	0,27262500	*
2	16	0,5443750	*
1	16	0,6175000	*

Analiza »Nested design« prikazana je u tab. 9.

Tabela 9

Grupni prikaz parametara ANOVE

Izvor varijacije	Zbir kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode	Ocena varijanse	Odstupanje komponenti	%
ukupno	3,0050813	47			
otrov	1,0330125	2	0,5165063	0,024	32,91
tretman	1,1713438	9	0,1301493	0,027	36,77
GREŠKA	0,8007250	36	0,0222424	0,022	30,32

Zaključak

Na primeru iz oblasti delovanja hemijskog oružja u radu je prezentovana obrada dobijenih rezultata primenom analize varijanse sa jednim i dva faktora varijabiliteta. U tu svrhu korišćen je programski paket »Statgraphics«, namenjen za primenu na PC. Na konkretnim primerima iz oblasti upotrebe hemijskog oružja prikazane su i mogućnosti i ograničenja parametarske metode analize varijanse, kao i uslovi za njeno korišćenje.

Literatura:

[1] M. Nenadović: »Matematička obrada podataka dobijenih merenjem«, Beograd, SANU, 1988.

[2] G. P. Spiridonov, A. A. Lopatkin: »Matematička obrada fizikolnokemijskih podataka«, Zagreb, Školska knjiga, 1974.

[3] R. Njegić, M. Žižić, M. Lovrić, D. Pavličić: »Osnovi statističke analize«, Beograd, Savremena administracija, 1991.

[4] K. Džonson: »Čislennie metodi v hemiji«, prevod sa engleskog, Moskva, Mir, 1963.

[5] M. Arambašić, S. Kondić, Lj. Pitić, M. Stojanović: »Review of some mathematical — statistical methods suitable for processing toxicological – pharmacological experimental results«, Acta Pharm. Jugosl. 41, 177—190, 1991.

[6] S. Hadživuković: »Planiranje eksperimenta«, Beograd, Privredni pregled, 1977.

Radmila Obrovački,
dipl. inž.

Analiza podataka o zastojima računarskog sistema u eksploataciji i pokazatelji raspoloživosti

Na osnovu izvornih podataka, sakupljenih u toku eksploatacije računarskog sistema, dobijaju se podaci o komponentama vremena zastoja zbog preventivnog održavanja i zbog otkaza: vremenu aktivne popravke, logističkom i administrativnom vremenu, kao i o verovatnoćama nastanka pomenutih zastoja. Sa dobijenim podacima mogu se naći empirijske funkcije trajanja zastoja, intenziteta popravke i popravljivosti za sve komponente vremena zastoja zbog otkaza i izračunati odstupanja dobijene empirijske raspodele vremena od eksponencijalne. Pokazano je kako se sa dobijenim podacima izračunavaju pokazatelji održavanja i raspoloživosti sistema i sastavnih delova.
Prikazani su karakteristični rezultati analize vremena trajanja zastoja računarskog sistema Cyber 170/720, praćenog u toku neprekidne eksploatacije koja je trajala od 4—5 godina.

Uvod

U dostupnoj lteraturi mogu se naći razmatranja o vremenu aktivne popravke sistema u eksploataciji. Postupci za analizu tog vremena dati su u [1]. Analiza trenda vremena aktivne popravke radi ispitivanja da li se intenzitet popravke menja u toku eksploatacije uređaja prikazana je u [2].

Kod sistema namenjenih dugoj eksploataciji, osim vremena popravke dolaze do izražaja i druge dve komponente vremena zastoja — logističko i administrativno vreme [3]. U ovom radu analizira se vreme zastoja zbog kvara složenog računarskog sistema u eksploataciji, nalaze komponente tog vremena i izračunavaju njihove empirijske funkcije raspodele verovatnoće. Na osnovu rezultata analize vremena zastoja nalaze se i karakteristični pokazatelji održavanja.

Podaci dobijeni sakupljanjem u toku eksploatacije sistema

Razmatra se višekorisnički složeni računarski sistem namenjen za dugogodišnju eksploataciju, koji radi neprekidno. Sistem se posmatra kao redna veza onih sastavnih delova-podsistema koji učestvuju u obavljanju njegove funkcije. Podsistemi mogu biti samostalni uređaji ili redne veze fizičkih ili ekvivalentnih uređaja. Ekvivalentni uređaj po funkciji zamenjuje stvarnu vezu sastavnih delova jednog podsistema koja može biti redna, paralelna, sa rezervom, sa više stanja raspoloživosti. Sistem, kao i podsistemi, može da obavi zadatu funkciju samo ako su svi članovi redne veze, koji ga čine, ispravni i raspoloživi.

Računarski sistem može se nalaziti u stanju kada je ispravan i raspoloživ za obavljanje zadate funkcije ili u stanju zastoja zbog preventivnog održavanja ili zastoja prouzrokovanog otkazom. Ova stanja se smenjuju u toku perioda eksploatacije. U stanju zastoja zbog otkaza obavlja se otklanjanje otkaza. Vreme zastoja zbog otkaza, pored vremena aktivne popravke koje uvek sadrži, nekada može da sadrži i vreme čekanja na početak rada osoblja (administrativno vreme) ili vreme čekanja na rezervni deo koji nije na raspolaganju (logističko vreme).

Za analize predložene u ovom radu, koje se odnose na izabrani period posmatranja rada sistema T, potrebni su sledeći podaci za svaki podsistem — član redne veze složenog sistema:

— broj otkaza u posmatranom periodu rada — n;

— broj zastoja u posmatranom periodu zbog čekanja na rezervni deo — h, gde je $h \leq n$;

— broj zastoja u posmatranom periodu zbog čekanja na osoblje — s, gde je $s \leq n$;

— broj aktivnosti preventivnog održavanja u posmatranom periodu — k;

— vreme raspoloživosti između i-tog i i+1-vog otkaza — m_i;

— vreme aktivne popravke i-tog kvara — d_{akti};

— vreme čekanja na deo kod i-tog čekanja, logističko vreme — d_{logi};

— vreme čekanja na osoblje kod i-tog čekanja, administrativno vreme — d_{admi};

— vreme trajanja i-te aktivnosti preventivnog održavanja — M_{pi}.

Osim za podsisteme, sa dobro organizovanim sakupljanjem sirovih podataka, ovi podaci mogu se dobiti i za sastavne delove podsistema — pojedinačne uređaje.

Pomenuti potrebni podaci dobijaju se transformacijom sirovih podataka koji se mogu sakupiti iz sledećih izvora:

— dnevnik operacija računarskog sistema u koji operatori, po ustanovljenom postupku, hronološki zapisuju sve događaje u sistemu i njegovom okruženju,

— arhive podataka na disku o svim komandama i porukama u sistemu i o greškama u sistemu, automatski punjene od strane sistemskih rutina u toku rada računarskog sistema,

— dnevnik održavanja, gde se hronološki zapisuju indikacije otkaza, trajanje zastoja, trajanje vremena čekanja na deo, opis otkaza, naziv otkazalog sastavnog dela i naziv utrošenog rezervnog dela,

— intervjui sa operatorom, sistem-inženjerom održavaocem.

Empirijske funkcije gustine trajanja zastoja, intenziteta popravke i popravljivosti

Funkcije gustine trajanja zastoja, intenziteta popravke i pogodnosti za održavanje ili popravljivosti na osnovu podataka o trajanju zastoja sakupljanih u toku eksploatacije računarskog sistema, računaju se pomoću obrazaca za izračunavanje empirijskih funkcija gustine i intenziteta otkaza više nepopravljivih sistema, opisanih u [4]. Način primene tih obrazaca na popravljivi sistem, koji otkazuje više puta, kada se znaju vremena između otkaza, obrazložen je u [5].

Ovde se ti obrasci primenjuju za izračunavanje vrednosti funkcija gustine trajanja kvara $f_e(t)$, intenziteta popravke $\mu_e(t)$ i popravljivosti $M_e(t)$, za jedan popravljivi sistem koji je otkazao više puta i čija su trajanja zastoja slučajne veličine, poznatih vrednosti. Pomenute funkcije izračunavaju se posebno za trajanje aktivne popravke, za trajanje logističkog zastoja i trajanje administrativnog zastoja.

Empirijska funkcija gustine trajanja zastoja je

$$f_e(t) = \frac{u_1(t_i) - u_1(t_i + \Delta t_i)}{u\,\Delta t_i}$$

gde je:

$u_1(t_i)$ — broj kvarova koji nisu otklonjeni do trenutka t_i,

$u_1(t_i + \Delta t_i)$ — broj kvarova koji nisu otklonjeni do trenutka $t_i + \Delta t_i$,

Δt_i — interval vremena između otklanjanja dva kvara,

u — ukupni broj kvarova, koji može biti jednak n, h ili s, zavisno od toga da li je promenljiva veličina vreme aktivne popravke, logističko ili administrativno vreme.

Empirijska funkcija intenziteta popravke je

$$\mu_e(t) = \frac{u_1(t_i) - u_1(t_i + \Delta t_i)}{u_1(t_i)\,\Delta t_i}$$

Empirijska funkcija popravljivosti je

$$M_e(t)=1-\frac{n_l(t_i+\Delta t_i)}{u}$$

Hipoteza o eksponencijalnoj raspodeli vremena trajanja zastoja i test saglasnosti

Iz podataka o trajanjima zastoja određene vrste (aktivna popravka, logistički zastoj, administrativni zastoj) u toku eksploatacije sistema, dobija se srednje trajanje zastoja ove vrste

$$\bar{d}_x=\frac{1}{u}\cdot\sum_{i=1}^{u}d_{xi}$$

gde je:

- u — broj registrovanih zastoja razmatrane vrste,
- d_{xi} — trajanje i-tog zastoja razmatrane vrste; indeks x je opšta oznaka za indekse akt, adm i log.

Pretpostavljajući da je raspodela vremena trajanja zastoja dobijena na osnovu podataka iz eksploatacije eksponencijalna, sa nivoom rizika α ne većim od zadatog, mogu se dobiti srednji intenzitet popravke sistema kod zastoja razmatrane vrste μ_{sr} i funkcija popravljivosti M(t) u praćenom intervalu vremena kao

$$\mu_{sr}=\frac{1}{\bar{d}_x}\,|1/h|$$

$$M(t)=1-e^{-\mu_{sr}t}$$

Hipoteza o eksponencijalnoj raspodeli se ne odbacuje ako je apsolutna vrednost najvećeg međusobnog odstupanja teorijske i empirijske funkcije popravljivosti

$$D=|M(t)-M_e(t)|$$

manja od koeficijenta poverenja Kolmogorova-Smirnova $\frac{d_\alpha}{\sqrt{u}}$ [4],

$$D_{max}\leqslant\frac{d_\alpha}{\sqrt{u}}$$

gde je:

- D_{max} — najveća vrednost D u posmatranom vremenskom intervalu;
- $M(t)$ — teorijska funkcija popravljivosti, prema (6);
- $M_e(t)$ — empirijska funkcija popravljivosti, prema (3);
- $\frac{d_\alpha}{\sqrt{u}}$ — koeficijent poverenja Kolmogorova-Smirnova;
- α — nivo rizika; $\alpha=1-p$, gde je p nivo poverenja;
- μ — broj zastoja razmatrane vrste.

Pokazatelji pouzdanosti, održavanja i raspoloživosti sistema

Pokazatelji pouzdanosti, održavanja i raspoloživosti j-tog podsistema nekog sistema (sa r podsistema), koji se izračunavaju na osnovu podataka definisanih u odeljcima 2 i 4, jesu sledeći:

— srednje vreme između otkaza

$$MTBF_j=\bar{m}_j=\frac{\sum_{i=1}^{n_j}m_{ji}}{n_j}\,|h|;$$

— intenzitet otkaza $\lambda_j=\frac{1}{m_j}$ $|1/h|$, što je pokazano u [5];

— srednje vreme aktivne popravke $MTTR_j=\bar{M}_{cj}=P_{aktj}\cdot d_{aktj}\ |h|$, gde je $P_{aktj}=\frac{n_j}{n_j}=1$ verovatnoća zastoja zbog aktivne popravke a $\bar{d}_{aktj}$ dobijeno je prema (4);

— srednje administrativno vreme $\overline{M}_{admj}=P_{admj}\cdot\overline{d}_{admj}$ |h|, gde je $P_{admj}=\frac{s_j}{n_j}$ verovatnoća pojave administrativnog zastoja a d_{admj} dobijeno je prema (4);

— srednje logističko vreme $\overline{M}_{log\ j}=P_{log\ j}\cdot d_{log\ j}$ |h|, gde je $P_{log\ j}=\frac{h_j}{n_j}$ verovatnoća pojave logističkog zastoja a $\overline{d}_{log\ j}$ dobijeno je saglasno (4);

— učestanost preventivnog održavanja $f_j=\frac{k_j}{T}$|1/h|;

— srednje vreme preventivnog održavanja $\overline{M}_{pj}=\frac{\sum_{i=1}^{k_j}M_{pji}}{k_j}$|h|.

Za složeni sistem, koji se sastoji od redne veze r sastavnih delova — podsistema, razmatrani pokazatelji izračunavaju se pomoću izraza:

$$\lambda=\sum_{j=1}^{r}\lambda_j$$

$$f=\sum_{j=1}^{k}f_j$$

$$\overline{M}_{akt}=MTTR=\overline{M}_c=\frac{\sum_{j=1}^{r}\lambda_j\cdot\overline{M}_{cj}}{\sum_{j=1}^{r}\lambda_j}$$

$$\overline{M}_{adm}=\frac{\sum_{j=1}^{r}\lambda_j\cdot\overline{M}_{admj}}{\sum_{j=1}^{r}\lambda_j}$$

$$\overline{M}_{log}=\frac{\sum_{j=1}^{r}\lambda_j\cdot\overline{M}_{log\ j}}{\sum_{j=1}^{r}\lambda_j}$$

$$\overline{M}_p=\frac{\sum_{j=1}^{r}f_j\cdot\overline{M}_{pj}}{\sum_{j=1}^{r}f_j}$$

Iz prethodno navedenih pokazatelja mogu se odrediti i:

— srednje trajanje zastoja zbog korektivnog održavanja:

$$\overline{M}_{corr}=\overline{M}_c+\overline{M}_{adm}+\overline{M}_{log};$$

— srednje trajanje aktivnog korektivnog i preventivnog održavanja:

$$\overline{M}=\frac{\lambda\cdot\overline{M}_c+f\cdot\overline{M}_p}{\lambda+f};$$

— srednje vreme između održavanja:

$$MTBM=\frac{1}{\lambda+f};$$

— srednje trajanje ukupnog zastoja zbog održavanja:

$$MDT=\frac{\lambda}{\lambda+f}\cdot\overline{M}_{corr}+\frac{f}{\lambda+f}\cdot\overline{M}_p=\overline{M}+$$

$$+\frac{\lambda}{\lambda+f}\cdot(\overline{M}_{adm}+\overline{M}_{log});$$

— sopstvena raspoloživost

$$A_i=\frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$$

— dostignuta raspoloživost

$$A_a=\frac{MTBM}{MTBM+\overline{M}}$$

— operativna raspoloživost

$$A_o=\frac{MTBM}{MTBM+MDT}$$

Prema prethodnoj definiciji pokazatelj A_a predstavlja raspoloživost koja bi se imala kada bi se raspolagalo svim rezervnim delovima na mestu instalacije sistema i kada bi osoblje radilo neprekidno. Pokazatelj A_o, međutim, pokazuje raspoloživost pri postojećoj organizaciji održavanja. Parametar A_a, prema tome, predstavlja graničnu vrednost za A_o koja se može postići. Mogu-

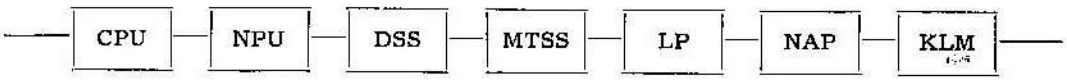
će povećanje raspoloživosti može se izraziti procentualno:

$$a = \frac{A_a - A_o}{A_o} \cdot 100[\%].$$

Primena metoda analize podataka o trajanju zastoja zbog otkaza

Posmatran je računarski sistem CYBER 170/720 (SISTEM), sa stanovišta pouzdanosti predstavljen kao redna veza sastavnih delova (sl. 1), koji učestvuju u ostvarenju funkcije SISTEMA [5]. Prekid funkcije bilo kog sastavnog dela dovodi do prekida funkcije SISTEMA. SISTEM radi neprekidno. Nadzor od strane operatora obezbeđen je radnih dana u jednoj smeni. U ostalo vreme SISTEM radi bez nadzora. Aktivnosti perspektivnog i korektivnog održavanja izvodi jedan održavalac, koji se nalazi na lokaciji SISTEMA, radi u jednoj smeni i raspolaže određenom količinom rezervnih delova. Kada se otkaz SISTEMA dogodi u radno vreme osoblja, a rezervni deo je na raspolaganju ili nije potreban, otkaz se otklanja odmah. Ako je rezervni deo potreban, a nije raspoloživ, naručuje se od proizvođača u inostranstvu i čeka da stigne. SISTEM je tada u stanju zastoja i teče logističko vreme. Ako SISTEM otkaže van radnog vremena osoblja, čeka se početak sledećeg radnog dana osoblja i teče administrativno vreme. Preventivno održavanje SISTEMA obavlja jedan održavalac dva puta nedeljno po 2 sata.

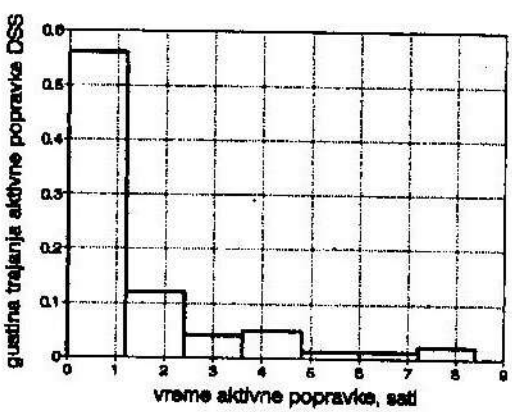
Sakupljeni su podaci o trajanjima aktivne popravke, administrativnog i logističkog zastoja svih podsistema sa sl. 1 koji čine SISTEM, kao i njihovih sastavnih delova u toku neprekidnog rada SISTEMA (T=39408 h) u trajanju od 4 do 5 godina. Za sve podsisteme je pokazano da se ne odbacuje pretpostavka o eksponencijalnoj raspodeli vremena aktivne popravke, administrativnog i logističkog vremena, prema (8). Tako su dobijeni srednji intenziteti aktivne, administrativne i logističke popravke kao konstantne veličine [6], sa kojima se mogu graditi Markovljevi modeli za analizu pouzdanosti i raspoloživosti pojedinih podsistema.



CPU — centralni procesor sa memorijom, periferijskim procesorima i kompresorom za hlađenje, NPU — komunikacioni procesor, DSS — četiri jedinice diska sa kontrolerom, MTSS — dve jedinice magnetnih traka sa kontrolerom, LP — štampač redova, NAP — sistem za napajanje SISTEMA i KLM — sistem za klimatizaciju i vođeno hlađenje.

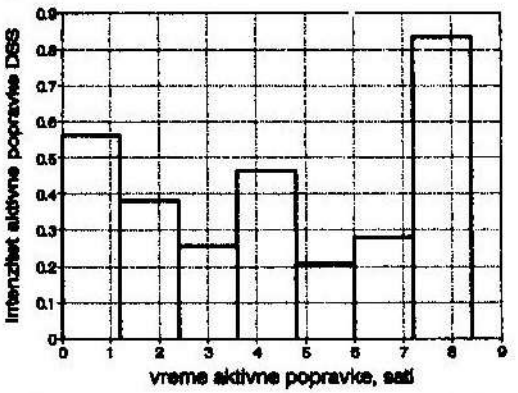
Sl. 1 — Blok-dijagram pouzdanosti SISTEMA

Radi ilustracije, na slikama 2,..., 6, prikazan je izgled empirijskih funkcija $f_e(t)$, $\mu_e(t)$ i $M_e(t)$ vremena aktivne popravke, administrativnog i logističkog vremena za podsistem DSS, izračunatih na osnovu (1), (2) i (3). Podsistem DSS redna je veza kontrolera i ekvivalentne jedinice diska. Kod razmatranog računarskog sistema, ekviva-

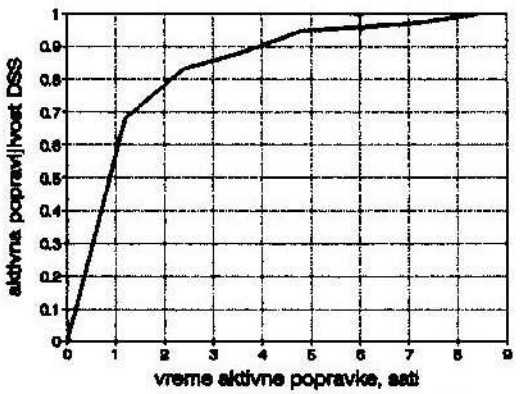


Sl. 2 — Gustina trajanja aktivne popravke DSS

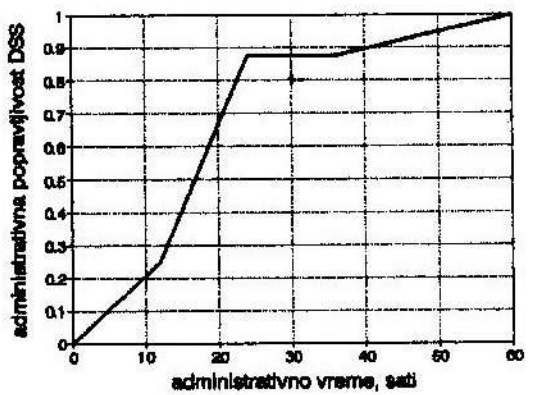
lentna jedinica diska je veza 4 fizičke jedinice diska DS, u kojoj je ekvivalentna jedinica raspoloživa onda kada su sve 4 jedinice DS raspoložive ili kada su 3 od 4 jedinice DS raspoložive.



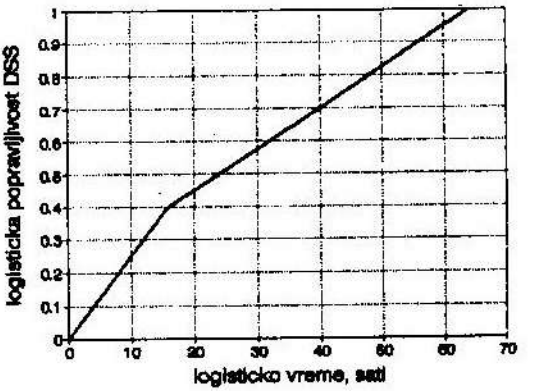
Sl. 3 — Intenzitet aktivne popravke DSS



Sl. 4 — Aktivna popravljivost DSS



Sl. 5 — Administrativna popravljivost DSS



Sl. 6 — Logistička popravljivost DSS

Statistički uzrok administrativnog i logističkog vremena bio je relativno mali, tako da su dijagrami na slikama 5 i 6 nacrtani sa malim brojem ulaznih podataka. Drugi primeri analognih dijagrama za pojedinačne jedinice i podsisteme nalaze se u [6].

U tabeli 1 prikazane su vrednosti karakterističnih pokazatelja održavanja i raspoloživosti, izračunate prema napred datim izrazima. Izračunate su vrednosti pokazatelja za SISTEM kao celinu, za sve podsisteme SISTEMA, kao i za jedinicu DS koja je sastavni deo DSS.

Intenzitet otkaza i broj otkaza pojedinih podsistema rangirani su i o njima je diskutovano u [5]. Ovde će se načiniti osvrt na pojedina vremena zastoja, koja treba da budu predmet praćenja i korekcije u toku perioda eksploatacije sistema. Srednje vreme aktivne popravke M_{akt} i srednje vreme preventivnog održavanja M_p mogu se smanjivati u toku eksploatacionog veka, ali ne znatno.

Trajanje administrativnog zastoja zavisi od vremena koje sistem radi bez nadzora osoblja. Očekivano trajanje zastoja u zavisnosti od broja radnih smena osoblja može se izračunati [6]. Vrednosti M_{adm} u tabeli 1 izračunate su za slučaj rada osoblja u jednoj smeni [6].

Tabela 1

Vrednosti pokazatelja održavanja i raspoloživosti za SISTEM i njegove sastavne delove

Naziv sistema-podsistema	Pokazatelji održavanja i raspoloživosti									
	$\frac{\lambda}{10^6\,h}$	$\overline{M}_{akt}$ [h]	$\overline{M}_{adm}$ [h]	$\overline{M}_{log}$ [h]	$\overline{M}_p$ [h]	$\overline{M}$ [h]	MDT [h]	A_i	A_a	A_o
SISTEM	6,086	1,08	3,54	8,24	2	1,69	5,63	0,9938	0,9705	0,9073
CPU	0,880	0,43	8,32	2,63	0,25	0,26	1,02	0,9996	0,9967	0,9872
NPU	1,324	0,18	0,49	4,43	0,25	0,24	0,74	0,9997	0,9968	0,9904
DSS	1,964	1,37	4,05	7,17	0,5	0,62	2,22	0,9973	0,9914	0,9702
MTSS	0,189	2,43	—	36	0,5	0,53	1,09	0,9995	0,9936	0,9870
LP	0,081	1,82	—	2,2	0,5	0,75	1,16	0,9950	0,9891	0,9832
NAP	0,729	2,45	2,63	21,89	0,5	0,61	2,03	0,9983	0,9923	0,9754
KLM	0,564	1,53	5,79	6,32	1	1,02	1,57	0,9991	0,9874	0,9808
DS	0,534	1,26	3,33	31,36	0,125	0,17	1,67	0,9993	0,9978	0,9797

Ovo vreme može se skratiti povećanjem broja radnih smena osoblja, što može biti opravdano ako je verovatnoća nastanka administrativnih zastoja velika.

Vrednosti za M_{log} u tabeli 1, veće su u odnosu na ostale komponente vremena zastoja, ukazujući da najduži zastoj nastaje zbog čekanja na rezervni deo. Srednje logističko vreme utiče na trajanje ukupnog zastoja, prema (25). U tabeli 1, najduže srednje logističko vreme, u periodu posmatranja, imali su podsistemi MTSS i NAP. To vreme bi moglo da se skrati povećanjem broja rezervnih delova dostupnih održavaocu. Zapaža se da podsistem DSS ima znatno kraće M_{log} od svog satsavnog dela DS, što je posledica dobre konfiguracije DSS.

Kako se iz tabele 1 vidi, relativno povećanje raspoloživosti a_s za SISTEM iznosi:

$$a_s = \frac{0{,}9705 - 0{,}9073}{0{,}9073} \cdot 100 = 6{,}97\%$$

što znači da bi se idealnom organizacijom održavanja operativna raspoloživost SISTEMA mogla povećati za 6,97%. Zapaža se da najnižu operativnu raspoloživost ima podsistem DSS, pa, s obzirom na rednu vezu podsistema, DSS predstavlja najkritičniju komponentu SISTEMA. Poređenjem vrednosti za A_a i A_o za podsitsem DSS, zaključuje se da bi se odgovarajućom organizacijom odražavanja DSS mogla osetno popraviti operativna raspoloživost SISTEMA. Isto se, u nešto manjoj meri, odnosi i na podsistem NAP.

Zaključak

U radu se prikazuje model i definišu potrebni parametri za analizu raspoloživosti računarskog sistema na osnovu podataka iz eksploatacije. Opisana metodologija može poslužiti za analize i drugih složenih tehničkih sistema i uređaja.

Sakupljanjem određenih podataka u toku eksploatacije računarskih sistema mogu se izračunati karakteristični pokazatelji pouzdanosti, održavanja i raspoloživosti praćenog sistema i njego-

vih sastavnih delova u posmatranom intervalu vremena. Na osnovu istih podataka mogu se izračunati vrednosti empirijskih funkcija gustine trajanja vremena zastoja zbog aktivne popravke, logističkog i administrativnog vremena zastoja, kao i funkcije popravljivosti za svaku od ovih komponenata vremena zastoja.

Pokazatelji dobijeni na prikazani način mogu da se koriste za predviđanje broja otkaza, vremena trajanja zastoja i operativne raspoloživosti u nekom izabranom intervalu vremena, kao i za analizu uticaja načina organizacije održavanja i snabdevenosti rezervnim delovima na operativnu raspoloživost pojedinih komponenti i celog sistema.

Izračunati pokazatelji i grafici funkcija mogu da služe kao referentna baza podataka za globalne inženjerske analize sličnih računarskih sistema, pošto se teško nalaze u dostupnoj literaturi.

Literatura:

[1] Maintainability Prediction, MIL-HDBK-472, 1966.

[2] Elis, K. E. Gibson, G.J.:Trend Analysis of Repair Times, IEEE 1991. Sroceedings Annual Reliability & Maintainability Symposium.

[3] Blanchard, B.: Logistics Engineering and Management, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1979.

[4] Vujenović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Beograd, VINC, 1990.

[5] Obrovački, R.: Računarski sistemi u eksploataciji — sakupljanje podataka o otkazima i predviđanje pokazatelja pouzdanosti., VTG, XL, 1992, 3, 292—298.

[6] Obrovački, R.: Analiza raspoloživosti računarskog sistema CYBER 170/720 na osnovu podataka iz eksploatacije, elaborat VTI, 1992, 101 str.

Mr Vojkan Lučanin,
dipl. iiž.
Dr Gradimir Ivanović,
dipl. iiž.

Preventivno održavanje prema stanju putničkog vagona

Održavanje putničkog vagona, odnosno izvođenje redovnih opravki, sada se obavlja prema vremenskom resursu, i to bez provere stanja pojediiih elemenata (sklopova, podsklopova, delova) vagona. Analizom ovakvog načina održavanja utvrđeno je da je pre sprovođenja redovnih opravki potrebno utvrditi stanje elemenata, kako bi se doprinelo povećanju raspoloživosti i pouzdanosti, uz smanjenje obima radova i troškova.

Imajući to u vidu, u radu je, sa stanovišta preventivnog održavanja prema stanju, POPS, putničkog vagona, prikazana analiza postojećeg sistema održavanja, razvoj i primena matematičkog modela.

Uvod

Putnički vagon, projektovan za vreme rada od 32 do 36 godina, u toku korišćenja izložen je uticaju niza spoljašnjih i unutrašnjih faktora koji utiču na odstupanja karakteristika ispravnog funkcionisanja. Za održavanje, u toku eksploatacije vagona, primenjuju se postupci održavanja saglasno Pravilniku [5]. U ovom periodu održavanje ima presudnu ulogu sa stanovišta pouzdanog i bezbednog rada vagona po propisanim tehničkim i ekonomskim uslovima.

Na JŽ primenjuje se koncepcija preventivnog održavanja prema određenom vremenu (kalendarskom), koja onemogućava planiranje optimalnog trenutka za izvođenje aktivnosti održavanja, uz porast verovatnoće pojave otkaza, angažovanja velikog broja održavaoca i visoke troškove održavanja.

Redovne opravke, sa rasklapanjem sklopova, vrše se svakih godinu, odnosno godinu i po dana bez provere stanja pojedinih elemenata (sklopova, podsklopova, delova). Analizom ovakvog načina održavanja vagona utvrđeno je da je pre sprovođenja redovnih opravki potrebno utvrditi stanje elemenata, kako bi se doprinelo smanjenju obima radova, u odnosu na obim obaveznih radova u redovnim opravkama, uz smanjenje troškova održavanja.

Prema tome, preventivno održavanje prema stanju (POPS), koje se zasniva na »proveri stanja«, odnosno na kontinualnom ili diskretnom praćenju sastavnih elemenata sistema, u ovom slučaju vagona, i uočavanju ili prognoziranja graničnih vrednosti izlaznih parametara, omogućuje da se aktivnosti održavanja (zamene i dr.) vrše samo ako je to zaista potrebno (u slučaju dostizanja »graničnih« stanja u pogledu pohabanosti, zamora ili drugih vidova slabljenja materijala). Uspešnom primenom POPS vagona voznog parka JŽ smanjiće se troškovi održavanja, povećati nivo pouzdanosti i sigurnosti.

Za realizaciju primene POPS neophodno je obezbediti podatke i informacije o uslovima rada vagona (relacije saobraćanja), pouzdanosti pojedinih elemenata vagona, kao i o načinu i vremenu održavanja. Na ovaj način moguće je formirati bazu podataka za poboljšanje kvaliteta održavanja i efektivnosti primenom propisane tehnologije POPS-a.

U radu je prikazano POPS za obrtno postolje putničkog vagona. U suštini, sve što bude rečeno za obrtno postolje može se na odgovarajući način preneti i na druge konstruktivne celine vagona, pa i na vagon kao celinu.

POPS obrtnog postolja putničkog vagona

S obzirom na to da je putnički vagon složen tehnički sistem, u radu je prikazano istraživanje obrtnog postolja vagona kao složenog dinamičkog sistema, odnosno pažnja je posvećena habanju venaca točkova kao parametru za određivanje trenutka preventivnog održavanja prema stanju.

Stanje svakog sastavnog elementa vagona i svakog parametra sistema posebno, određuje radnu sposobnost ili pravilno funkcionisanje sistema i pri tome se formiraju odgovarajući vidovi stanja. Kako se stanje utvrđuje dijagnostikom, to znači da se ono može opisati određenim skupom parametara i karakteristika koje treba da zadovolje projektovanu funkciju kriterijuma/cilja pri određenim uslovima i u određenom vremenskom periodu.

Izabrani parametri stanja treba što potpunije da definišu stanje sastavnih elemenata sistema, odnosno sistema u celini, što omogućuje predviđanje momenta odstupanja osnovnih karakteristika od nominalnih vrednosti. Pri izboru parametara treba voditi računa da njihov broj bude najmanje moguć, odnosno jedan, dva ili tri.

U radu je, zbog prostora, prikazan izbor jednog parametra stanja, odnosno habanja venaca točkova, i odgovarajuća primena modela sa proverom parametara, uz napomenu da je za primenu POPS-a obrtnog postolja »GOŠA-100« potrebno obuhvatiti »proveru stanja« optimalnog broja parametara.

Radi određivanja parametara stanja, čije je odstupanje od nominalnih vrednosti najviše uticalo na povećanje ukupnog vremena stanja »u otkazu« obrtnog postolja i kola u celini, izvršena je analiza gotovosti kola tipa »Z«, serije Bt koja su opremljena predmetnim obrtnim postoljem.

Analiza raspoloživosti

Analizom je obuhvaćeno deset Bt kola tipa »Z« koja su saobraćala na pruzi Beograd—Titovo Užice—Beograd u periodu od godinu i po dana. Jedan turnus vagon dnevno iznosi 6 časova. Planirani zastoji i gubici zbog reda vožnje iznosili su 18 časova. Planirano je da u posmatranom periodu jedan vagon obavi ukupno 530 turnusa, odnosno ukupno 188.680 km.

Na osnovu vremena stanja »u radu« i »u otkazu«, koja su prikupljena

Tabela 1

Kola	P_i, OKS, OOP Σt_{uo}	RP Σt_{uo}	sum Σt_{uo}	OG
601-8	24	47	71	0.866
602-6	20	15	35	0.934
603-4	38	55	93	0.824
604-2	39	13	52	0.902
605-9	27	29	56	0.894
606-7	29	35	64	0.879
607-5	45	19	64	0.879
608-3	33	71	104	0.804
609-1	69	51	120	0.774
610-9	28	66	94	0.823
	$\Sigma = 352$	$\Sigma = 401$	$\Sigma = 753$	$\overline{OG} = 0.858$

u posmatranom periodu, tabela 1 [3], izračunata je gotovost vagona u obliku:

$$A(t) = \frac{T_{ur}}{T_{ur} + T_{uo}} \quad (1)$$

gde su:

T_{ur} — ukupno vreme stanja »u radu« (dan),

T_{uo} — ukupno vreme stanja »u otkazu« (dan).

Na osnovu podataka u tabeli 1, može se konstatovati da je broj dana »u otkazu« koji je uzrokovan dostizanjem graničnih mera venca točka približno jednak broju dana »u otkazu« koji je posledica svih ostalih uzroka, gde reprofilisanje učestvuje sa 53%. Napominje se da se reprofilisanje vrši na više međusobno udaljenih lokacija. To sigurno uslovljava potrebu planiranja postupka održavanja. Planiranje je moguće primenom modela preventivnog održavanja prema stanju sa proverom parametara. Zbog toga je u ovom radu posebna pažnja posvećena habanju točkova, odnosno habanju venaca točkova obrtnog postolja, kao jednom od najvažnijih parametara njegovog stanja.

Matematički model i rezultati POPS-a

Radi formiranja matematičkih modela procesa habanja venaca točkova obrtnog postolja u različitim uslovima eksploatacije, izvršeno je merenje karakterističnih mera na svim točkovima pojedinih vagona koji su saobraćali na prugama: Beograd—Bar (deonice do T. Užica, Prijepolja i cela pruga) i Beograd—Subotica, koje se karakterišu različitim koeficijentima zakrivljenosti.

Pokazatelji habanje venaca točkova obrtnog postolja, koji su mereni specijalnim Q-merilom, jesu:

— visina venca (Vv), slika 1a.

— debljina venca (Dv), slika 1b.

— oštrina venca (qr), slika 1c.

Na osnovu ovih podataka formirane su datoteke karakterističnih mera, u zavisnosti od broja pređenih kilometara po kolima, a u okviru njih i po pojedinim kućištima (točkovima), kako bi se omogućila analiza svakog kućišta posebno.

Određivanje jednačina promena karakterističnih mera, u zavisnosti od pređenog puta, izvršena je u sledećim etapama:

u prvoj etapi izvršena je regresiona analiza karakterističnih mera i broja pređenih kilometara primenom linearnog modela:

$$Y = a \pm b \cdot x \quad (2)$$

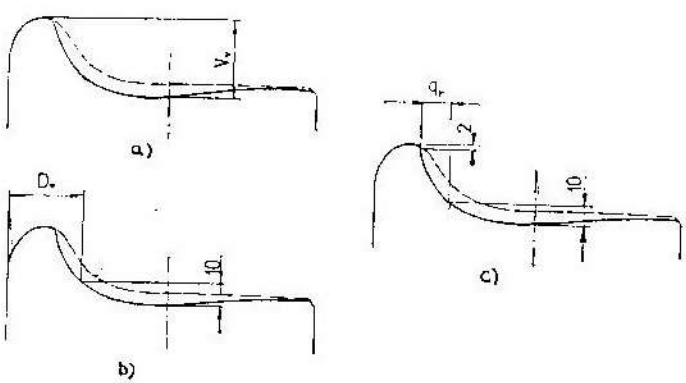
gde je:

Y — karakteristična mera,

a — nominalna vrednost karakteristične mere,

b — brzina promene karakteristične mere,

x — broj pređenih kilometara.



Slika 1

U ovoj etapi izvršena je i regresiona analiza primenom eksponencijalnog modela radi uporedne analize sa linearnim modelom i konstatovanja veličine eventualno načinjene greške pri korišćenju linearnog modela (kriterijum je veličina rezidualne disperzije, tako da boljoj aproksimaciji odgovara manja vrednost). Takođe, izvršena je regresiona analiza između karakterističnih mera radi određivanja njihove međusobne veze da bi se, za dalji rad, izvršio izbor mere koja će prva dostići graničnu vrednost.

Rezultati I etape [3], ilustracije radi, za prugu Beograd—Bar dati su u: tabeli 2 (odnos visina venca — broj pređenih kilometara) i u tabeli 3 (odnos debljina venca — oštrina venca), i u obliku dijagrama (sl. 2 i 3) za interval poverenja od P = 0,95.

Tabela 2.

Regression Analysis — Linear model: $Y = a+bX$

Dependent variable: D:AB625627. visina Independent variable: D:AB625627.kilomet

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	28.7546	0.101284	283.901	0
Slope	1.37878E-5	1.65112E-6	8.35059	4.08562E-14

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	18.528545	1	18.528545	69.732289	.00000
Error	39.85645	150	.26571		
Total (Corr.)	58.38500	151			

Correlation Coefficient = 0.563339 R-squared = 31.74 percent
Stnd. Error of Ist. = 0.51547

Tabela 3

Regression Analysis — Linear model: $Y = a+bX$

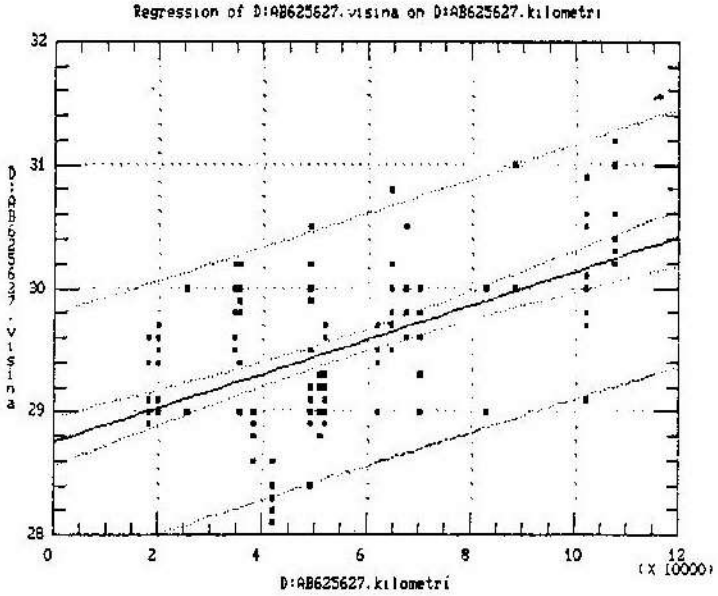
Dependent variable: D:AB625627.debljina Independent variable: D:AB625627.meraqr

Parameter	Estimate	Standard Error	T Value	Prob. Level
Intercept	19.2418	1.68122	11.4451	5.77316E-15
Slope	1.05003	0.19228	5.46095	1.92132E-7

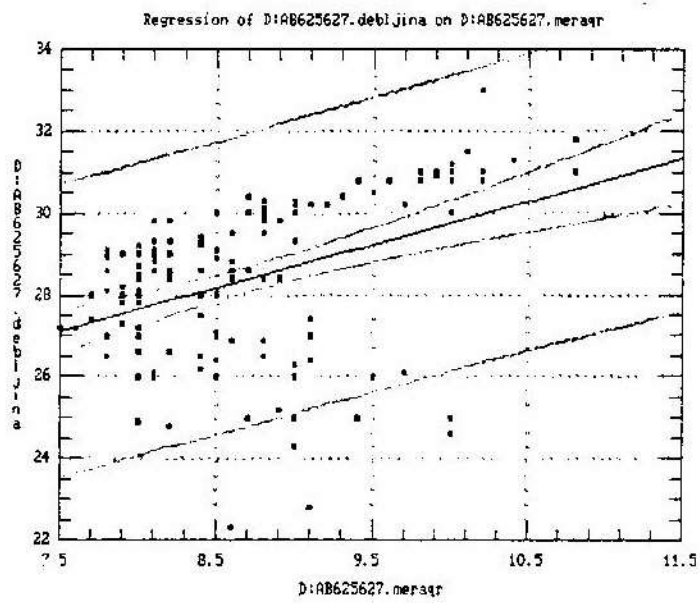
Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	Prob. Level
Model	96.874658	1	96.874658	29.822022	.00000
Error	487.26403	150	3.24843		
Total (Corr.)	584.13868	151			

Correlation Coeficient = 0.407237R-squared = 16.58 percent
Stnd. Error of Est. = 1.80234


Regression of D:AB625627.visina on D:AB625627.kilometri
D:AB625627.visina
32
31
30
29
28
0
2
4
6
8
10
12
(x 10000)
D:AB625627.kilometri

Sl. 2


Regression of D:AB625627.debljina on D:AB625627.meraqr
D:AB625627.debljina
34
32
30
28
26
24
22
7.5
8.5
9.5
10.5
11.5
D:AB625627.meraqr

Sl. 3

U drugoj etapi je, na osnovu jednačina regresije, formirana gustina raspodele stanja »u otkazu«, $f(x_g, t)$ kao karakteristika pouzdanosti (dostizanje granične vrednosti izabrane karakteristične mere pri različitom broju pređenih kilometara). Dobijene su gustine raspodele sa normalnim zakonom raspodele. Na osnovu gustina raspodele stanja obrtnog postolja »u otkazu« određena je brzina promene karakterističnih mera (koeficijent »b« u linearnoj regresiji, odnosno »a« u jednačini promene parametra). Vrednosti brzina promena pokoravaju se normalnom zakonu raspodele.

b — stepen,

x_n — nominalna vrednost karakteristične mere.

U III etapi određeno je vreme prve provere stanja obrtnog postolja t_1 u obliku:

$$t_1 = \sqrt[b]{\frac{x_n - x_g - \sigma_x \cdot U_{pz}}{a}} \qquad (4)$$

i dozvoljena vrednost parametra stanja x_d u obliku:

$$x_d = a \cdot t_1^b + x_n \qquad (5)$$

Tabela 4.

Srednja vredn.	$\bar{x}n = 32.28$	$\bar{S}m = 156328$	$\bar{a} = 6.895$	$\bar{D}v = 21.50$
Stand. devijac.	oxn = 0.958	osm = 34647	oa = 1.644	oDv = 2.103
KS statistika	dn = 0.197	dn = 0.2283	dn = 0.0955	dn = 0.176

Jednačina (3) potpuno opisuje model promene karakterističnih mera, sa intervalom poverenja $1{,}96\sigma_x$ ($P = 0{,}95$, vrednost ukupne verovatnoće realizacije slučajno promenljive).

Rezultati II etape (3), dati za prugu Beograd—Bar, dati su u tabeli 4, na osnovu koje je formiran odgovarajući histogram, sl. 4. Jednačina promene glasi:

$$D_v(s) = 32{,}28 \text{ mm} - 6{,}9 \cdot 10^{-5} \text{ mm/km} \pm \pm 4{,}122 \text{ mm}$$

Izračunato je standardno odstupanje karakteristične mere na osnovu izračunatih vrednosti odstupanja pri srednjem broju pređenih kilometara. Na ovaj način formirana je jednačina:

$$x(t) = x_n \pm a \cdot t^b \pm 1{,}96 \cdot \sigma_x \qquad (3)$$

gde je:

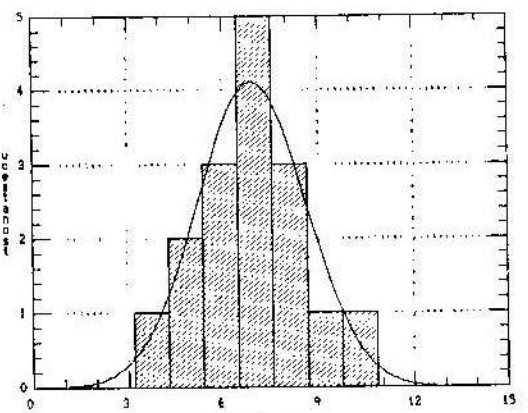
x(t) — vrednost karakteristične mere,

a — brzina promene karakteristične mere,

gde je:

x_g — granična vrednost parametra stanja;

U_{pz} — kvantil normalne raspodele, za zadano R.



Sl. 4

Rezultati ove etape (3) dati su u tabeli 5, gde su za svaku prugu prikazane vrednosti t_1 i D_v^{doz}. Izračunavanje

t_i izvršeno za zadani nivo pouzdanosti od $R=0,95$, odnosno $U_{pz}=1,645$.

Tabela 5.

Pruga	t_i(km)	D_v^{doz} (mm)
Beograd—Užice	75.000	25.28
Beograd—Bar	99.000	25.45
Beograd—Prijepolje	98.000	25.79
Beograd—Subotica	390.500	24.63

Na osnovu dobijenih rezultata, tabela 5, može se zaključiti da je za različito vreme održavanja primenom POPS-a, što nije slučaj u postojećem načinu održavanja, gde se održavanje vrši na svakih godinu, odnosno godinu i po dana. Pri tome posebno treba imati u vidu smanjenje troškova održavanja i povećanje efektivnosti (pouzdanosti i raspoloživosti) putničkog vagona.

Zaključak

Za primenu POPS-a potrebno je izvršiti analizu postojećeg stanja korišćenja i održavanja putničkog vagona, odnosno njegovih elemenata. Zatim, pažljivom analizom treba odabrati parametre za određivanje trenutka preventivnog održavanja prema stanju za razne elemente putničkog vagona, primenom što tačnijih matematičkih modela. Sve to ima za cilj povećanje efektivnosti putničkog vagona i smanjenje troškova održavanja.

Literatura:

[1] Baldin, A., Furlanetto, L.: ODRŽAVANJE PO STANJU, OMO, Beograd, 1980.

[2] Knežević J.: PRILOG FORMIRANJU MODELA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA MAŠINSKIH SISTEMA PREMA TEHNIČKOM STAIJU, OMO, br. 5/83.

[3] Lučanin V.: RAZVOI SISTEMA ZA PLANIRANJE I UPRAVLJANJE FUNKCIJOM ODRŽAVANJA OBRTNOG POSTOLJA »GOSA-100« NA JŽ, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1989.

[4] Vranić V.: VJEROJATNOST I STATISTIKA, Tehnička knjiga, Zagreb, 1971.

[5] Zajednica JŽ, PRAVILNIK O ODRŽAVANJU ŽELEZNIČKIH VOZILA, Zavod za NIP delatnost JŽ, Beograd, 1983.

Mr Novak Smiljanić
kapetan I klase, dipl. inž.

Arhitektura informacionog sistema metrologije Vojske Jugoslavije i model baze podataka podsistema verifikacije mernih sredstava

U članku je opisan sistem metrologije Vojske Jugoslavije i predložena arhitektura njegovog informacionog sistema. Primenom metode Business System Planning izvršeno je logičko projektovanje baze podataka podsistema »Verifikacija mernih sredstava«.

Uvod

Neautomatizovani informacioni sistem (IS) metrologije Vojske Jugoslavije (VJ) postao je nedovoljno efikasan u pogledu zadovoljenja informacionih zahteva po pitanju kvaliteta, kvantiteta i brzine tokova informacija. To nepovoljno utiče na efikasnost sistema metrološkog obezbeđenja (MOb), prvenstveno u oblasti upravljanja.

Projektovanje, razvoj i uvođenje automatizovanog informacionog sistema (AIS) jedna je od osnovnih pretpostavki za efikasno delovanje svakog organizacijskog sistema, a pogotovo složenog sistema kakav je sistem MOb VJ.

Postojeća rešenja i ostvareni početni rezultati na automatizaciju informacionih tokova proistekli su, uglavnom, iz operativnih zahteva i potreba automatizacije pojedinih procesa. Parcijalno i intuitivno rešavanje zahteva dovelo je do razvoja aplikacija sa niskom verovatnoćom dugotrajnije primene i mogućnosti uzajamnog povezivanja.

Empirijska metodologija u automatizaciji poslovnih procesa nije obezbedila razvoj efikasnog informacionog sistema, a praksa je pokazala da takva rešenja relativno brzo ispadaju iz praktične primene.

Shodno naraslim zahtevima ukazuje se potreba za razvojem AIS, koji će u realnom vremenu zadovoljiti zahteve za mnogobrojnim informacijama po nivoima sistema MOb, te omogućiti efikasno upravljanje njegovim procesima.

U ovom članku analiziran je sistem metrologije VJ, te izrađena arhitektura njegovog informacionog sistema i predložen model baze podataka podsistema verifikacije mernih sredstava (MerS).

Analiza sistema metrologije Vojske Jugoslavije

Analiza sistema metrologije VJ provedena je radi definisanja opšte arhitekture njegovog IS, podsistema i njihovih veza. Da bi se izbegli uočeni nedostaci u ranijim pokušajima automatizacije procesa MOb, analiza je provedena po metodi Business System Planning (BSP). Navedena metoda polazi od definisanja strukture IS na bazi poslovnih procesa kao najstabilnije komponente realnog sistema. U članku su opisane i prikazane samo one faze BSP metode koje ilustruju projektovanje baze podataka (BP).

Definisanje poslovnih procesa

Dekompozicijom funkcija i analizom strukture sistema metrologije de-

finisane su osnovne grupe procesa[1]) i aktivnosti:

a) Formiranje i rad metroloških laboratorija

1. Podnošenje zahteva za dobijanje ovlašćenja

2. Proveravanje ispunjenja uslova za izdavanje ovlašćenja

3. Izdavanje ovlašćenja

b) Verifikacija mernih sredstava

1. Evidencija MerS

2. Određivanje rokova verifikacije

3. Planiranje verifikacije MerS

4. Slanje MerS na verifikaciju

5. Izvođenje verifikacije MerS

6. Dokumentacija o verifikaciji

7. Izveštavanje o realizaciji planova verifikacije

c) Izrada propisa i akata standardizacije u oblasti metrologije

d) Metrološki nadzor

Podnošenje zahteva za dobijanje ovlašćenja je aktivnost u kojoj zainteresovana preduzeća i ustanove, nakon pripreme i osposobljavanja, nadležnom organu podnose zahtev za izdavanje ovlašćenja za rad metrološke laboratorije (ML) na verifikaciji MerS za potrebe VJ. Spremnost i osposobljenost organizacione jedinice za izvođenje verifikacije MerS iskazuje se kroz elaborat, koji, pored ostalog, sadrži:

— prikaz raspoloživih kapaciteta,

— spisak metrološkog kadra,

— prijave etalona,

— spisak laboratorije MerS, i

— prikaz mogućnosti verifikacije MerS.

Proveravanje ispunjenja uslova za dobijanje ovlašćenja je aktivnost koja obuhvata proveru opštih i posebnih uslova za dobijanje ovlašćenja. Komisija proverava potpunost i tačnost podataka iz elaborata i ispunjenja definisanih uslova za dobijanje ovlašćenja za rad.

Provera se izvodi pregledom podnete dokumentacije i uvidom na licu mesta, o čemu se sačinjava izveštaj koji sadrži:

— sastav komisije i vreme rada,

— mišljenje o ispunjenju pojedinih uslova,

— predlog mera, i

— zaključak komisije.

Izdavanje ovlašćenja za rad ML je aktivnost kojom nadležni organ na osnovu podnetog zahteva, elaborata i izveštaja komisije donosi odluku o izdavanju ovlašćenja za rad ML. Ovlašćenje sadrži:

— pregled mogućnosti verifikacije MerS,

— verifikacionu oznaku i žig ML,

— obrazac atesta o baždarenju i

— spisak ovlašćenih lica za overu dokumenata.

Od sačinjenih dokumenata formira se dosije, a ovlašćena ML upisuje se u odgovarajući registar.

Evidencija MerS je aktivnost u kojoj jedinice, ustanove, preduzeća i ML formiraju, vode i ažuriraju spiskove etalona i MerS sa podacima o njihovoj verifikaciji. Evidencija se ustrojava i vodi radi:

— uvida u stanje popunjenosti jedinica-ustanova i ML sa MerS,

— uvida u stanje verifikacije ili pregleda MerS,

— planiranja verifikacije,

— određivanje prioriteta nabavke MerS.

Evidencija se vodi u obliku osnovne i objedinjene evidencije. Osnovna evidencija obuhvata pojedinačno MerS i vodi se na nivou MFO IV stepena. Ob-

[1]) Pod poslovnim procesom podrazumeva se grupa logički povezanih odlučivanja i aktivnosti, koje se izvode pri upravljanju nekim resursom poslovnog sistma u toku njgovog životnog veka [2].

jedinjena evidencija predstavlja zbirnu evidenciju koja se vodi na višim nivoima.

Određivanje rokova verifikacije MerS je aktivnost kojom se određuje periodika izvođenja verifikacije koja zavisi od namene, vrste MerS i značaja merenja, učestalosti merenja, uslova eksploatacije i preporuka proizvođača MerS.

Planiranje verifikacije MerS predstavlja aktivnost na izradi planova verifikacija MerS koji imaju za cilj da omoguće pravovremeno izvođenje verifikacija, efikasno i ravnomerno iskorišćenje i opterećenje raspoloživih kapaciteta, programiranje razvoja metrologije i obezbeđenje novčanih sredstava. Osnovnu podlogu za planiranje verifikacija MerS čine:

— evidencije MerS,

— tehnološki normativi vremena verifikacije,

— pregled raspoloživih kapaciteta,

— periodika — rokovi verifikacija, i

— preraspodela verifikacija po ML.

Slanje MerS na verifikaciju obuhvata transport MerS na verifikaciju i povratak korisniku. Transport mora ispunjavati propisane uslove. Uz MerS se obavezno šalje i pripadajuća dokumentacija:

Izvođenje verifikacije MerS je aktivnost koja obuhvata:

— vizuelni pregled MerS i kompletnost prateće dokumentacije i pripadajućeg pribora,

— proveru funkcionalne ispravnosti i pripremu MerS,

— baždarenje,

— vođenje zapisnika i obradu rezultata merenja,

— podešavanje,

— overu zapisnika, stavljanje verifikacione oznake, izradu i overu atesta o baždarenju.

Dokumentacija o verifikaciji MerS vodi se u posebnoj knjizi ili evidenciji koja sadrži osnovne podatke MerS.

Izveštavanje o realizacji planova verifikacije je aktivnost putem koje ML podnose izveštaje u kojima se obrađuje:

— realizacija planova verifikacija i ostalih metroloških zadataka,

— iskorišćenje raspoloživih kapaciteta,

— kadrovska problematika, i

— perspektiva razvoja.

Izrada propisa i akata standardizacije u oblasti metrologije je proces koji obuhvata:

— planiranje izrade propisa i akata standardizacije (a/s),

— izrada nacrta a/s,

— davanje nacrta a/s i propisa na mišljenje,

— obrada ankete a/s,

— razmatranje nacrta a/s i usvajanje konačnog teksta,

— donošenje, štampanje i distribucija a/s korisnicima.

Metrološki nadzor kao proces nad primenjivanjem propisa u oblasti metrologije u jedinicama i ustanovama VJ i preduzećima koja proizvode za potrebe VJ obavljaju ovlašćeni inspektori. U procesu metrološkog nadzora sprovode se sledeće aktivnosti:

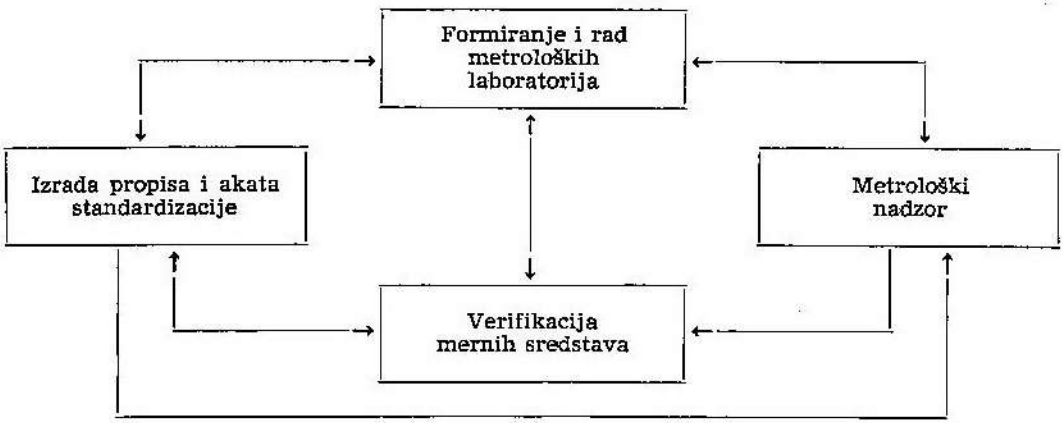
— izrada programa i metodologije izvođenja i propisivanja jedinstvenih kriterijuma za ocenjivanje stanja metrološke delatnosti u VJ,

— planiranje metrološkog nadzora,

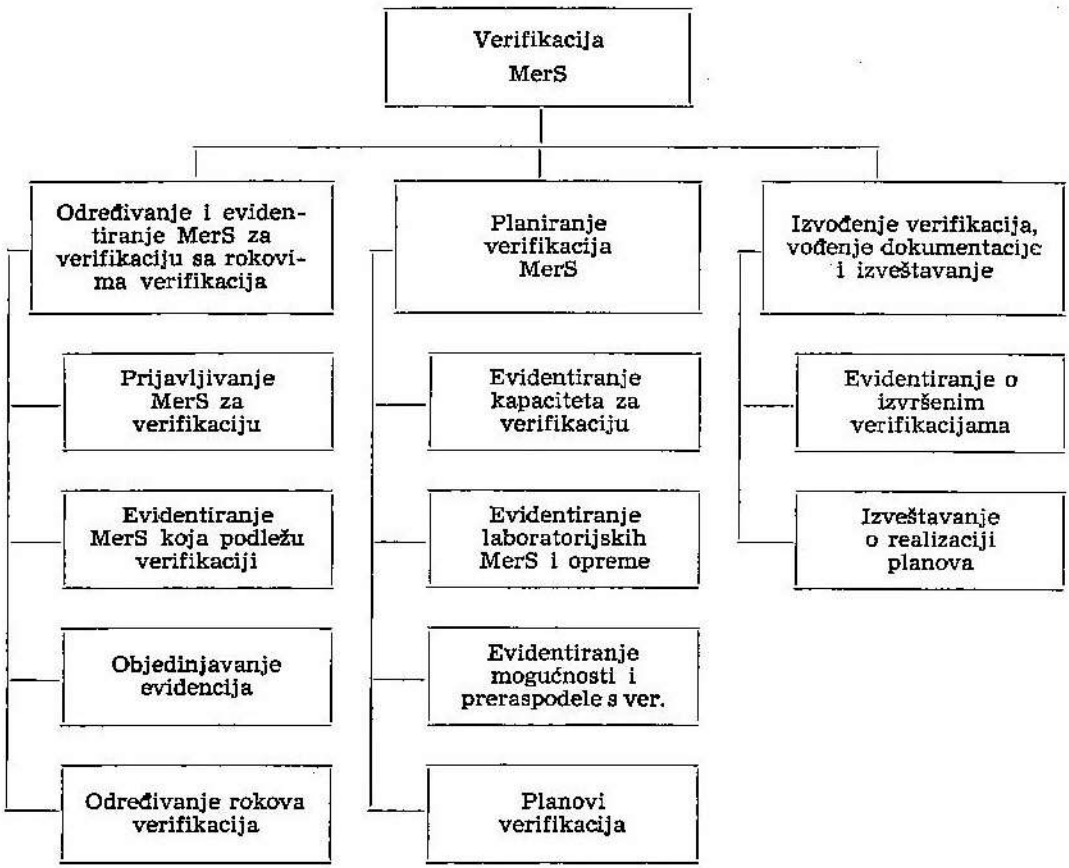
— izvođenje metrološkog nadzora u ML, preduzećima i jedinicama i ustanovama VJ.

Definisanje arhitekture informacionog sistema metrologije

Do arhitekture IS metrologije došlo se provođenjem funkcionalne anali-



Sl. 1 — Arhitektura informacionog sistema metrologije



Sl. 2 — Shema funkcija podsistema »Verifikacije MerS«

ze definisanih procesa i njima pripadajućih klasa podataka. Suština funkcionalne analize ogleda se u grupisanju procesa koji stvaraju odgovarajuće klase podataka i procesa koji koriste generisane podatke po klasama. Na slici 1 prikazana je opšta struktura IS metrologije iz koje se vide odnosi i veze između podsistema definisanog IS.

Kanonički model baze podataka podsistema verifikacije MerS

Dekompozicijom funkcija podsistema »Verifikacija mernih sredstava« došlo se do modela prikazanog na slici 2.

Sagledavajući model i tokove podataka, identifikovana je sledeća dokumentacija koja se vodi u procesu verifikacije [3]:

1. Spisak kadra ML
2. Prijava primarnih etalona
3. Prijava sekundarnih etalona
4. Prijava radnih etalona
5. Spisak laboratorijskih MerS i opreme
6. Prikaz mogućnosti verifikacije MerS
7. Pregled raspoloživog kapaciteta
8. Spisak lica ovlašćenih za overu dokumentacije o baždarenju
9. Atest o baždarenju
10. Zapisnik o baždarenju
11. Evidencija primarnih etalona
12. Evidencija sekundarnih etalona
13. Evidencija radnih etalona
14. Evidencija mernih sredstava
15. Objedinjena evidencija MerS
16. Evidencija prihvaćenih MerS
17. Preraspodela baždarenja etalona i MerS
18. Plan redovnih verifikacija MerS
19. Prijava vanrednih verifikacija MerS

Primenom tehnike Varnijeovih dijagrama, normalizacijom nenormalizovanih relacija i integracijom dobijenih normalizovanih relacija po principu zajedničkog ključa dobijen je kanonički model baze podataka podsistema verifikacije MerS, prikazan u tabeli 1.

Proračun memorijskog kapaciteta

Potrebna memorija za smeštaj baze podataka računa se po metodi određivanja broja logičkih pristupa zapisima. Prema [2] veličina memorijskog prostora računa se po formuli:

$$MEMOPOD = VELZAP_j \; BRZAP_j \quad (1)$$

gde je:

MEMOPOD	—	veličina memorije za smeštaj svih podataka u BP
$VELZAP_j$	—	veličina zapisa tipa j
$BRZAP_j$	—	broj zapisa tipa j
j	—	zapis tipa j
N	—	broj tipova zapisa j

Pregled korišćenih skraćenica

ADRESA	Adresa
BRZAP	Broj zapisnika
DATPRIJ	Datum prijavljivanja za verifikaciju
DATPRVE	Datum prve verifikacije
EVIDBR	Evidencioni broj MerS
FREKOPS	Frekventni opseg MerS
GOD	Godina planiranja
GREŠKA	Greška merenja
JMBG	Jedinstveni matični broj građana
KLASBR	Klasifikacioni broj MerS
KVARTAL	Kvartal planiranja
MALZIG	Pravo na mali žig
MEROPS	Merni opseg
MESTO	Mesto
ML	Oznaka metrološke laboratorije
NAZETAL	Naziv etalona
NAZML	Naziv metrološke laboratorije

Tabela 1

Naziv i skraćenica	Sadržaj relacije
Kadar ML KADAR	(#ML, #JMBG, PREZIME, STRUSPRE, SKOSPRE, FUNKCIJA, RADUK, RADUMET, VELZIG, MALZIG)
Katalog ML METLAB	(#ML NAZML, MESTO, ADRESA, TELEFON)
Vlasnici MerS VLASNICI	(#SIFVLAS, NAZVLAS, MESTO, ADRESA, TELEFON)
Proizvođači MerS PROIZV	(#SIFPROIZ, NAZPRO, MESTO, ADRESA, TELEFON)
Katalog etalona KATETAL	(#KLASBR, NAZETAL, MEROPS, FREKOPS, GRESKA, PERVER, SIFPRO, TIP)
Katalog MerS KATMERS	(#KLASBR, NAZMERS, MEROPS, FREKOPS, GRESKA, PERVER, SIFPRO, TIP)
Prijava etalona PRIJETAL	(#ML, # VLASNIK, #KLASBR, #SLOZN, #EVIDBR, SERB, VAZVER)
Spisak MerS SPISMERS	(#SIFVLAS, #KLASBR, #SLOZN, #EVIDBR, SEBR, VAZVER)
Evidencija etal. EVIDENTAL	(#ML, #SIFVLAS, #KLASBR, #SLOZN, #EVIDBR, DATPRVE, VAZVER)
Evidencija MerS EVIDMERS	(#SIFVLAS, #ML, #KLASBR, #SLOZN, EVIDBR, VAZVER, STANJE 1, STANJE 2, STANJE 3)
Oslanjanje OSLANVER	(#SIFVLAS, #KLASBR, ML)
Kapaciteti RASKAP	(#ML, #GOD, #KLASBR, SOPSKAP, PRERKAP)
Planovi PLANVER	(#GOD, #NOSPLAN, #ML, #KLSBR, #SLOZN, #EVIDBR, VAZVER, KVARTAL, PKOM, PNC, RKOM, RNC)
Zapisnik ZAPISNIK	(#BRZAP, DATZAP, RN, KLASBR, SLOZN, EVIDBR, SIFVLAS, REFUSLO, DATPRIJ, POCBAZD, ZAVBAZD, VREBAZD, PRIBOR, JMBG)

NAZPROIZ	Naziv proizvođača	POCBAZD	Početak baždarenja
NAZVLAS	Naziv vlasnika MerS	PREZ IME	Prezime i ime
NOSPLAN	Nosilac planiranja verifikacije	PREKAP	Kapacitet za preraspodelu
NAZMERS	Naziv mernog sredstva	PRIBOR	Pribor korišćen za baždarenje
PERVER	Period verifikacije	RADUK	Ukupno radno iskustvo
PKOM	Planirano komada	RADUMET	Radno iskustvo u metrologiji
PNC	Planirano norma časova		
REFUSL	Referentni uslovi		

RKOM	Realizovano komada
RN	Broj radnog naloga
RNC	Realizovano norma časova
SEBR	Serijski broj
SIFPRO	Šifra proizvođača
SIFVLAS	Šifra vlasnika
SKSPREM	Školska sprema
SLOZN	Slovna oznaka
STANJE 1	Stanje prve kategorije MerS
STANJE 2	Stanje druge kategorije MerS
STANJE 3	Stanje treće kategorije MerS
STRSPREM	Stručna sprema
SOPSKAP	Kapacitet za sopstvene potrebe ML
TELEFON	Telefon
TIP	Tip mernog sredstva
VAZVER	Važnost verifikacije
VELZIG	Pravo na veliki žig

Zaključak

U članku je, primenom BSP metode, provedena analiza sistema metrologije Vojske Jugoslavije radi definisanja arhitekture informacionog sistema. Dekompozicijom funkcija i definisanjem poslovnih procesa provedeno je logičko projektovanje i razvijen kanonički model baze podataka IS.

Projektovanjem konzistentne baze podataka stvoreni su osnovni preduslovi za njeno fizičko projektovanje i razvoj automatizovanog informacionog sistema, čija je banka podataka lišena anomalija u ažuriranju nepotrebnog ponavljanja podataka, i slično.

Realizacijom automatizovanog informacionog sistema metrologije, oslonjenog na logički i metodološki projektovanu bazu podataka, stvaraju se osnovne pretpostavke za brz protok relevantnih informacija, a time i za efikasno upravljanje razmatranim sistemom.

Literatura:

[1] Business system planinng, Information System Planinng, Guide, IBM, 1984.

[2] Bilbija M., Beović M., Bobić D., Džafić S.: Arhitektura informacionog sistema za praćenje stanja municije na nivou MFO IV stepena i kanonički model baze podataka podsistema »Praćenje stanja municije«, VTG 5/90.

[3] Uputstvo za sprovođenje pravilnika o standardizaciji i metrologiji u OS SFRJ, SSNO, Beograd, 1990.

Lazar Cvetanović,
pukovnik, dipl. inž.
Mr Zdravko Radišić,
kapetan I klase, dipl. inž.

Višekriterijumski model rotacije vozila na putnoj mreži

U radu se razmatra problem višekriterijumskog izbora elemenata optimalne varijante organizacije prevoženja ljudi ili materijalnih sredstava za slučaj kada sva vozila kreću iz baze, izvrše opslugu u čvorovima i vrate se u bazu. Utvrđuje se minimalan broj vozila i linija prevoza, raspored vozila na linije, redosled obilaska čvorova ,vreme, troškovi, i put opsluživanja. Datim modelima mogu se rešiti brojni praktični problemi saobraćaja i transporta.

Uvod

U svakodnevnoj vojnostručnoj praksi često se javlja problem u vezi sa optimalnom rotacijom više vozila na putnoj mreži. U teoriji transportnih mreža rotacija vozila podrazumeva utvrđivanje najpovoljnijih ruta kojima treba da se kreću transportna sredstva pri obavljanju saobraćajno-transportnih zadataka.

Rotacija transportnih sredstava, kao i većina organizacionih problema na mrežama, pripadaju klasi tzv. kombinatornih problema. Oni mogu biti problemi u vezi sa izborom, raspoređivanjem i/ili nizanjem, ili bilo koja kombinacija ovih problema. Najbolji primer za to jeste organizacija kretanja više teretnih motornih vozila ili autobusa koji kreću sa jednog mesta (baze), »obilaze« određen broj čvorova na mreži, u njima vrše određenu opslugu (ukrcaju-iskrcaju teret ili ljude) i vrate se u bazu. U ovom primeru jasno se ističe problem utvrđivanja minimalnog broja vozila za izvršenje zadatka, raspored ovih vozila na skupove čvorova i redosled kojim će čvorovi u svakom skupu biti opsluženi (projektovanje linija — ruta opsluživanja).

Za rešavanje različitih varijanti problema rotacije primenjuju se različite metode dinamičkog ili kombinovanog programiranja i heuristički algoritmi, (1). U ovom radu biće prikazan jedan od heurističkih alogatama. U najvećem broju radova, koji se bave problemom rotacije transportnih sredstava, preovlađuje jednokriterijumski pristup. S obzirom na suštinu saobraćaja i transporta, složenost uslova u kojima se rešavaju konkretni problemi organizacije kretanja vozila i potrebu da se istovremeno vodi računa o ekonomskim interesima korisnika i organizatora prevoza, jasno je da jednokriterijumski pristup ne daje uvek dovoljno objektivna rešenja. Problemom metoda višekriterijumskog rangiranja klasični model rotacije dograđen je u višekriterijski. U ovom radu korišćena je višekriterijska metoda TOPSIS (Tehnique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) zbog svoje jednostavnosti. Metodu su razvili Hwang i Yonn 1981.

Postavka problema

Neka je data putna mreža u obliku grafa G (B, N, L). Transportna sredstva locirana u bazi B moraju opslužiti N čvorove (C_1, C_2 ..... C_N), povezanih lukovima L_{ij} (i=1, 2, ..., N; j=1, 2, ..., N), i vratiti se posle opsluživanja u bazu B. Svaki čvor potražuje — isporučuje količinu robe V_i (i=1, 2, ..., N) ili neka u svakom od N čvorova postoji zahtev za odvoženjem — dovoženjem

V_i putnika. Transportna sredstva koja opslužuju čvorove imaju kapacitet K. On je veći ili jednak potražnji u bilo kom čvoru ($V_i \leq K$). U tom slučoju, jedno transportno sredstvo može da opslužuje jedan ili više čvorova. Svaki luk okarakterisan je onim obeležjima preko kojih se mogu odrediti vrednosti kriterija izbora optimalne alternative.

Problem koji treba rešiti svodi se na izbor određene alterative organizacije prevoženja (broj vozila i linija prevoza, raspored vozila na linije, redosled obilaska čvorova i vreme prevoza), uz minimizaciju vremena i troškova prevoza. Svakom kriteriju dodeljena je relativna važnost w_j, ($\Sigma w_j = 1$, $j = 1, 2, \ldots, n$).

Model rešavanja problema

Osnovu za rešavanje problema predstavlja Clarke — Wrightov algoritam »ušteda«, (1). Detaljan opis ovog algoritma sa primerom primene jednokriterijskog modela rotacije dat je u (2), i ovom prilikom se neće detaljnije razmatrati. Treba podsetiti da se pojam »ušteda« odnosi na stvarne uštede u vremenu, putu ili troškovima koji se postižu spajanjem parova čvorova (i, j) u jednu rutu, za razliku od opsluživanja pojedinačnih čvorova jednim transportnim sredstvom. Na taj način postižu se uštede U(i, j):

$$U(i, j) = 1(B, i) + 1(B, j) - 1(i, j) \quad (1)$$

gde je:

- — 1(B, i), udaljenost između baze B i čvora i. Udaljenost može imati značenje vremena ili troškova prevoza,
- — 1(B, i), udaljenost između baze B i čvora j,
- — 1(i, j), udaljenost između parova čvorova koji se spajaju u jednu rutu.

Posmatrano sa jednokriterijumskog aspekta minimizacije troškova ili vremena prevoza, ukoliko je veća ušteda U(i, j), utoliko je bolje spojiti čvorove i i j u jednu rutu. Međutim, u višekriterijumskom pristupu određenom paru čvorova (i, j) može odgovarati velika ušteda po jednom priterijumu, a neznatna ušteda po drugom. U tom slučoju neophodno je izvršiti rangiranje svih parova čvorova na osnovu svih kriterijuma istovremeno. Svaki par čvorova (i, j) treba tretirati kao alternativu A_i koja se poredi sa ostalim na osnovu vrednosti koje uzima po izabranim kriterijumima. Rezultat rangiranja svih alternativa uz pomoć metode TOPSIS je objedinjena lista ušteda. U listi su alternative rangirane na osnovu veličine C_i^*.

Metoda TOPSIS zasnovana je na istovremenom merenju rastojanja određene alternative od tzv. *idealnog i negativnog idealnog rešenja.*

Alternative se rangiraju kroz sledeće korake:

Korak 1: Formiranje matrice odlučivanja D.

U matrici odlučivanja D date su vrednosti X_{ij} koje pojedine alternative A_i, $i = 1, 2, \ldots, m$ uzimaju po kriterijumima K_j, $j = 1, 2, \ldots, n$.

Korak 2: Normalizacija vrednosti matrice odlučivanja.

Zbog potrebe eliminisanja dimenzija u kojima se izražava vrednost kriterijuma normalizuje se matrica D u matricu R po formuli:

$$r_{ij} = \frac{W_j X_{ij}}{\Sigma_i X_{ij}} \quad (2)$$

Za određivanje relativne važnosti kriterijuma iskorišćena je metoda analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP), koju je razvio Tomas Saaty, (3). Metoda se realizuje kroz četiri faze, a relativna važnost kriterijuma ocenjuje se u trećoj fazi. Donosilac odluke dodeljuje težine za svaki par kriterija pose-

bno, i to kao meru stepena međusobne dominacije kriterijuma. Za formiranje matrice stepena dominacije kriterijuma, tabela 1, koristi se Saaty — a skala »devet tačaka«, (3).

Tabela 1

Matrica dominacije

Kriteriji	K_1	K_2	.....	K_n
K_1	1	O_{12}	.....	O_{1n}
K_2	O_{21}	1	.....	O_{2n}
⋮	⋮	⋮	.....	⋮
K_n	O_{n1}	O_{n2}	.....	1
TOTAL	ΣO_{j1}	ΣO_{j2}	.....	ΣO_{jn}

Matrica dominacije normalizuje se kroz tri faze:

a) Naći sumu svih elemenata u svakoj koloni (red TOTAL u tabeli 1).

b) Podeliti elemente svake kolone sa sumom elemenata te kolone, koja je dobijena u prethodnom koraku.

c) Naći sumu svih elemenata u svakom redu normalizovane tabele matrice dominacije (kolona K_{n+1} u tabeli 2). Potom treba odrediti srednju vrednost svakog reda (kolona K_{n+2} u tabeli 2). Kolona srednjih vrednosti je, u stvari, normalizovani sopstveni vektor ili relativna važnost kriterijuma.

Korak 3: Određivanje idealnog (A^+)

Idealno i negativno idealno rešenje računaju se prema narednim jednačinama:

$A^+=(\max r_{ij})$ $i=1, 2, \ldots, m$ — za kriterijume koristi

$A^+=(\min r_{ij})$ $i=1, 2, \ldots, m$ — za kriterijume troškova

$$A^+=r_1^+, r_2^+, \ldots, r_n \quad (3)$$

$A^-=(\min r_{ij})$ $i=1, 2, \ldots, m$ — za kriterijume koristi

$A^-=(\max r_{ij})$ $i=1, 2, \ldots, m$ — za kriterijume troškova

$$A^-=r_1^-, r_2^-, \ldots, r_n^-. \quad (4)$$

Kod kriterijuma »koristi« alternativa je utoliko bolja ukoliko po ovom kriterijumu uzima veće vrednosti. U tom slučaju kriterijum ima karakter MAX.

Tabela 2

Normalizovana matrica dominacije

Kriteriji	K_1	K_2	.....	K_n	K_{n+1}	K_{n+2}
K_1	W_{11}	W_{12}	.....	W_{1n}	ΣW_{1j}	$\Sigma W_{1j}/n$
K_2	W_{21}	W_{22}	.....	W_{2n}	ΣW_{2j}	$\Sigma W_{2j}/n$
⋮	⋮	⋮	.....	⋮	⋮	⋮
K_n	W_{n1}	W_{n2}	.....	W_{nn}	ΣW_{nj}	$\Sigma W_{nj}/n$

Kod kriterijuma »troškova« alternativa je utoliko bolja, ukoliko po ovom kriterijumu uzima manje vrednosti. U tom slučaju kriterijum ima karakter MIN.

Rastojanje neke alternative A_i od idealnog rešenja A^+ definiše se kao:

$$S_i^+ = S_j (r_{ij} - r_j^+)^2, \; i = 1, 2, \ldots, m. \quad (5)$$

Rastojanje neke alternative A_i od negativnog idealnog rešenja A^- definiše se kao:

$$S_i^- = S_j (r_{ij} - r_j^-)^2, \; i = 1, 2, \ldots, m. \quad (6)$$

Korak 4: Rangiranje alternativa.

Relativna bliskost posmatrane alternative A_i i idealnog rešenja računa se kao:

$$C_i^* = \frac{S_i^- + S_i^+}{S_i}, \; 0 < C_i^* < 1, \; i = 1, 2 \ldots, m \quad (7)$$

Pošto je $C_i^* = 1$ samo kada je posmatrana alternativa A_i jednaka idealnom rešenju ($S_i^+ = 0$ za $A_i = A^+$) i $C_i^* = 0$ samo za $A_i = A^-$ i $S_i^- = 0$, najbolja je ona alternativa iz skupa $A_1, A_2, \ldots, A_m$ koja ima najveću vrednost C_i^*. Posle proračuna vrednosti C_i^*, potrebno je formirati objedinjenu listu »ušteda« i to na način da se sve alternative A_i poređaju po opadajućim vrednostima C_i^*.

Korak 5: Primeniti Clarke-Wrightov algoritam »ušteda« za projektovanje ruta i odrediti sve elemente organizacije rotacije vozila. Clark-Wrightov algoritam sastoji se od sledećih koraka:

a) Pri razmatranju »uštede« C_i^* odgovarajuću grupu (i, j) uključiti u rutu ako se pri tome ne krši neko od datih ograničenja (kapacitet transportnog sredstva), i:

— ako ni čvor i, ni čvor j nisu uključeni u jednu rutu;

— ako je jedan od čvorova i ili j već uključen u neku od postojećih ruta i ukoliko taj čvor nije unutrašnji čvor u ruti (čvor je unutrašnji ukoliko nije susedni bazi B);

— ako su oba čvora i i j uključeni u dve različite rute i nijedan od tih čvorova nije unutrašnji u tim rutama (oba su spoljna) moguće je spojiti rute u jednu;

b) Ukoliko lista ušteda nije potrošena do kraja, potrebno je vratiti se na korak a) i poći od sledeće neutrošene uštede.

Primer primene višekriterijumskog modela rotacije vozila

Putna mreža prikazana je matricom najkraćih vremenskih rastojanja (tabela 3) i matricom troškova prevoza (ta-

Tabela 3

Matrica najkraćih vremenskih rastojanja

ČVOR	B	2	3	4	5	6	7
B	*	35	25	53	56	74	98
2	35	*	35	88	21	84	63
3	25	35	*	78	56	49	98
4	53	88	78	*	109	86	117
5	56	21	56	109	*	105	42
6	74	84	49	86	105	*	68
7	98	63	98	117	42	68	*

Tabela 4

Matrica troškova prevoza

CVOR	B	2	3	4	5	6	7
B	*	340	620	240	420	600	800
2	340	*	400	500	300	790	630
3	620	400	*	850	600	300	970
4	240	500	850	*	600	800	1000
5	420	300	600	600	*	1000	500
6	600	790	300	800	1000	*	690
7	800	630	970	1000	500	690	*

Tabela 5

Broj putnika koje treba prevesti

CVOROVI	B	2	3	4	5	6	7
Broj putnika, Vi	0	4	7	3	2	6	3

bela 4). Baza sa vozilima nalazi se u čvoru 1 (B=C_1). Čvorovi koje treba opslužiti opnačeni su sa C_2, C_3 ....., C_7. Kapacitet vozila koja opslužuju iznosi K=12 putnika. Broj putnika koje treba ukrcati i prevesti iz čvorova u bazu dat je u tabeli 5. Kriterijumi izbora organizacije rotacije vozila su uštede u vremenu i troškovima. Ovi kriterijumi su dati u pretpostavljenim vremenskim i novčanim jedinicama.

Svi tabelarni prikazi proračuna elemenata organizacije rotacije vozila rađeni su uz pomoć programa Quatro-Pro, u formi »šablona« (templatea).

Razvijeni model testiran je za dva različita slučaja. U prvom slučaju ušteda u vremenu, u odnosu na uštedu u troškovima, za donosioca odluke ima značaj »veoma snažno ka veoma poželjnom«. U Saaty tabeli »devet tačaka« (3), ovakav odnos izražen je veličinama $0_{12}=7, 0_{21}=1/7$, tabela 6.

U drugom slučaju oba kriterija su podjednako značajna. U tabeli »devet tačaka« ovakav odnos izražen je veličinama $0_{12}=0_{21}=1$, tabela 6.

Tabela 6

Matrica dominacije

Slucaj	I		II	
Kriteriji	K1	K2	K1	K2
K1	1	7	1	1
K2	0.17	1	1	1
TOTAL	1.17	8	2	2

Tabela 7

Normalizovana matrica dominacije

Slucaj	I		II		I	II	I	II
Kriteriji	K1	K2	K1	K2	SUM	SUM	W	W
K1	0.8547	0.875	0.5	0.5	1.73	1	0.865	0.5
K2	0.1453	0.125	0.5	0.5	0.27	1	0.135	0.5

Tabela 8

Proračun ušteda u vremenu i troškovima

Alter-native	Par cvorova (i,j)	Usteda u vremenu, K1	Usteda u troskovima, K2
A1	(2,3)	0.035685	0.014623
A2	(2,4)	0.000000	0.002089
A3	(2,5)	0.099917	0.012012
A4	(2,6)	0.035685	0.003917
A5	(2,7)	0.099917	0.013317
A6	(3,4)	0.000000	0.000261
A7	(3,5)	0.035685	0.011489
A8	(3,6)	0.071370	0.024023
A9	(3,7)	0.035685	0.011750
A10	(4,5)	0.000000	0.001567
A11	(4,6)	0.058523	0.001044
A12	(4,7)	0.048531	0.001044
A13	(5,6)	0.035685	0.000522
A14	(5,7)	0.159868	0.018801
A15	(6,7)	0.148449	0.018540
TOTAL		0.865000	0.135000
Karakter kriterija		MAX	MAX
Realtivna vaznost	I slucaj	0.865	0.135
	II slucaj	0.5	0.5

Tabela 10

Idealno i negativno idealno rešenje

IDEALNO RESENJE	A+	0.159868	0.024023
NEGATIVNO IDEALNO RESENJE	A-	0.000000	0.000261

Normalizovana matrica ušteda *Tabela 9*

Alter-native	Par cvorova (i,j)	Usteda u vremenu, K1	Usteda u troskovima, K2
A1	(2,3)	25	560
A2	(2,4)	0	80
A3	(2,5)	70	460
A4	(2,6)	25	150
A5	(2,7)	70	510
A6	(3,4)	0	10
A7	(3,5)	25	440
A8	(3,6)	50	920
A9	(3,7)	25	450
A10	(4,5)	0	60
A11	(4,6)	41	40
A12	(4,7)	34	40
A13	(5,6)	25	20
A14	(5,7)	112	720
A15	(6,7)	104	710
TOTAL		606	5170
Karakter kriterija		MAX	MAX
Realtivna vaznost	I slucaj	0.865	0.135
	II slucaj	0.5	0.5

Konačna objedinjena lista ušteda *Tabela 11*

Alter-native	Par cvorova (i,j)	Si+	Si-	Ci*	RANG Ci*
A1	(2,3)	0.015510	0.001480	0.087093	8
A2	(2,4)	0.026039	0.000003	0.000128	13
A3	(2,5)	0.003738	0.010122	0.730277	2
A4	(2,6)	0.015826	0.001287	0.075195	11
A5	(2,7)	0.004171	0.010154	0.708821	3
A6	(3,4)	0.026122	0.000000	0.000000	15
A7	(3,5)	0.015579	0.001399	0.082429	10
A8	(3,6)	0.007832	0.005658	0.419434	5
A9	(3,7)	0.015572	0.001405	0.082781	9
A10	(4,5)	0.026062	0.000002	0.000065	14
A11	(4,6)	0.010799	0.003426	0.240824	6
A12	(4,7)	0.012924	0.002356	0.154185	7
A13	(5,6)	0.015974	0.001273	0.073836	12
A14	(5,7)	0.000027	0.025901	0.998948	1
A15	(6,7)	0.020104	0.022371	0.526687	4

Tabela 12

Prikaz elemenata organizacije rotacije vozil

I SLUCAJ				
w1=0.865		w2=0.135		
Broj vozila za opslugu	Rute	Vreme izvrsenja prevoza	Troskovi prevoza	Broj putnika
1	B-2-5-7-B	196	1940	9
1	B-4-6-B	213	1640	9
1	B-3-B	50	1240	7
3		459	4820	25
II SLUCAJ				
w1=0.5		w2=0.5		
Broj vozila za opslugu	Rute	Vreme izvrsenja prevoza	Troskovi prevoza	Broj putnika
1	B-5-6-7-B	327	2910	11
1	B-2-3-B	95	1360	11
1	B-4-B	106	480	3
3		528	4750	25

Zaključak

Predloženim višekriterijumskim modelom rotacije više vozila na putnoj mreži mogu se rešiti brojni praktični problemi saobraćaja i transporta (prevoženje materijalnih sredstava, ljudstva, razvoženje ili sakupljanje saobraćajnica sa mesta za regulisanje i kontrolu saobraćaja, prevoženje lica na posao ili sa posla, prevoženje vojnih lica u velikim gradovima na uzbunu, i slično).

Promenom ograničenja, kapaciteta vozila ili vrednosti težina kriterijuma mogu se generisati različite varijante organizovanja prevoženja i utvrditi međuzavisnost uslova i elemenata prevoza (broj vozila, broj linija, vreme, troškovi ili put opsluživanja, raspored opsluživanja).

Literatura:

[1] Teodorović dr D.: Transportne mreže, SITSVJ, Beograd, 1984.

[2] Radišić mr Z., Pintarić D., Polšak V.: Model rotacije vozila na putnoj mreži pri realizaciji transportnih zadataka, VTG br. 3, Beograd, 1990

[3] Čupić M., Rao Tummala V. M.: Savremeno odlučivanje — metode i primena, Naučna knjiga, Beograd, 1991.

Dr Dragutin Jovanović,
major, dipl. inž.

Obim prevoženja, pokretna sredstva i ograničenja — faktori organizovanja železničkog saobraćaja

U radu se sagledavaju uticaji pojedinih faktora na definisanje mogućeg skupa načina orgaiizovanja železničkog saobraćaja u uslovima pojave masovnih tokova tereta i putnika. Posebno se obrađuju parametri obima prevoženja, raspoloživa vučna i vučena sredstva (lokomotive i kola), kao i moguća ograničenja.

Uvod

Vanredne uslove, uglavnom, karakterišu pojave masovnih tokova tereta i putnika. Od železnice se, s obzirom na njene eksploatacione karakteristike, očekuje da zadovolji potrebe društva za masovnim prevoženjem u takvim uslovima.

Opšta je procena da jedan deo naših pruga neće moći da zadovolji takve potrebe s obzirom na karakter pojave masovnih tokova tereta i putnika, stanje železničkih kapaciteta i postojeće organizovanje železničkog saobraćaja. Zato je nužno naći odgovor na pitanje — kako organizovati železnički saobraćaj da bi se takva prevoženja uspešnije obavila.

Put iznalaženja takvog odgovora je u optimizaciji organizovanja železničkog saobraćaja, gde postupak optimizacije podrazumeva izbor najboljeg načina-varijante organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnih tokova tereta i putnika iz skupa mogućih prema utvrđenim kriterijumima.

Skup mogućih načina organizovanja železničkog saobraćaja u definisanim uslovima determinisan je mnoštvom relevantnih faktora. Među uticajnijim faktorima posebno mesto zauzimaju: pruga kao šinski put, njeni tehničko-tehnološki parametri, zahtevani obim prevoženja, raspoloživa vučna i vučena vozila, stepen usklađenosti radnih kolskih i lokomotivskih parkova, kao i mnogobrojna ograničenja.

Radi što kompleksnijeg sagledavanja uticaja pojedinih faktora, u ovom radu su obrađeni obim prevoženja sa svim svojim elementima, raspoloživi vučni i vučeni kapaciteti, kao i potencijalna ograničenja.

Obim prevoženja kao faktor organizovanja železničkog saobraćaja

Obim prevoženja je osnovni element za postavljanje odgovarajuće organizacije saobraćaja. Potrebno je poznavati broj ljudi (žive sile) i količinu tereta koje treba prevesti. Uz to je potrebno poznavati i zahteve nadležnih komandi VJ za vremenom u kojem određena prevoženja treba da se obave.

Pri određivanju obima prevoženja mora se znati, pored tokova tereta i žive sile, merodavna masa voza na dotičnoj pruzi, broj putničkih mesta u vozu, kao i dužina prevoznog puta — pruge (sl. 1).

Obim prevoženja žive sile vozovima za prevoz putnika (putnički saobraćaj) može se utvrditi izrazom:

$$N_{vp} = \frac{A}{a}, \text{ vozova,} \qquad (1)$$

gde je:

A — dnevni tok žive sile,

a — broj putničkih mesta u vozu.

Broj putničkih mesta u jednom vozu može se utvrditi izrazom:

$$a = a_o \frac{Q_{br}}{q_{br}}, \text{ putnika/voz,} \qquad (2)$$

gde je:

a_o — broj putničkih mesta u jednim kolima,

Q_{br} — bruto masa voza, t,

q_{br} — bruto masa jednih kola, t.

Zamenjujući izraz (2) u izrazu (1), obim prevoženja žive sile može se utvrditi sledećim izrazom:

$$N_{vp} = \frac{A \cdot q_{br}}{a_o \cdot Q_{br}}, \text{ vozova.} \qquad (3)$$

Za određivanje obima prevoženja tereta potrebno je tokove tereta pretvoriti u kolske tokove, a njih pretvoriti u broj vozova.

Pretvaranje tokova tereta u tokove tovarenih kola može se izvesti pomoću izraza:

$$U = \frac{P \cdot \gamma_n}{T \cdot P_s}, \text{ kola,} \qquad (4)$$

gde je:

U — veličina kolskog toka — broj tovarenih kola,

P — količina tereta namenjenog prevoženju, nt,

γ_n — koeficijent neravnomernosti,

T — period vremena za koji treba prevesti količinu tereta P, dana,

P_s — prosečno statičko opterećenje jednih kola, t/kola.

Dobijeni kolski tok tovarenih kola, usmeren na određenu prugu, može se pretvoriti u broj vozova sa kojima je moguće obaviti prevoženje pomoću izraza:

$$N_v = \frac{U(q + P_s)}{Q}, \text{ vozova,} \qquad (5)$$

gde je:

N_v — broj vozova potreban za obavljanje prevoženja,

q — prosečna masa — tara praznih kola, t,

Q — prosečna masa jednog teretnog voza, t.

Dati izraz za izračunavanje broja vozova odnosi se na potpuno tovarene vozove, odnosno na vozove bez praznih kola. Takve kategorije vozova su najčešće u primeni kada se radi o masovnim prevoženjima za potrebe VJ. U slučaju da se u sastav tovarenih vozova uvrštavaju i neka od praznih kola (što se može pojaviti pogotovu kada se radi o specifičnim i nedovoljno brojnim vrstama teretnih kola) tada su to vozovi mešovitog sastava. Broj takvih vozova može se izračunati pomoću izraza:

$$N_v = \frac{U_{tp}\left(q + \frac{P_s}{1+\alpha}\right)}{Q}, \text{ kola,} \qquad (6)$$

gde je:

U_{tp} — veličina kolskog toka tovarenih i praznih kola, kola,

α — koeficijent putovanja praznih kola.

Veličina kolskog toka tovarenih i praznih kola, uz poznat koeficijent putovanja praznih kola, izračunava se pomoću izraza:

$$U_{tp} = \frac{P\,(1+\alpha)\,\gamma_n}{T \cdot P_s}, \text{ kola.} \qquad (7)$$

Broj vozova potrebnih za prevoženje određene količine tereta može se dobiti direktnim putem bez pretvaranja tokova tereta u kolske tokove, po-

moću izraza koji se dobije tako što se izraz (7) uvrsti u izraz (6)

$$N_v = \frac{P \cdot \gamma_n \left(\frac{1+\alpha}{P_s} q + 1 \right)}{T \cdot Q}, \text{ vozova.} \quad (8)$$

Broj vozova izračunava se za svaki smer posebno. Period vremena (T) za koji treba prevesti određenu količinu tereta (P) jeste direktni zahtev nadležnih komandi VJ — zahtev višeg nivoa. Ukoliko se zahtev ne može ispuniti pri normalnim uslovima, tada se rešenje može tražiti u povećanju broja kola namenjenih prevoženju.

Sa određenim brojem kola (radnim kolskim parkom) u eksploatacionim uslovima u zahtevanom vremenu T može se prevesti sledeća količina tereta:

$$P = \frac{U \cdot T \cdot P_s}{\gamma_n}, \text{ tona.} \quad (9)$$

Ukoliko se zahtev ne može ispuniti u datim uslovima, tada je rešenje moguće potražiti pored povećanja broja kola, u boljem iskorišćenju njihove nosivosti (povećanje statičkog opterećenja) ili smanjenju neravnomernosti u toku zadatog perioda T.

Na vrednost obima prevoženja železnicom utiče merodavna masa voza. Kod vozova s prevozom putnika, masa voza se određuje prema broju kola u vozu. Prilikom određivanja sastava takvih vozova i njihove mase, uvek se ostavlja mogućnost da se sastav voza pojača određenim brojem kola. Masa voza sa prevozom ljudstva (putnika) određuje se nakon određenja marš-rutne, odnosno tehničke brzine voza. Masa i brzina takvih vozova osnovni su parametri za optimalnu organizaciju saobraćaja vozova sa prevozom putnika. Marš-rutna brzina se određuje s obzirom na kategoriju voza i tehničku opremljenost određenog pružnog pravca. Nakon određene marš-rutne brzine utvrđuje se broj zaustavljanja i vreme njihovog zadržavanja i na osnovu toga se izračunava srednja tehnička brzina prema izrazu:

$$V_{\check{c}t}^{sr} = \frac{L_m}{\frac{L_m}{V_m} - \Sigma t_{st} - \Sigma \tau_{uk}}, \text{ km/h,} \quad (10)$$

gde je:

L_m — dužina pruge na kojoj se odvija saobraćaj vozova, km;

V_m — marš-ruta brzina voza, km/h;

Σt_{st} — ukupno vreme zadržavanja voza u stanicama, h;

$\Sigma \tau_{uk}$ — ukupno vreme utrošeno na ubrzavanje i kočenje vozova na posmatranoj pruzi, h.

Na osnovu izračunate srednje tehničke brzine, određenog merodavnog uspona i odabrane vrste lokomotive proračunava se masa putničkog voza prema izrazu [1]:

$$Q_p = \frac{F_{\check{c}t} - L(W_{ol} + i_m)}{W_{ok} + i_m}, \text{ t,} \quad (11)$$

gde je:

$F_{\check{c}t}$ — vučna sila lokomotive koja odgovara srednjoj tehničkoj brzini — $V_{\check{c}t}$, daN,

L — adheziona masa lokomotive, t,

W_{ol} — specifični otpor lokomotive pri $V_{\check{c}t}$, daN/t,

i_m — merodavni uspon (otpor) pruge, daN/t,

W_{ok} — specifični otpor kola u vozu pri $V_{\check{c}t}$, daN/t.

S obzirom na to da ovako proračunata masa voza uslovljava njegovu dužinu, treba je uskladiti sa dužinom staničnih koloseka. U normalnim mirnodopskim uslovima prevoženja dužinu voza treba uskladiti, ne sa dužinom staničnih koloseka, već sa dužinom perona s obzirom na udobnost opsluživanja putnika.

Pod merodavnom, odnosno optimalnom masom teretnog voza, podrazumeva se maksimalno moguća masa na

određenoj pruzi. Masa voza sastoji se od mase vučnih i vučenih vozila:

$$Q_v = Q_l + Q_k, \text{ t}, \quad (12)$$

gde je:

Q_l — masa vučnih vozila, t,

Q_k — masa vučenih vozila, t.

S obzirom na to da se na masu vučnih vozila (lokomotiva) u eksploataciji ne može uticati (pogotovu kod savremenih električnih i dizel-lokomotiva), za organizaciju železničkog saobraćaja merodavna je masa vučenih vozila (kola).

Maksimalna masa voza, odnosno granično dopuštena masa voza na određenoj pruzi, podrazumeva bruto-masu svih vozila u vozu izuzev radne lokomotive.

Ona se izračunava na osnovu:

— vučne sposobnosti lokomotive,

— tehničkih karakteristika kola,

— merodavnih karakteristika pruge i staničnih koloseka.

Imajući to u vidu, merodavna (optimalna) masa teretnih vozova na određenoj pruzi izračunava se prema sledećim elementima:

— dužini staničnih koloseka, odnosno najvećem dopuštenom broju osovina;

— opterećenju lokomotive prema merodavnom otporu pruge;

— opterećenju lokomotive pri pokretanju vozova s mesta;

— naprezanju teglećih uređaja;

— sigurnosti kočenja na padovima.

Prema najvećoj dopuštenoj dužini staničnih koloseka, odnosno najvećem dopuštenom broju osovina, merodavna masa voza određuje se prema izrazu:

— za voz sastavljen od tovarenih i praznih kola (voz mešovitog sastava);

$$Q_m = m_o\left(q + \frac{Pd}{1+\alpha}\right), \text{ t}, \quad (13)$$

— za voz sastavljen od tovarenih kola:

$$Q_m = m_o\,(q + P_d), \text{ t}, \quad (14)$$

— za voz sastavljen od praznih kola:

$$Q_m = m_o \cdot q, \text{ t}, \quad (15)$$

gde je:

m_o — najveći dopušteni broj osovina kod jednog voza, u zavisnosti od dužine staničnih koloseka,

q — prosečna tara jedne osovine, t,

P_d — prosečno dinamičko opterećenje jedne osovine tovarenih kola, t/osovini.

Najveći dopušteni broj osovina kod jednog voza utvrđuje se na osnovu maksimalno dopuštene dužine voza i prosečnog rastojanja između osovina, odnosno:

$$m_o = \frac{L_{vmax}}{l_o}, \text{ osovina}. \quad (16)$$

Za određivanje najvećeg dopuštenog broja osovina merodavna je stanica sa najmanjom korisnom dužinom koloseka na posmatranoj pruzi.

Merodavna masa voza u odnosu na opterećenje lokomotive prema merodavnom otporu pruge određuje se prema izrazu:

$$Q_i = \frac{F_t - (W_{ol} + i_m \cdot L)}{W_{ok} + i_m}, \text{ t}, \quad (17)$$

gde je:

F — vučna sila za (kritičnu) trajnu brzinu, daN,

W_{ol} — osnovni ukupni otpor lokomotive za (kritičnu) trajnu brzinu, daN,

i_m — merodavni otpor pruge. daN/t,

L — masa lokomotive, tona,

W_{ok} — osnovni specifični otpor kola u vozu za (kritičnu) trajnu brzinu, daN/t.

Merodavna masa voza u odnosu na opterećenje lokomotiva pri pokretanju voza s mesta određuje se prema izrazu:

$$Q_{pk}=\frac{1{,}10\cdot F_a-W_{ol}+L(i_m+W_{ub})}{W_{ok}+i_m+W_{ub}},\ t, \quad (18)$$

gde je:

F_a — adheziona vučna sila, daN,
1,10 — povećanje adhezione sile peskarenjem,
W_{ub} — specifična sila potrebna za ubrzanje, daN/t,
W_{ok} — osnovni specifični otpor kola u vozu pri pokretanju (za V=0), daN/t.

Merodavna masa voza u odnosu na naprezanje teglećih uređaja na usponima određuje se prema izrazu:

$$Q_u=\frac{F_k}{i_m+5},\ t, \quad (19)$$

gde je:

F_k — najveća dopuštena vučna sila s obzirom na naprezanje teglećeg uređaja, daN.

Ova masa zavisi od veličine vučne sile, koja se može ostvariti na kuki tegljenika, s obzirom na dopušteno naprezanje teglećeg uređaja, čije su vrednosti za razne otpore pruge dati u izvoru [2]. U istom izvoru propisana je masa voza s obzirom na sigurnost kočenja na padovima ($Q_{kč}$).

Merodavna (optimalna) masa teretnih vozova je najmanja od svih navedenih masa, odnosno:

$$Q_{opt}=\min\{Q_m, Q_i, Q_{pk}, Q_u, Q_{kč}\},\ \text{tona}. \quad (20)$$

Raspoloživa vučna i vučena vozila kao faktor organizovanja železničkog saobraćaja

Za organizaciju železničkog saobraćaja u uslovima masovnih prevoženja izuzetno važan faktor predstavljaju raspoloživa vučna i vučena vozila, jer se u tim uslovima javlja potreba za obezbeđenjem većeg broja tih sredstava u relativno kratkom vremenu i na ograničenim pružnim kapacitetima.

Sa aspekta organizacije saobraćaja vozova, a naročito organizacije vuče vozova, značajne su sledeće karakteristike vučnih vozila (lokomotiva):

— vučna sila lokomotive,
— opterećenje po osovini,
— najveća dopuštena brzina,
— broj osovina i dužine lokomotive,
— ukupna masa lokomotive,
— adheziona težina,
— kritična brzina.

Za poznati obim saobraćaja, potreban broj vučnih vozila za vuču vozova može se dobiti pomoću izraza:

$$M_v=K\cdot N,\ \text{vučnih vozila}, \quad (21)$$

gde je:

K — koeficijent potrebe vučnih vozila,
N — broj pari vozova.

Koeficijent potrebe K predstavlja obrt vučnog vozila izražen u danima, odnosno:

$$K=\frac{Q_l}{24} \quad (22)$$

S obzirom na stanje našeg parka vučnih sredstava i potrebu redovnog tehničkog održavanja, broj vučnih vozila za vuču vozova mora se uvećati za onaj broj vučnih sredstava koji se nalazi na nekom vidu održavanja, odnosno:

$$M=M_v+M_{op},\ \text{vučnih vozila}, \quad (23)$$

gde je:

M — ukupan broj vučnih vozila radnog parka,
M_{op} — broj vučnih vozila na nekom od vidova redovnog održavanja.

Pored ovako dobijenog broja vučnih vozila za vuču vozva mora se voditi računa i o obezbeđenju dovoljnog broja vučnih vozila za ostvarenje višestruke vuče na deonicama pruge koje svojim karakteristikama to zahtevaju.

Potreban broj vučenih sredstava (kola) za izvršenje zadatka dobija se na osnovu veličine kolskog toka tovarenih kola.

Sa aspekta korišćenja kola, a time i organizacije saobraćaja vozova, značajne su određene tehničke i eksploatacione karakteristike kola. Od tehničkih karakteristika moraju se poznavati:

— vrsta i tip teretnih kola,
— vrsta kočnice,
— vrsta kvačila,
— broj osovina.

Od eksploatacionih karakteristika značajne su sledeće karakteristike teretnih kola:

— nosivost kola,
— sopstvena masa (tara),
— bruto masa kola po jednom dužnom metru,
— odnos tare kola prema nosivosti (koeficijent tare),
— specifičan otpor kola.

Radi racionalne organizacije saobraćaja mora postojati određena usklađenost između vučnih i vučenih sredstava, a to znači da se za pokretanje određenog broja vozova, odnosno kola, mora obezbediti dovoljan broj lokomotiva. Ukoliko se ne može obezbediti dovoljan broj lokomotiva, jedan deo kolskog parka će stajati po stanicama, što u uslovima izvođenja borbenih dejstava može predstavljati unosan stacionarni cilj.

Pri određivanju radnog kolskog parka mora se uzeti u obzir i broj lokomotiva. Proračun potrebnog broja vučnih vozila za vuču teretnih vozova i njegovo usklađivanje sa radnim parkom kola može se sprovesti sledećim postupkom [3, 4]:

— potrebna veličina radnog parka lokomotiva za vuču teretnih vozova dobija se pomoću izraza:

$$M_v = \frac{U \cdot l\,(1+\beta)\,\sigma_l}{2 \cdot 24 \cdot L \cdot m}, \text{ lok,} \qquad (24)$$

gde je:

$U \cdot l$ — veličina kolskih kilometara, kola · km,
β — koeficijent sporednog rada vučnih vozila,
σ_l — obrt lokomotive, h,
L — dužina vučnog sektora, km,
m — broj kola u vozu.

— rešavanjem izraza prema veličini rada (U) dobija se:

$$U = \frac{2 \cdot 24 \cdot L \cdot m \cdot M_v}{l\,(1+\beta)\,\sigma_l}, \text{ kola,} \qquad (25)$$

— zamenom vrednosti U i σ u izrazu $n_r = U \cdot \sigma$ dobija se:

$$n_r = \frac{2 \cdot 24 \cdot L \cdot m \cdot M_v}{l\,(1+\beta)\,\sigma_l}\,\sigma, \text{ kola} \cdot \text{dan,} \qquad (26)$$

— zamenom vrednosti za obrt kola $\left(\sigma = \frac{1}{24\,V_k} + \frac{1}{L_{teh}} \cdot \frac{t_{teh}}{24} + \frac{K_{ui} \cdot t_{ui}}{24}\right)$ i obrt lokomotiva $\left(\sigma_l = \frac{2 \cdot L}{V_k} + t_{mat} + t_{ob}\right)$ dobija se:

$$n_r = \frac{2 \cdot 24 \cdot L \cdot m \cdot M_v}{l\,(1+\beta)\left(\frac{2L}{V_k} + t_{mat} + t_{ob}\right)} \cdot \sigma \qquad (27)$$

— ukoliko se iz ove jednačine uzme da je:

$$A = \frac{2 \cdot 24 \cdot m \cdot L}{l\,(1+\beta)\left(\frac{2L}{V_k} + t_{mat} + t_{ob}\right)}, \text{ kola/lok.} \qquad (28)$$

dan.

Dobijeni izraz A predstavlja veličinu rada na jedan raspoloživi dan lokomotive, uz određene uslove korišćenja kola i lokomotiva.

Prema tome, izraz za vezu radnog kolskog i lokomotivskog parka je:

$$n_r = A \cdot \sigma \cdot M_v, \text{ kola dana.} \quad (29)$$

Ograničenja kao faktor organizovanja železničkog saobraćaja

Ograničenja predstavljaju razni faktori koji, na neki način, mogu uticati na izbor načina organizovanja železničkog saobraćaja na određenoj pruzi u uslovima masovnih tokova tereta. Ograničenja kod izbora odgovarajućeg načina organizovanja železničkog saobraćaja u suštini proizilaze iz samih faktora koji utiču na organizovanje železničkog saobraćaja.

Kao ograničenja pri organizovanju železničkog saobraćaja pojavljuju se pojedini elementi pruge, kao, na primer: stanični koloseci, sigurnosna i telekomunikaciona oprema, i sl.

Pojedini tehničko-tehnološki parametri pruge predstavljaju odgovarajuća ograničenja pri organizovanju železničkog saobraćaja. Tako, na primer, uzdužni profil sa veličinom svojih pojedinih elemenata, kao što je nagib, direktno stvara mogućnost organizovanja železničkog saobraćaja putem višestruke vuče. Značajno ograničenje predstavlja i sama propusna moć pruge.

Obim prevoženja, odnosno pojedini njegovi elmenti, mogu biti značajnija ograničenja. Od tih elemenata kao ograničenja često se mogu pojaviti tereti, dužina pruge, a naročito zahtevi nadležnih komandi, odnosno zahtevi višeg nivoa. Značajnije ograničenje koje može proizaći iz zahteva višeg nivoa moglo bi biti vreme, odnosno rok za obavljanje prevoženja.

Raspoloživa vučna i vučena vozila, kao i usklađenost radnih parkova, mogu predstavljati znatno ograničenje pri organizovanju železničkog saobraćaja u uslovima prevoženja masovnih tokova tereta.

Zaključak

Obim prevoženja u radu je posmatran kao osnovni element za postavljanje odgovarajuće organizacije saobraćaja u uslovima pojave masovnih tokova tereta i putnika. Znatan uticaj na izbor načina organizovanja železničkog saobraćaja u datim uslovima ispoljavaju pojedini elementi obima prevoženja, i to: zahtevi nadležnih komandi za prevoženjem, tereti i merodavna masa voza, živa sila i broj putničkih mesta u vozu, kao i dužina prevoznog puta-pruge.

Sama priroda definisanih uslova rezultira potrebu za obezbeđenjem većeg broja vučnih i vučenih sredstava u relativno kratkom vremenu i na ograničenim pružnim kapacitetima. Broj vučnih i vučenih vozila određen je potrebnim obimom prevoženja. Usklađenost tih kapaciteta osnovni je preduslov racionalne organizacije saobraćaja vozova.

Na izbor načina organizovanja železničkog saobraćaja u datim uslovima značajan uticaj ispoljavaju određena ograničenja koja proizilaze iz samih faktora ogranizovanja. Kao značajnija ograničenja mogu se pojaviti pojedini elementi pruge, njeni tehničko-tehnološki parametri, i sl.

Literatura:

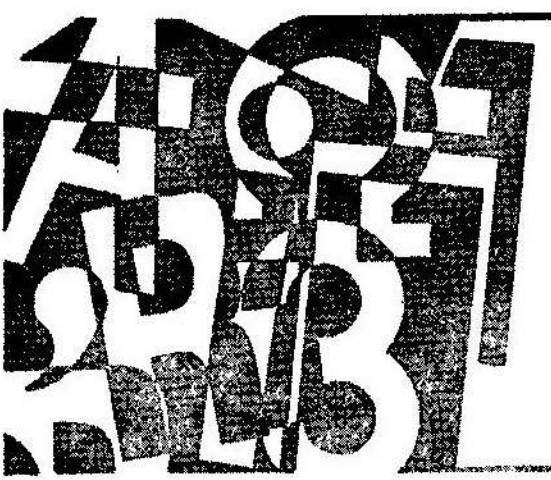
[1] Čičak, M. i Eror, S.: Organizacija železničkog saobraćaja, Naučna knjiga, Beograd, 1978.

[2] Uputstvo o tehničkim normativima i podacima za izradu i izvršenje voznog reda, ZIŽ, Beograd, 1988.

[3] Kovačević, P.: Eksploatacija železnica, Zavod za NIP delatnost JŽ, Beograd, 1988.

[4] Eror, S.: Organizacija železničkog saobraćaja I, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1989.

[5] Jovanović, D.: Optimizacija organizacije železničkog saobraćaja pri masovnim prevoženjima za potrebe Oružanih snaga, doktorska disertacija, CVTŠ KoV JNA-Zagreb, Zagreb, 1991.



prikazi iz inostranih časopisa

Modernizacija sistema veza i komandovanja* u oružanim snagama ruske federacije

Na sadašnjoj etapi transformacije oružanih snaga dolazi do razvojnog procesa sredstava, oblika i metoda oružane borbe, uslovljenih sovjetskom odbrambenom doktrinom. U okvirima vojne reforme koja će se sprovesti povlače se jedinice iz zemalja istočne Evrope, smanjuju se oružane snage SSSR-a, menja se grupisanje jedinica. U skladu sa tim definišu se i razvijaju se vojni sistemi komandovanja i veza. Međutim, proces njihovog usavršavanja nailazi na određene poteškoće, uslovljene tehničkim nivoom razvijenosti opštedruštvenog sistema veza i sporim osvajanjem novih informatičkih tehnologija u zemlji. Osim toga, postojeći sistemi veza u zemlji, Ministarstvu odbrane i drugih nadleštvima su funkcionalno rasscepkani. To otežava njihovu centralizovanu upotrebu u interesu upravljanja privredom i odbranom. Svako ministarstvo i nadleštvo, stvarajući svoje sisteme, slabo ih je uvezivalo u jedinstveni automatizovani sistem veza zemlje (EASS). Izdvajani u ove svrhe, tehnički, ljudski i finansijski resursi nisu uvek efikasno korišćeni, a naučne razrade često su vršene paralelnim pravcima. Kao rezultat novi sistemi veza i automatizacije pokazuju se nekompatibilni između nekih delova, što izaziva neophodnost postavljanja na spojevima sistema veza po nadleštvima velike količine spojnih aparatura. Naravno da pri takvom prilazu izdvojena kapitalna ulaganja ne donose očekivani efekt. Time više je razorno i nesvrsishodno produžavati modernizaciju veza u zemlji samo na osnovu principa po nadleštvima i to u uslovima prelaska na tržišnu ekonomiju i pri tome stvorenoj ekonomskoj situaciji.

Nedovoljan nivo razvoja sistema veza postao je kočeći faktor u rešavanju zadataka u kompleksnoj informatici društva.

Modernizacija ovih sistema u zemlji moguća je samo odstupanjem od usko parcijalnog prilaza, objedinjavanjem potencijala Ministarstva odbrane, Ministarstva veza, drugih ministarstava i nadleštava u okviru opštedruštvenog programa izgradnje u zemlji jedinstvene automatizovane mreže razmene informacija na bazi nacionalne digitalne

*) Prema podacima iz časopisa »Tehnika i vooruženie« br. 5/91.

mreže veza i integracijom usluga, koja će u najvećem stepenu moći udovoljiti zahtevima upravljanja privredom i oružanim snagama. Specijalne mreže veza pod nadleštvom neophodno je razvijati po jedinstvenoj koncepciji, uz korišćenje unificiranog asortimana programskih i tehničkih sredstava.

Sastavni deo ove mreže biće jedinstveni informaciono-tehnički sistem oružanih snaga. Osnova njegove postavke biće teritorijalni princip, koji podrazumeva korišćenje svih postojećih resursa veze na određenoj teritoriji u interesu svih razmeštenih potrošača na toj teritoriji, nezavisno od njihove parcijalne pripadnosti. Osim toga, on predviđa unificirana sredstva, komplekse veza i ASK vidova oružanih snaga i rodova vojske, provođenje jedinstvene sistematske i tehničke politike, a takođe jedinstveno upravljanje svim resursima vojnih veza, te racionalnije korišćenje industrijskog potencijala za njihovu proizvodnju.

Sprovedeni eksperimenti potvrdili su visoku efikasnost nove strukture.

Važna uloga u formiranju jedinstvenog informaciono-tehnološkog sistema oružanih snaga pripada postojećim mrežama za predaju informacija, koje su namenjene radi razmene svih oblika sapoštenja u sistemima komandovanja jedinicama, snagama flote i oružjima. Prema vrsti predavane informacije ove mreže se dele na telefonske, telegrafske, faksimilske i mreže za razmenu podataka. Već sada je njihovo pojedinačno učešće i razvoj otežan. Zbog toga je, s prelaskom na automatizovane sisteme komandovanja i veze, predviđeno organizaciono-tehničko objedinjavanje postojećih mreža iste namene za predaju informacija u vidovima oružanih snaga i Generalštaba i njihovo stvaranje u interesu mreže opšte namene. U sadašnje vreme postoje dve osnovne mreže za predaju informacija: mreža za razmenu podataka s komutacijom saopštenja i automatizovana mreža telefonske veze s komutacijom kanala.

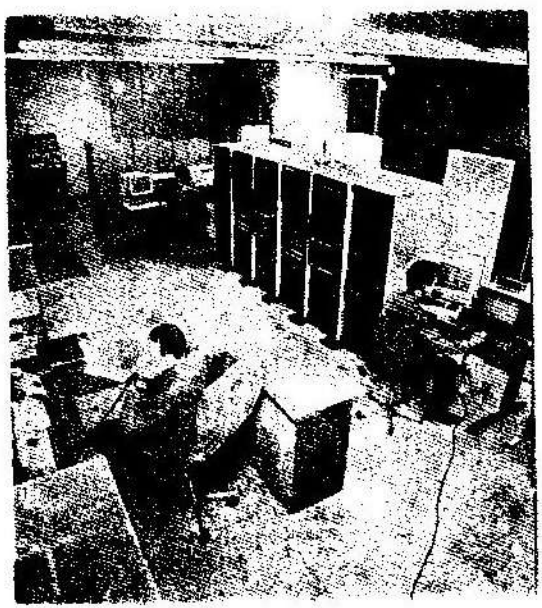
Deo njihovih resursa koristi se za organizaciju automatizovane razmene odgovarajućeg obima dokumenata (telefonske veze) i predaju tekstualnih informacija. Isto tako, uzimajući u obzir narasla trebovanja prema vezi i informacionom obimu, i njihovu uslovljenost praktičnom realizacijom odbrambene vojne doktrine i razvojem sredstava i metoda oružane borbe, neophodno je dalje usavršavanje mreže za predaju informacija u smeru povećanja popusne moći, sigurnosti, te proširenja kruga korisnika. Pri određivanju perspektiva razvoja ovih mreža neophodno je imati u vidu da njihove potencijalne mogućnosti u znatnom stepenu zavise od stanja i tehničkog nivoa primarne mreže, sa krajnje ograničenim mogućnostima.

U ovim uslovima vojnih veza treba da dođe do prelaza od podeljenih struktura informacionih mreža ka stvaranju automatizovanih sistema, koji predstavljaju jedinstvenu transportnu mrežu za razmenu svih vrsta informacija na bazi zajedničke primarne mreže.

Analiza perspektive razvoja sistema i sredstava veze u našoj zemlji i u inostranstvu, pokazala je da korenito poboljšanje tehničkog nivoa veza Oružanih snaga može biti postignuto u automatizovanim sistemima veze, koji se baziraju na digitalnim metodima i načinima predaje svih vrsta informacija. Korišćenje ovih metoda obrade signala i digitalne tehnike doprinosi povećanju osnovnih karakteristika sistema veza, obezbeđuje mogućnost stvaranja automatizovanih komutacionih mreža, adaptivnih sredstava radio-veza i mreža kosmičke, troposferske i radio-relejne veze s povećanjem zaštite od smetnji. Na bazi uvođenja digitalnih metodd predaje svih vrsta informacija može se izvršiti smanjenje asortimana sredstava veze i ASK na bazi zajedničkih funkcija formiranja kanala, komutacije, komandovanja i kriptozaštite u jedinstvenim tehničkim uređajima. To će omogućiti unifikaciju sredstava veze i komandovanja u okviru oružanih snaga.

Zbog toga se digitalne veze sa širokom automatizacijom procesa njihove realizacije smatraju fundamentalnom osnovom za usavršavanje sistema vojnih veza.

Jedan od puteva formiranja jedinstvenog informaciono-tehničkog sistema je, takođe, integracija sistema veza i automatizacije različitih namena. Uzimajući to u obzir, pojaviće se problem obezbeđenja njihove kompatibilnosti (uvezivanja), pošto imaju svoju specifiku izrade, algoritme finkcionisanja, programsko obezbeđenje, informatičke jezike i različitu tehnološku bazu. Pod kompatibilnošću sistema u ovom slučaju treba shvatiti strogo propisana sveukupna pravila, algoritme, formate, procedure razmene, čije izvršenje obezbeđuje automatsko informaciono-tehničko uzajamno dejstvo sistema veza i AKS različite namene bez dodatnih uređaja za sprezanje. Primena u jedinstvenom informacionotehničkom sistemu značiće unifikaciju aparatura u izradi, njihovu uzajamnu zamenljivost putem formiranja unificiranih nizova tehničkih sredstava po celoj dubini sistema veza i ASK svih nivoa komandovanja. Stvaranje jedinstvenog informaciono-tehničkog sistema oružanih snaga nemoguće je bez modernizacije sredstava automatizovanog komandovanja Pri tome su osnovni zadaci skraćivanje vremena prikupljanja, obrade i analize podataka o operativno-strategijskoj situaciji, prognoziranje njenog razvoja, izrada optimalnih preporuka za komandovanje jedinicama i snagama flote. Pri tome, moraju se širiti tehničke mogućnosti: sistema kontrole, izviđanja, obaveštavanja i upoznavanja, obima primljenih podataka, kao i pokazatelja i faktora situacije, daljeg usavršavanja metoda za njihovu kompleksnu obradu, povišavanju vernosti raspoznavanja stvorenih operativnih uslova i situacije.



Sl. 1 — Odelenje automatske obrade informacija

Na savremenoj etapi razvoja vojne misli poseban značaj dobijaju pitanja organizacije međusobnog sadejstva raznorodnih rodova i vidova, efikasnog komandovanja njihovim dejstvima u skladu s opštim ciljevima i zadacima. Rešenje ovog problema može biti obezbeđeno samo na bazi široke kompatibilnosti automatizovanih sistema komandovanja. Osnovni pravci daljeg razvoja su: povećanje produktivnosti i pouzdanosti kompleksa sredstava automatizacije komandnih mesta, sistema za predaju podataka i kanala veze, unifikacija tehničkih i programiranih sredstava, obezbeđenje informacione kompatibilnosti ASK, stvaranje lokalnih i distributivnih automatizovanih banaka podataka. Na to će uticati i povećanje nivoa opremljenosti organa i komandnih mesta sa personalnim ER na bazi lokalnih računarskih mreža; osvajanje i uvođenje nove informatičke tehnologije, koja uključuje sredstva i sisteme veštačkog intelekta, koncepciju banke znanja i ekspertskih sistema.

Osim toga, jedan od glavnih pravaca razvoja ASK je povećanje njegove žilavosti do nivoa koji obezbeđuje sigurno i neprekidno komandovanje u svim uslovima operativne situacije.

Uzimajući u obzir korenit karakter promena, do kojih je došlo u vojnoj

misli, dalji razvoj veza i AKS mora biti usmeren ka širem korišćenju najnovijih dostignuća u oblasti razvoja sredstava veze i sistema za obradu informacija, predaje podataka i veze. Zajedno s tim, radikalna ekonomska reforma, prelaz na tržišne odnose, kao i konverzija u industriji postavili su niz novih problema u opremanju vojske savremenim sredstvima veze i automatizacije. U takvoj situaciji, kao nikada, važan je netradicijski inženjersko-ekonomski pristup pitanjima organizacije, razvoja i isporuke novih sredstava veze i automatizacije. Pored ostalog, svrsishodno je preći na razvoj aparatura opšte namene, koje su primenljive kako u vojnim sistemima veze, tako i u sistemima izgrađenim za potrebe narodne privrede zemlje. Analiza pokazuje da se 60% tehničkih sredstava može proizvoditi po jedinstvenim zahtevima vojnih i civilnih naručilaca, a preostalih 40% uz uvažavanje njihovih specijalnih zahteva.



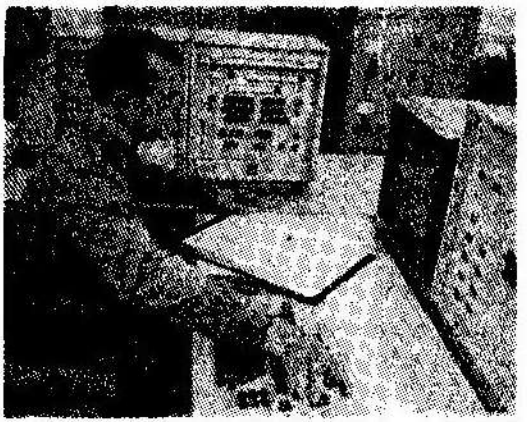
Sl. 2 — Provera opreme za opslužívanje korisnika koordinatne ATC

To bi omogućilo dugoročno finansiranje razvoja od strane zainteresovanih naručilaca i, na taj način, uklapanje u izdvojena finansijska sredstva Ministarstva odbrane. Stvaraju se, takođe, pogodni uslovi za unifikaciju tehničkih i programskih sredstava i, u konačnom ishodu, informaciona i tehnička kompatibilnost sistema veza različitih namena. Realizacija takvog prilaza doprineće naglom smanjenju asortimana tehničkih sredstava, vremena njihove izrade i cene, snižavanju troškova za osvajanje i pripremu proizvodnje. U znatnoj meri pojednostaviće se održavanje i remont sredstava.



Sl. 3 — Provera spremnosti televizijske opreme za rad

Kvalitativne promene, koje nastaju u oblicima i načinima oružane borbe, složenost sredstava i kompleksa veze i automatizovanih sistema upravljanja vatrom, koji poslednjih godina ulaze u naoružanje, traže povećane zahteve za pripremu ličnog sastava. Saglasno iznetoj koncepciji, neophodno je već sada pripremiti stručnjake za eksploataciju tehnike u sastavu teritorijalnog sistema veza oružanih snaga. Takvom zadatku pristupili su u sadašnje vreme viša vojna učilišta jedinica veze. Pri tome se njihova materijalno-tehnička baza mora sistematski usavršavati, uzimajući u obzir promene u organizaciono-formacijskoj strukturi i taktici dej-



Sl. 4 — Kontrola tehničkog stanja uređaja

stava jedinica i sastava veze, kao i uvođenja novih metoda obuke. Odgovornost zadataka, koje izvršavaju sastavi i jedinice veze u sistemu komandovanja jedinicama, postavlja povećane zahteve za kvalitet ličnog sastava pri njihovoj popuni.



Sl. 5 — Komandno odelenje čvora veze

Pakozuje se da je to svrsishodno sprovoditi na profesionalnoj osnovi. Međutim, stvoreni socijalno-ekonomski položaj u zemlji, kao što se vidi, neće to omogućiti u skorije vreme. Zbog toga, popuna jedinica veze sprovodiće se na osnovu Zakona o opštoj vojnoj obavezi i delimično po ugovoru.

U zaključku je neophodno napomenuti da će rešavanje problema modernizacije veze u uslovima vojne reforme i konverzije industrijske proizvodnje omogućiti kvalitativno povećanje parametara komandovanja oružanim snagama, učvršćenje njihove borbene i mobilizacijske gotovosti.

Sredstva za razminiranje aerodrom a u zapadnim zemljama*)

Prema usvojenim odredbama u okviru NATO jedan od važnih elemenata za postizanje nadmoći u vazduhu, pored uništenja protivničkih aviona na zemlji i u vazdušnom prostoru, jesu snažni i iznenadni udari po njegovim aerodromima. Zbog toga su skoro sve zemlje-članice NATO razvile i uvele u naoružanje specijalna ubojna sredstva, uglavnom kasetnog tipa, za dejstvo po aerodromima. Veći deo ovih ubojnih sredstava predstavljaju male protivbetonske bombe za uništenje poletno-sletnih staza (PSS) i aviona i helikoptera u zaklonima, a tu su i mine kružnog i usmerenog dejstva za izbacivanje iz stroja tehničkih sredstava vazduhoplovstva, vozila i žive sile na zemlji. Smatra se da jednovremeno bombardovanje i miniranje usporavaju za 2—3 puta dovođenje aerodroma u operativno stanje. Mnoga nova takva ubojna sredstva su u završnim fazama razvoja, a neka od njih su prošla kroz praktičnu proveru u zalivskom ratu i dobila su pozitivnu ocenu komande međunarodnih snaga.

Istovremeno, snage NATO nastoje da maksimalno obezbede svoje vazduhoplovne baze od udara protivnika sličnim ubojnim sredstvima. Američki vojni stručnjaci smatraju da je za postizanje uspeha borbenih dejstava avijacije potrebno ne samo da se protivnik onemogući da ograniči poletanje i sle-

*) Prema podacima iz časopisa „Зарубежно военное обозрение", 9/1991.

tanje aviona NATO ili da dejstvuju sa razorenih PSS, već i da se preduzmu sve neophodne mere da se obezbedi pravovremeno dopunjavanje aviona gorivom i ubojnim sredstvima, kao i tehničko održavanje aviona između dva borbena zadatka.

U RV SAD smatra se da je održavanje operativnosti vazduhoplovnih baza zadatak broj jedan, za čiju je realizaciju potrebna razrada specijalne strategije, u kojoj se vazduhoplovna baza smatra kao sistemom oružja ili kompleksnim sistemom obezbeđenja (snabdevanja). U fazi razvoja ove koncepcije u američkom RV su počeli sprovođenje niza mera za stvaranje uslova za osposobljavanje ljudstva vazduhoplovnih jedinica SAD i njihovih saveznika da za najkraće vreme ponovo osposobe ključne vazduhoplovne baze koje su napale protivničke snage. Pri tome se uvežbavaju osnovni principi i metodologija rada, način obuke, a jednovremeno se utvrđuju potrebe u sredstvima i opremi.

Iz strane vojne literature može se videti da postoje sledeći osnovni pravci obezbeđenja borbene sposobnosti vazduhoplovnih baza:

— odbrana od protivničkih udara iz vazduha i sa zemlje, uključujući napade hemijskim ubojnim sredstvima;

— poboljšanje zaštite objekata i instalacija u vazduhoplovnim bazama, najvećim delom različitim vrstama maskiranja i dovođenjem protivnika u zabludu;

— rekonstruisanje razorenih i izbačenih iz stroja najvažnijih objekata i instalacija, uključujući pronalaženje i dezaktiviranje mina i neeksplodiranih ubojnih sredstava za što je moguće kraće vreme;

— obezbeđenje normalnih borbenih delatnosti vazduhoplovne baze u zahtevanom režimu.

Osnovni obim naznačenih radova treba da preduzmu inžinjerijske jedinice RV koje, u slučaju hitnosti, mogu da budu ojačane specijalizovanim inžinjerijskim jedinicama KoV. Formacijske jedinice RV imaju zadatak da preduzimaju mere za istraživanje i neutralisanje ubojnih sredstava i mina. Osnovne kategorije sredstava za razminiranje aerodroma u naoružanju inžinjerijskih jedinica RV zapadnih zemalja su:

Sredstva za istraživanje mina i neeksplodiranih ubojnih sredstava

Inžinjerijske jedinice RV imaju identična sredstva za iznalaženje mina i neeksplodiranih ubojnih sredstava kao i jedinice KoV. To su, uglavnom, prenosni i prevozni minoistraživači i bomboistraživači (još ih nazivaju dubinski minoistraživačima). U nizu slučajeva mogu se koristiti i mala vozila sa daljinskim upravljanjem koja imaju izviđačka sredstva. Pored sredstava čisto vojne namene koriste se i proizvodi komercijalne prirode, kao što su istraživači metalnih predmeta koji se industrijski proizvode u širokom asortimanu i većinom su elektronski. Ova sredstva se najviše izrađuju u Nemačkoj, SAD i Velikoj Britaniji, veoma su efikasna, isto toliko koliko su efikasna i vojna istraživačka sredstva, jednostavna su i pouzdana u eksploataciji, a i jeftina su.

Većina prenosnih minoistraživača čine oni induktorskog tipa, namenjeni pronalaženju ubojnih sredstava i drugih maskiranih predmeta sa metalnim komponentama. Minoistraživači koji su u stanju da pronalaze samo feromagnetne metale, zamenjuju se impulsnim koji pronalaze svaku vrstu metala. Savremeni minoistraživači mogu da odrede i vrstu otkrivenog metala.

Minoistraživač MD 2000 jeste prenosnog tipa i impulsnog principa rada, veoma je osetljiv i može da otkrije male mase metala. Ima kružni oblik istra živačkog dela (glave minoistraživača) koji je pričvršćen na ručicu i elektronski blok sa napajanjem (koji se nalazi

na remenu operatora) i slušalicama. Elektronski blok je izrađen od šest modula, smeštenih u zajednički blok. Obavljena ispitivanja su pokazala da minoistraživač MD 2000 može da otkrije protivtenkovsku metalnu minu Mk7 sa daljine od 120 cm, a protivpešadijske plastične mine sa metalnim komponentama (američku M25 i sovjetsku BMN) sa daljine od 35, odnosno 54 cm. Minoistraživač MD 2000 nalazi se u naoružanju KoV Velike Britanije, a prodaje se oružanim snagama još 10 zemalja.

Minoistraživač L7A1 »Sirius« (V. Britanija) spada u istu kategoriju kao i MD 2000 i odgovara uslovima NATO. Planiran je za korišćenje u KoV Velike Britanije, a možda će ga nabaviti i druge zemlje radi zamene zastarelih minoistraživača koji su manje osetljivi, stabilni i pouzdani u radu. Ovaj minoistraživač ima kvadratnu istraživačku glavu i ona je pričvršćena na teleskopsku ručicu sa osloncem za ruku. Drugi deo ovog minoistraživača je elektronski blok. Minoistraživač pouzdano radi u uslovima ometanja zbog magnetnih pojava u zemlji. Minoistraživač ima uređaj koji signalizira operatoru kada se potroši energija izvora napajanja.

Minoistraživač 4.125 »Metex« (Nemačka) namenjen je za istraživanje i pronalaženje mina i drugih predmeta, izrađenih od bilo koje vrste metala, koji su zakopani u zemlju ili u plićake. Veoma je osetljiv i stabilan u radu, a napaja se iz 6 standardnih elemenata po 1,5 V, tako da može da radi neprekidno 60 sati. Ovaj minoistraživač je opravdao svoju upotrebu u mnogim oružanim snagama.

Minoistraživač AN-19/2 je austrijske izrade, a Švedska je otkupila licencu. Posle uporednih ispitivanja 1987. uveden je u naoružanje Nemačke, izrađivaće ga jedna nemačka firma, a trebalo je da uđe u naoružanje 1992. Veoma je osetljiv i može da otkrije male mase metala u plastičnim minama. Elektronsko kolo ima veliku selektivnost, ne zavisi od stanja izvora napajanja i temperature okolne sredine dok osetljivost minoistraživača ne zavisi ni od brzine pomeranja istraživačke glave. Pomoću ugrađenog kontrolnog uređaja može se proveravati radna sposobnost elektronskog bloka i njegovog izvora napajanja. U toku rada minoistraživača na prednji ram istraživačke glave dovodi se impulsna struja koja formira magnetno polje oko njega. Ovo polje izaziva u metalnim komponentama zakopane municije vrtložne struje koje stvaraju sekundarno polje. Ovo sekundarno polje pobuđuje u prijemnim kolima istraživačkog uređaja signal kojeg obrađuje elektronski blok i prenosi u slušalice.

Minoistraživač ML 1750 jeste proizvod jedne nemačke firme, a nabavile su ga i mnoge druge zemlje. Predstavlja pokretno sredstvo, izrađen je na bazi formacijskog vozila 0,25 t koje je predviđeno za izviđanje marš-ruta kretanja, aerodroma i relativno ravnijih delova zemljišta. Osnovne komponente minoistraživača su istraživački uređaj širokog zahvata koji je izrađen od nemetalnih materijala i pričvršćen na ram koji se nalazi 1 m ispred vozila kao i sistem upravljanja, smešten u kabinu vozila. Ovaj sistem ima indikator sa kazaljkom, svetlosni signalni uređaj, preklopnike režima osetljivosti (ukupno 12) i dugme kompenzacionog uređaja. Režim osetljivosti se postavlja u toku kretanja vozila. Radna brzina pokretnog minoistraživača zavisi od uslova zemljišta koje se istražuje, to je 5—15 km/h. Napajanje električnom energijom je iz akumulatora vozila (12 V, 3A). Prema podacima iz stručne literature može se videti da ovaj minoistraživač ima osetljivost koja obezbeđuje pouzdano otkrivanje ubojnih sredstava ispod površine zemlje na sledećim daljinama: kalibar 105 mm — na 110 cm; kalibar 75 mm — na 90 cm; kalibar 37 mm — na 60 cm i kalibar 13 mm — na 40 cm. Širina pojasa istraživanja je 1,6 m.

Sredstva za istraživanje na većim dubinama

Pored minoistraživača, koji se koriste za pouzdano pronalaženje ubojnih sredstava na malim dubinama, jedinice za dezaktiviranje ubojnih sredstava opremaju se i osetljivijim instrumentima. Pomoću njih je moguće istraživanje predmeta na dubinama od nekoliko metara, prosečno 2—5 m, a u pojedinačnim slučajevima i uslovima zemljišta i do 10 m. Ovi se instrumenti nazivaju obično bomboistraživačima (negde i dubinskim minoistraživačima) i omogućuju uspešno istraživanje bombi na takvim dubinama.

Bomboistraživač No. 1 Mk2, naziva se često i lokator bombi, jeste prenosni uređaj za pronalaženje neeksplodiranih bombi i projektila na dubinama do 4,5 m. Princip njegovog rada zasnovan je na registrovanju promena u magnetnom polju Zemlje zbog kojih dolazi usled prisutnosti metalnih masa zakopanih ubojnih sredstava. Ima dva osnovna dela — prenosni deo i elektronski uređaj sa izvorom napajanja koji se pri radu sa ovim bomboistraživačem nalazi nepokretan na zemlji. Ova dva dela su međusobno spojena električnim kablom. Prenosni deo izrađen je u obliku rama u čijem se prednjem delu nalazi ručica od bambusa sa cilindričnim istraživačkim uređajem. U telu istraživačkog uređaja smeštena su dva razdvojena elementa od specijalne magnetne legure. U zadnjem delu ram ima polugu sa protivtegom. Na ramu je pričvršćen pokazivač sa kazaljkom. Pri istraživanju zemljišta poslužilac se kreće i pomera ručicu sa istraživačkim uređajem u horizontalnom pravcu. Pokazivač sa kazaljkom registruje pronađene predmete (ubojna sredstva) ispod zemlje, što radi i elektronski uređaj koji nadgleda pomoćnik poslužioca. Ukupna masa ovog bomboistraživača je 80 kg, a njegovog prenosnog dela 20 kg. Pomoću uređaja se može otkriti bomba od 100 kg na dubinio d 2 m, a bomba od 1.000 kg — do 4,5 m. Ovaj bomboistraživač se već smatra zastarelim i u mnogim jedinicama zamenjen je novijim nemačkim modelom 4.021.

Bomboistraživač 4.021 »Ferex« (sl. 1) prenosno je sredstvo za pronalaženje feromagnetnih predmeta na znatnim dubinama. Po masi i dimenzijama on je za skoro 4 puta manji od bomboistraživača No. 1 Mk2, dok je po pouzdanosti i stabilnosti rada i preciznosti određivanja predmeta ispod zemlje mnogo bolji od ovog. Osnovni delovi ovog bomboistraživača su cilindrični istraživački uređaj koji je smešten u hermetično telo, ručica, elektronski blok i blok za napajanje. U položaju za istraživanje istraživački uređaj se pričvršćuje zglobno na prednji kraj ručice i zauzima vertikalni položaj. Sa gornje strane prednjeg kraja ručice smešten je elektronski blok koji ima pokazivač sa kazaljkom i ručice za upravljanje. Blok za napajanje smešten je na zadnjem kraju ručice i jednovremeno služi kao protivteg. Za olakšanje dužeg rada na istraživanju predmeta ispod zemlje ovaj bomboistraživač ima remen koji drži



Sl. 1 — Bomboistraživač »Ferex« 4.021

istraživač i oslobađa ruke poslužioca pri pomeranju istraživača u horizontalnom pravcu. Za napajanje se koriste suve baterije od 1,5 V. Ovaj bomboistraživač ima osam nivoa osetljivosti, a u elektronski blok je ugrađen uređaj za kontrolu radne sposobnosti električnih kola, takođe i automatski kompenzacioni uređaj za postavljanje skale na nulu.

Po potrebi, bomboistraživač može se koristiti za istraživanje predmeta na znatnim dubinama. Za tu svrhu istraživački uređaj se spušta u izbušenu rupu u zemlji uz pomoć električnog kabla dužine do 60 m.

Ukupna masa bomboistraživača u radnom položaju je do 5,5 kg, može da otkrije minu minobacača 100 mm na dubini do 4 m, a aviobombu od 500 kg — do 6 m. Neke firme u Nemačkoj izrađuju bomboistraživače na istom principu sa približnim mogućnostima, na primer, model EL 1302. Ista firma izradila je prenosni uređaj model ET 1340 sa većom osetljivošću sa istim principom rada: registrovanje narušavanja magnetnog polja Zemlje, izazvanog prisustvom feromagnetnog predmeta. Ovaj bomboistraživač izrađen je u vidu vertikalnog cilindra (istraživački uređaj) koji je pričvršćen na ručicu. U srednjem delu istraživačkog uređaja smešten je elektronski blok sa izvorom napajanja (pet standardnih suvih elemenata od 1,5 V). Poslugu bomboistraživača čine dva čoveka, a informacija o prisutnosti predmeta ispad zemlje vidi se na indikatoru elektronskog bloka i u slušalicama.

Bomboistraživač V-92 »Scintrex« (Kanada), koji je sličan prethodnom, jeste magnetometar koji može da otkrije predmete od feromagnetnih materijala kada zbog njihovog prisustva u zemlji dođe do deformacije magnetnog polja Zemlje. Za razliku od drugih bomboistraživača, ovaj je kompaktniji, ali ima skoro istu osetljivost. Može da otkrije aviobombu od 225 kg na dubini od 4,5 m. Postoje podaci da se pomoću njega može odrediti dubina predmeta u zemlji. Istraživački uređaj se sastoji od dva nevelika cilindra, pričvršćena na krajevima kratke ručice. Elektronski blok je specijalno upakovan i u radnom položaju je pomoću remena pričvršćen na grudima poslužioca. Izvor napajanja spojen je sa elektronskim blokom. Dimenzije i konstrukcija bomboistraživača omogućuje istraživanje na dubinama i do 60 m iz izbušenih rupa u zemlji. Zbog toga je u komplet bomboistraživača uključen i električni kabel dužine 61 m. Bomboistraživač V-92 »Scintrex« koristi se i OS V. Britanije i SAD, gde ima oznaku Mk22.

U tabeli 1 date su karakteristike nekih minoistraživača i bomboistraživača prema podacima iz zapadnih publikacija.

Istraživačka sredstva sa daljinskim upravljanjem

Poslednjih godina sve više se koriste istraživačka sredstva (mašine) sa daljinskim upravljanjem za pronalaženje mina i neeksplodiranih ubojnih sredstava ili ubojnih sredstava sa usporenim dejstvom. Danas se već proizvodi druga generacija ovih sredstava i to serijski.

To su samohodna sredstva malih dimenzija sa ugrađenom opremom za izviđanje, kompletom zamenjivih radnih alata i opremom. Predviđeno je da sa njima upravlja poslužilac sa daljine, koji posmatra rad neposredno ili pomoću TV-kamere. Uređaji i oprema na ovim vozilima sa daljinskim upravljanjel omogućuje obavljanje sledećih tipičnih zadataka: istraživanje eksplozivno opasnih predmeta na zemljištu, u zgradama, stacionarnim objektima i u transportnim sredstvima; detaljan pregled pronađenog predmeta, njegovo uništenje, neutralisanje ili prevoz na bezopasno mesto.

Ova vrsta istraživača može se brzo montirati i pripremiti za rad. Najkarakterističniji sastavni delovi ovih istraživača su:

— TV-oprema (na sredstvima druge generacije po pravilu u boji). Ima

TV-kamere (do tri), prenosni monitor koji služi poslužiocu da osmatra zemljište i upravlja radom istraživača;

— sredstva za osvetljavanje (reflektori) za osvetljavanje pri radu u noćnim uslovima ili pri niskom nivou osvetljenja;

— manipulatori za hvatanje, prenošenje i prevoženje municije i drugih predmeta;

— prenosni rentgen-aparat za pregled na licu mesta otkrivenog predmeta i određivanja stepena njegove opasnosti;

— oprema za uništavanje na licu mesta eksplozivno opasnih predmeta. Najveću primenu imaju hidrodinamički razarači koji se koriste za uništenje eksplozivnih predmeta ručne izrade u nemetalnim kutijama; acetilenski gorionici za spaljivanje nemetalnih mina i oružja sa glatkom cevi za ispaljivanje debelih metalnih poluga;

— garnitura alata za rastavljanje, odvajanje ili izbacivanje iz stroja pojedinih delova otkrivenih ubojnih sredstava radi neutralisanja;

— komplet stetoskopa za osluškivanje rada satnih mehanizama upaljača usporenog dejstva, kao i ogledala za promatranje pojedinih komponenata sumnjivog predmeta koji se nalaze na teško dostupnim mestima.

Šasije ovih vozila izrađene su od legure aluminijuma i legiranog čelika, a hodni deo je ili na točkovima, ili na gusenicama ili je zamenjiv kada se brzo može preći sa točkova na gusenice, i obratno. Na šasiji je ugrađen portalni potpuno obrtni kran sa konzolom na kojoj je pričvršćen rukohvat za razmeštanje radne opreme, alata ili aparata. Za pogon se najčešće koriste električni akumulatori i njihov kapacitet je, uglavnom, dovoljan za rad od nekoliko časova. Takođe je moguće koristiti motore sa unutrašnjim sagorevanjem ili napajanje od spoljašnjeg izvora električne energije. Kada se koriste električni akumulatori, tada je pogon hodnog dela, portalnog krana sa konzolom i radne opreme obično elektromehanički, a kada se radi o motorima sa unutrašnjim sagorevanjem — pogon je hidraulički. Prva generacija

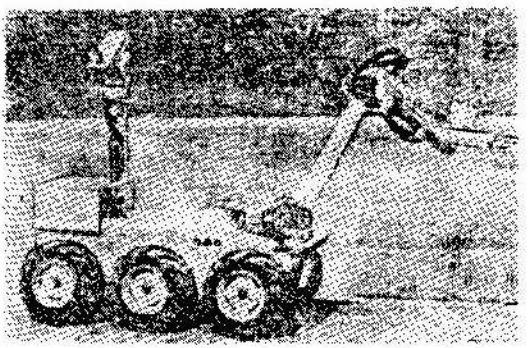
Tabela 1

Osnovni podaci mino- i bomboistraživača

Model (Zemlja proizvođač)	Masa, [kg]	Radni napon [V]	Trajanje neprekidnog rada, [h]	Dubina otkrivanja predmeta, [m]
L7A1 »Sirius« (V. Britanija)	5	6	20	0,16 (mina)
AN-19/2 (Nemačka)	3,8	6	70	0,1 (cilindar prečnika 1,5 mm i dužine 10 mm) 0,5 (mina)
No 1 Mk2 (V. Britanija)	20	—	—	2,1 (bomba 45 kg) 5,5 (bomba 500 kg)
4.021 »Ferex« (Nemačka)	5,5	6—12	—	3 (projektil 100 mm) 6 (bomba 225 kg)
EL 1202A (Nemačka)	4	9	—	6 (bomba)
ET 1340 (Nemačka)	15	7,5	—	15 (bomba)
V-92 (Kanada)	7,6	—	—	4,5 (bomba 225 kg)

ovih istraživačkih mašina imala je daljinsko upravljanje do 100 m preko provodnika. Drugu generaciju karakteriše upravljanje radio-putem (koje je osnovno) i preko optičkog kala. Daljina upravljanja je do 3.000 m.

Kako su ove izviđačke mašine sa daljinskim upravljanjem imale male dimenzije i malu masu, bilo ih je moguće dovoziti lakim vozilima do mesta obavljanja istraživačkih radova. Njihov istovar i utovar u transportna vozila obavlja se preko lake rampe sopstvenim hodom. Zahvaljujući niskom težištu i lakim gusenicama, ovakva vozila mogu lako da savlađuju oštre uspone i padine, stepenice i da prodru u male prostorije, a i da rade na vrlo malim površinama.



Sl. 2 — Vozilo sa daljinskim upravljanjem MPR-800

Neka od vozila sa daljinskim upravljanjem u zapadnim zemljama su:

MPR-800 (SAD) (sl. 2) je vozilo na točkovima sa tri osovine, svi točkovi su pogonski, ima dizel-motor, a upravlja se radio-putem. Može da savlađuje uspon pod uglom do 40° i bočni nagib do 27°. Konzola sa rukohvatom i stezačem radnog alata ima 7 stepeni slobode. Postoje dve TV-kamere, jedna je na rukohvatu, a druga na amortizacionoj nozi točka. Radna oprema su hvatači, puška i specijalna osmatračka sredstva.

Wheelbarrow Mk8 (V. Britanija) jeste vozilo na gusenicama, a upravlja se radio-putem. Za pogon se koristi baterija akumulatora. Na obrtnom portalnom kranu je pričvršćena konzola sa rukohvatom koja drži radni alat, oruđe za uništenje eksplozivnih sredstava i drugu opremu. Vozilo ima i produživač konzole krana, tako da se radovi mogu obavljati i na visinama do 3 m, na primer, u avionima na stajankama, nižim spratovima zgrada, itd. Lake gumene gusenice i nisko težište omogućuju penjanje uz stepenice i silazak niz njih. Kretanjem i radom ovog vozila upravlja se pomoću belo-crne televizijske opreme (kod kasnijih serija TV u boji). Postoje dve TV-kamere: jedna je na konzoli krana, a druga na rukohvatu pored radne opreme.

Godine 1985. u toku radova na razminiranju gusto minirane zone borbenih dejstava na Folklandskim ostrvima britanske trupe su se suočile sa nizom ozbiljnih teškoća oko pronalaženja i dezaktivacije nemetalnih protivoklopnih i protivpešadijskih mina. Argentinska vojska je položila preko 30.000 mina. Posebne brige pričinjavale su italijanske protivoklopne mine SB-81 i španske C-3-A. Za inžinjerijske jedinice, koje su razminirale zonu borbenih dejstava, razvijeno je nekoliko tipova vozila sa daljinskim upravljanjem »Redfire« na bazi vozila »Wheelbarrow« Mk8.

Osnovna radna oprema nove varijante je brener sa propanom koji se nalazi u balonu u zadnjem delu vozila. Poslužilac usmerava vozilo ka mestu nađene mine, pomoću brenera se progoreva plastično telo mine, a zatim se spaljuje eksploziv bez izazivanja njegove detonacije. Pomoću dodatne opreme mina se može skinuti sa mesta gde je postavljena i odneti do mesta uništenja ili staviti u specijalno transportno sredstvo. Za razliku od osnovnog vozila, ova varijanta ima udvojene gusenice, što bi trebalo da olakša kretanje preko mekog zemljišta, a i da smanji opasnost eksplozije protivpešadijskih mina sa upaljačem nagaznog dejstva. Prema objavljenim podacima, u toku prve dve go-

dine korišćenja ovog vozila neutralizovan je značajan broj mina i nije dolazilo do nepredviđenih eksplozija.

KMR-1 »Cobra« (Nemačka) jeste dvoosovinsko vozilo na točkovima u naoružanju jedinica za dezaktiviranje ubojnih sredstava u KoV Nemačke. Za pogon se koristi benzinski motor snage 14,7 kW. Konzola krana sa rukohvatom i radnom opremom može se okretati u granicama od 180° i obavljati radove na visinama do 3 m od nivoa na kojoj je vozilo postavljeno. Vozilom se upravlja radio-putem sa dometom od 2 km. Postoje dve TV-kamere sa crno-belom slikom. Jedna je pričvršćena na kraju rukohvata neposredno uz radnu opremu, a druga na stubu u zadnjem delu vozila. Osnovna radna oprema je komplet hvatača i manipulatora pomoću kojih je moguće obavljanje niza operacija za neutralisanje, prevoženje i rastavljanje neeksplodiranih ubojnih sredstava.

SEOD (SAD) jeste lako sredstvo sa gumenim gusenicama, koje može da dejstvuje po komandama koje se prenose preko svetlosnog kabla ili radio-putem. Vozilo ima dva električna motora za pogon hodnog dela, motor za pogon radne opreme, laserski pokazivač cilja i televizijsku opremu, crno-belu ili u boji. Napaja se iz baterije akumulatora.

Karakteristike vozila sa daljinskim upravljanjem date su u tabeli 2.

Teška inžinjerijska sredstva sa daljinskim upravljanjem

Pored istraživačkih vozila sa daljinskim upravljanjem manjih dimenzija u jedinicama za neutralisanje ubojnih sredstava sve više se koriste teška inžinjerijska sredstva sa daljinskim upravljanjem. Tu spadaju sledeći traktori i buldožeri sa upravljanjem radio-putem.

VRAC (Vinance Rapid Area Clearance) (SAD) nalazi se u naoružanju RV SAD, a namenjen je za uklanjanje mina i neeksplodiranih bombi sa PSS i rulnih staza, kao i za brze opravke PSS. Ima oklopljenu kabinu, a gusenice imaju gumene jastuke.

Ekskavator »John Deere« 690C (SAD) jeste sredstvo na točkovima za kopanje jama na mestima gde se otkriju neeksplodirana ubojna sredstva. Poslužilac upravlja sa daljine do 1,6 km. Zahvaljujući ugrađenoj TV-opremi može se upravljati radom vozila i van dometa direktne vidljivosti. Masa prenosnog komandnog pulta je 30 kg.

Mašina WOMBLE (Wire Operated Moble Bomb Lifting Equipment) (V. Britanija) jeste specijalno rekonstruisani ekskavator na gusenicama za kopanje jama na mestu pada neeksplodiranih ubojnih sredstava sa mogućnošću daljinskog upravljanja preko provodnika (do 200 m) ili radio-putem (do 500 m). Ima dodatnu zaštitnu opremu motora i kabine poslužioca od ranjavanja pri eksploziji ubojnog sredstva.

Minočistači

U toku nekoliko proteklih godina u armijama NATO sve veća pažnja posvećuje se razvoju minočistača (tabela 3) koji su namenjeni razminiranju daljinski položenih mina na aerodromima i putnim saobraćajnicama. Nekoliko tipova ovih sredstava je u toku nekoliko poslednjih godina već razvijeno i oni se nalaze u različitim fazama ispitivanja. Prema rezultatima ispitivanja odabraće se najbolji tipovi. Navešćemo neke tipove minočistača, koji su uglavnom namenjeni protiv mina na površini zemlje.

Minočistač JSFU Mk3 (V. Britanija) ima mlatilice i specijalnu šasiju na točkovima, a koristi se za razminiranje aerodroma. Ima radni organ sa obrtnim vratilom na kojem su pričvršćeni lanci sa mlatilima na krajevima.

Tabela 2

Osnovni podaci za mašine sa daljinskim upravljanjem

Model (Zemlja—proizvođač)	Baza	Ukupna masa [kg]	Dimenzije [m]	Radna brzina [km/h]	Daljina upravljanja [m]
MPK-300 (SAD)	na točkovima	300	1,6×6,6×1,7	8	3.000
SEOD (SAD)	na gusenicama	90	1,2×0,6×0,8	0—1,6	100 ili 300*)
KMR-1 »Cobra« (Nemačka)	na točkovima	650	1,5×0,9×1,2	7	2.000
»Wheelbarrow« Mk8 (V. Britanija)	na gusenicama	240	1,4×0,6×0,9	0—1,7 m/s	100 ili 300*)
»Cyclone« Mk3 (V. Britanija)	isto	25	0,8×0,4×0,3	0—0,5 m/s	·
»Wheelbarrow« Super M (V. Britanija)	"	204	1,2×0,7×1,3	0—0,55 m/s	·
»Rover« (V. Britanija)	"	13	0,6×0,4×0,3	·	·
MMD (Francuska)	"	120	2×0,7×1	0—6	100
RM-200 (Francuska)	na točkovima	250	1,5×0,7×1,2	·	2.000
RM1 Mk3 (Kanada)	isto	110	1,1×0,7×0,5	0—4,8	60

*) Kada se upravlja preko optičkog kabla, odnosno radio-putem

Pri razminiranju, mine koje se nađu na putu minočistača odbacuju se u stranu, lome se ili se eksplozijom uništavaju. Jednim prolaskom ovog minočistača pravi se prolaz širine 3,5 m. Engleske jedinice su ga koristile na Folklandskim ostrvima, a dva primerka bila su na ispitivanju u RV SAD.

Minočistač RACE (Rapid Area Clearance Equipment) (V. Britanija) takođe je sa mlatilicama i predstavlja olakšanu varijantu prethodnog, a radi na istom principu. Kao vozilo koristi se formacijski oklopni transporter na gusenicama FV432 »Trojan«. Kao radni organ ima dve sekcije lanaca sa mlatilima na krajevima i sa sopstvenim pogonima. Dužina lanaca je dvostruko kraća nego kod prethodnog minočistača (610 umesto 1.220 mm). Prema proračunima, čvrstoća radnog organa treba da izdrži eksploziju mine sa eksplozivnim punjenjem do 2 kg.

Minočistač EMP (Engineer Mine Plough) (V. Britanija) plužnog je tipa i izrađen je na bazi formacijskog minočistača sa minskim noževima EMP. Za razminiranje mina koje su položene na površini zemlje na noževe minočistača pričvršćuju se dva uska raonika pomoću kojih se mine odbacuju u stranu od hodnog dela vozila i na taj način se dobija prolaz širine 3,7 m. Ovi raonici spadaju u komplet minočistača i mogu se brzo postaviti na noževe.

Minočistač SCAMBA (Scatterable Minefield Breaching Apparatus) (V. Britanija) takođe je plužnog tipa i ugrađuje se na oklopni transporter FV 432 »Trojan«. Radni organ sa dva raonika ima hidraulički sistem upravlja-

nja, a širina razminiranog prolaza je 3,1 m. Na osnovno vozilo radni organ se pričvršćuje pomoću tri zavornja i u slučaju potrebe može se odbaciti od vozila aktiviranjem eksplozivnih zavornja.

Minočistač SMCS (Scatterable Mine Clearance System) (V. Britanija) ima radni organ plužnog tipa, konstruisanog u sekcijama. Dve bočne strane njegovog raonika izrađene su od pojedinačnih ploča koje se mogu pomerati u vertikalnoj ravni, omogućujući tako tačnije praćenje neravnina zemljišta po svoj širini razminiranog prolaza od oko 3 m.

Minočistač »Keiler« (Nemačka) jeste teška mašina, ugrađena na šasiju srednjeg tenka. Predviđen je za razminiranje prolaza ne samo kroz zapreke položene razbacivanjem mina, već i kroz zapreke ukopanim minama. Spada u kategoriju minočistača sa mlatilicama, a radni organ ima kratka čelična užad sa mlatilima naročitog oblika koji su pričvršćeni na obrtnom vratilu. Pošto je vratilo neznatno ukošeno prema levoj strani, mine se odbacuju u stranu od hodnog dela vozila. Po potrebi se može podesiti visina obrtnog vratila sa mlatilima, tako da skida sloj zemlje zajedno sa ukopanim minama i da ih odbacuje u levu stranu od vozila. Minočistač »Keiler« nalazi se u završnoj fazi ispitivanja i usavršava se ugradnjom sistema za daljinsko upravljanje.

Minočistač sa mlatilicama (Nemačka) koriste jedinice RV Nemačke za razminiranje aerodroma od manjih avionskih i drugih ubojnih sredstava. Njegov osnovni deo je laka priključna minočistačka oprema — vratilo sa komadima čeličnog užeta sa mlatilima na krajevima. Ugrađuje se na formacijski utovarivač na točkovima ASL2B koji je u naoružanju aerodromskih jedinica. U komplet opreme takođe spada komplet oklopa na skidanje, oklopna kupolica za poslužioca i uređaj za hvatanje ubojnih sredstava.

Minočistač MIPAG (Nemačka) opitno je sredstvo, razvijeno po zahtevu RV Nemačke, za brzo razminiranje aerodroma i prilaznih saobraćajnica. Pripada kategoriji mrežnog tipa i kao radni organ služi mreža, pričvršćena na lakom ramu, izrađena od čeličnih lanaca, a izrađena u obliku dva vertikalna raonika. U donjem delu krila mreže nalaze se jači lanci na koje su postavljeni točkići. Pri kretanju ovog minočistača, ugrađenog na borbeni tenk ili svako drugo oklopno vozilo, krilima mreže odbacuje mine u stranu. Ovaj minočistač nalazi se u fazi ispitivanja u jedinicama RV i KoV Nemačke.

Minočistač DRAG (Francuska) mrežnog je tipa. Na jednom ramu pričvršćena je mreža od teških čeličnih lanaca koju ispred sebe gura oklopno vozilo. Mreža na svom putu zahvata mine od kojih neke sa uređajem protiv razminiranja ili sa upaljačima koji imaju maggetske davače mogu i da eksplodiraju bez nanošenja ozbiljnijih razaranja mreže. Ovaj minočistač nalazi se u naoružanju KoV Francuske i u oružanim snagama SAD i Velike Britanije.

Uništavanje mina topovskim naoružanjem

U OS zemalja NATO predviđa se, takođe, borba protiv mina i drugih ubojnih sredstava na aerodromima njihovim uništavanjem pomoću vatre malokalibarskog i topovskog naoružanja iz nekih kopnenih vozila sa bezbednog rastojanja. Tako se u jedinicama RV Nemačke predviđa za to korišćenje automatskog topa 20 mm, u Velikoj Britaniji topa 30 mm iz vozila »Scimitar«. Američki stručnjaci smatraju da se to može uraditi i sa mitraljezom 12,7 mm »Browing«. U tu svrhu, po nalogu RV, razvijena su i ispituju se dva tipa oklopnih vozila.

MARV (Mobile Armored Reconnaissance Vehicle) i SMUD (Stand-off Munition Disruptor) izrađeni su na bazi lakog oklopnog transportera na točko-

Tabela 3

Osnovni podaci minočistača

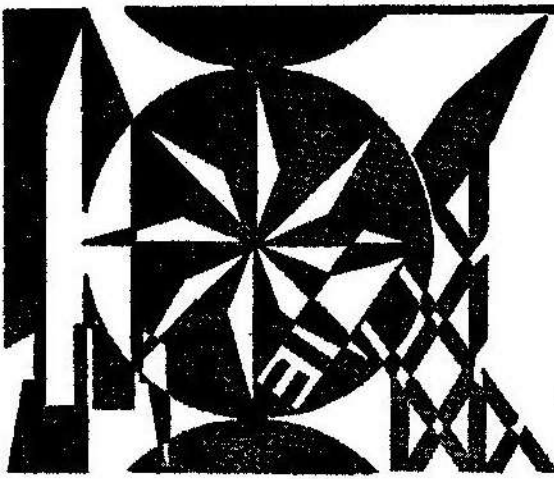
Model (Zemlja—proizvođač)	Tip	Baza	Masa [kg]	Širina razminiranog prolaza [m]	Radna brzina [km/h]
JSFU (Velika Britanija)	sa mlatilicama	specijalna	9.500	3,5	4,5
RACE (Velika Britanija)	isto	oktopni transporter	1.800	3	15
EMP (Velika Britanija)	plužni	tenk	2.300	3,7	20
SCAMBA (Velika Britanija)	isto	oklopni transporter	1.200	3,1	20
SMCS (Velika Britanija)	isto	isto	oko 1.000	3,2	20
»Keiler« (Nemačka)	sa mlatilicama	šasija tenka	7.000	4,7	120 m za 10 minuta
MIPAG (Nemačka)	mrežni	tenk	120	4,7	40
DRAC (Francuska)	isto	tenk, oklopni transporter	180	3,6	20

vima LAV u čijoj je kupolici ugrađen mitraljez 12,7 mm M2 sa sistemom nišanjenja velike preciznosti. Stručnjaci smatraju da ovo sredstvo može da obezbedi veliku gustinu vatre i da smanji verovatnoću uništenja okolnih objekata usled rikošetiranja. Ukupne potrebe jedinica američkog RV za uništenje ubojnih sredstava iznose 277 jedinica.

Zaključak

Pitanju razminiranja aerodroma posvećuje se velika pažnja u RV zapadnih zemalja. Stvaraju se efikasnija sredstva, sa boljim mogućnostima i pouzdanošću. Pri razvoju ovih sredstava koriste se najnovija tehnološka dostignuća i troše znatna materijalna sredstva.

P. M.



tehničke novosti i zanimljivosti

Zahtevi za poboljšanje američkog streljačkog oružja[1]

Posle rata u Zalivu, centru za istraživanje i razvoj naoružanja ARDEC (Armament Research, Development and Engineering Center) armije SAD, stiglo je više zahteva za poboljšanje streljačkog oružja.

Jedan od zahteva je da se izvrše poboljšanja snajperske puške M-24. Na ustima cevi puške treba da se ugradi skrivač plamena i da se omogući ugradnja prigušivača pucnja, pored toga ugradiće se optički nišan boljih performansi.

Posle iskustva iz rata u Panami pokrenut je postupak za razvoj nove municijske kutije kapaciteta 100 metaka za puškomitraljez — mitraljez M249 MINIMI. U toku rata u Zalivu strelci koji su koristili to oružje žalili su se da su kutije kapaciteta od 200 metara i suviše nezgrapne i nepogodne za upotrebu. Zaključen je ugovor o proizvodnji kutija kapaciteta 100 metaka koja će početi u februaru 1992. godine.

U taku rata u Zalivu uočeno je da da je sredstvo koje se koristi za podmazivanje površina automatskog bacača granata 40 mm Mk 19 Mod 3 nedovoljno kvalitetno. Postavljen je zahtev da se pristupi istraživanju novog sredstva boljih karakteristika.

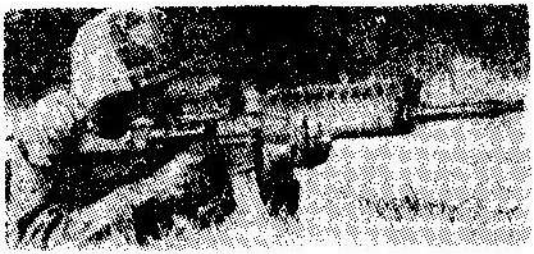
Postavljen je zahtev i za poboljšanje karakteristika automatske puške 5,56 mm M16A2. Zahtev se odnosi na povećanje dometa, poboljšanje okvira i poboljšanje preklapajućeg kundaka.

[1] Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1991, br. 2, str. 172.

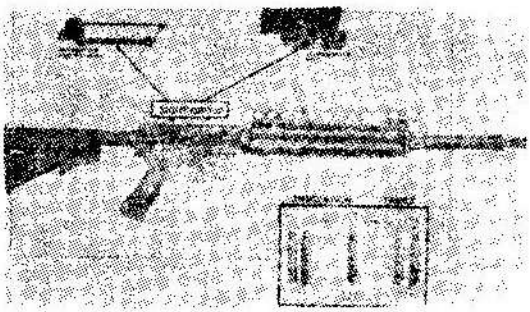
Automatska puška 5,56 mm američke firme »COLT« za program »ACR«[2]

Pre nekoliko godina armija SAD sačinila je program ACR (Advanced Combat Rifle) koji obuhvata razvoj automatske puške za naoružanje pešadijskih jedinica za period posle 2000. godine. Pored ostalih, u programu učestvuje i američka firma COLTS MANUFACTURING COMPANY. Za ispitivanja, koja će se izvršiti do 1995. godine, firma je pripremila automatsku pušku 5,56 mm iz koje se ispaljuje municija M-855 NATO i municija sa duplex zrnima američke firme OLIN.

[2] Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1991, br. 2, str. 158.



Puška za program ACR nastala je modifikacijom standardne američke puške M-16A2, ali se po spoljnjem izgledu znatno razlikuje od nje. Ima ugrađen optički nišan LEITZ WILD CAT čije je uvećanje 3,5x. Kundak se podešava u zavisnosti da li se koristi mehanički ili optički nišan — u aksijalnom pravcu može da se pomera na 102 mm. Optički nišan se postavlja posle skidanja mehaničkog nišana. Osa optičkog nišana nalazi se na 76 mm iznad ose cevi.



Masa nove puške bez okvira je 3,64 kg, a dužina sa izvučenim kundakom 1067 mm. Pri gađanju NATO municijom i optičkim nišanom može uspešno da se koristi do rastojanja od 600 m. Municija sa dva zrna (duplex) namenjena je za gađanje ciljeva na rastojanjima do 300 m. Do tog rastojanja ovom municijom dobija se veća verovatnoća pogađanja cilja nego pri upotrebi NATO municije.

Pri gađanju grupom od 10 metaka na metu postavljenu na 50 m (municijom tipa duplex) dobijaju se pogoci u krugu prečnika 64 mm prvim zrnom i u krugu prečnika 152 mm drugim zrnom. Masa prvog zrna je 2,27 g, a drugog 2,1 g.

Pištolj »P-229« švajcarske firme »SIG-SAUER«[3]

Nastavljajući sa razvojem familije pištolja P-220, švajcarska firma SIG-SAUER ponudila je tržištu novi model oznake P-229, za metak 0,40 inča S&W (10,16 mm). Pištolj funkcioniše na istom principu kao i ostali modeli familije P-220.

Pištolj P-229 koncipiran je tako da omogućuje »brzo korišćenje«: ima ugrađen mehanizam za okidanje sa dvostrukim dejstvom, a nišani su izrađeni tako da čine jasan kontrast sa navlakom i omogućuju brzo »hvatanje« cilja i u uslovima loše vidljivosti. Dobra preciznost postiže se zahvaljujući optimalno određenoj sili na obarači, maloj sili trzanja i pravilnoj raspodeli masa (uravnotežen je tako da dobro leži u ruci).



Pištolj ima relativno malu masu, jer mu je usadnik izrađen od legure aluminijuma. Navlaka se radi od čelika koji je po spoljnjim površinama zaštićen bruniranjem, ili od nerđajućeg čelika (oznaka ove varijante je P-229 SL). Kapacitet okvira pištolja je 12 metaka. Razvijena je i varijanta za metak 9×19 mm PARABELLUM sa navlakom od nerđajućeg čelika i okvirom kapaciteta 13 metaka.

[3] Prema podacima iz: CIBLES 1991, br. 252, str. 11.

Nišani se mogu podešavati po pravcu. Podešavanje po visini vrši se zamenom (prednji nišan proizvodi se u pet, a zadnji u šest različitih dimenzija).

Kočnicom se sprečava udar udarača u udarnu iglu, tako da pištolj može bezbedno da se nosi i kada je metak u cevi. Dugme kočnice, kao i dugme za oslobađanje okvira, postavljeno je sa obe strane pištolja.

Danska firma »RDM« nudi komplete za modernizaciju haubica[4]

Osnovni proizvod ove firme je komplet za modernizaciju vučne haubice M114/39, koji obuhvata novu cev 155 mm, dužine 39 kalibara. Domet se povećava sa 14600 na 30400 m uz primenu projektila sa gasogeneratorom i punjenjem M9 zona A, uz mogućnost ugradnje pogonske grupe za samopokretanje i potiskivača metaka. Ovo rešenje je već realizovano na 96 danskih, 82 holandskih i 48 norveških oruđa, uz dodatni holandski zahtev za još 20—25 oruđa. Prikazi su vršeni u Kanadi, Grčkoj i drugim zemljama.



Modernizovana haubica M114/39 firme RDM, u toku ispitivanja gađanjem, sa trzajućom masom u zadnjem položaju

[4] Prema podacima iz: JANE'S DEFENCE WEEKLY 1991, 5. januar, str. 24.

Nudi se i rešenje modernizacije vučne haubice 105 mm M101/33, koje je rezultat privatnog razvoja ove firme, a obuhvata cev dužine 33 kalibra sa gasnom kočnicom na ustima, štitom za zaštitu od udarnog talasa i rekonstruisanim protivtrzajućim uređajem. Domet sa projektilom povećanog dometa je skoro 20000 m. Prvi prototip je ispitan 1990. godine, a sada se očekuje nastavak ispitivanja u Kanadi, za potrebe njihove armije.

Modernizacija samohodne haubice M109/39 je izvršena u saradnji sa švedskom firmom BOFORS. Ugrađena je cev dužine 39 kalibara, sa novim odsisnikom barutnih gasova, gasnom kočnicom na ustima, poluautomatskim zatvaračem i priborom za punjenje kapisle. Sistem za automatsko potiskivanje metaka povećava brzinu paljbe na 3 metka/minut u toku 20 min, i salvu od 3 metka za 14 sekundi. Ugrađuje se sistem za upravljanje vatrom velike preciznosti, protivpožarni sistem i sistem NHB zaštite.

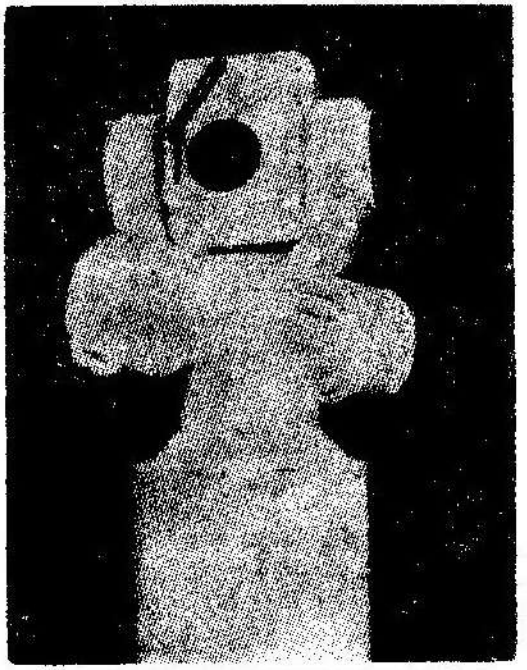
Francuski modularni IC osmatrački sistem »VAMPIR ML 11« za površinske brodove[5]

Laki modularni infracrveni panoramski osmatrački sistem vazduh—more za površinske brodove VAMPIR ML 11 francuskih firmi SAT i CSEE-Défense je osnovni sistem familije VAMPIR ML (nastale razvojem familije VAMPIR), koja je sada u operativnoj službi RM francuske. Njene sastavne komponente omogućuju korisniku da već sada može da raspolaže najnovijim tehnološkim dostignućima.

U sistemu VAMPIR ML 11 obuhvaćeni su sledeći blokovi: turela na vrhu jarbola, žirostabilizovana, opremljena monospektralnim IC detektorom koji se može brzo zameniti i jednim modulom

[5] Prema podacima iz: DÉFEISE & ARMEMENT HÉRACLÈS INTERNATIONAL 1990, br. 101, str. 72.

za brisanje stakla. U centralnom operativnom delu smešteni su komora sa pogonskim uređajem i transmisijom za pokretanje turele, orman sa elektronikom za obradu signala i komandna konzola sa vizuelnim monitorima i komandama uređaja za testiranje ispravnosti tipa »Go-No Go« (»ide-ne ide«).



Optička glava VAMPIR ML 11

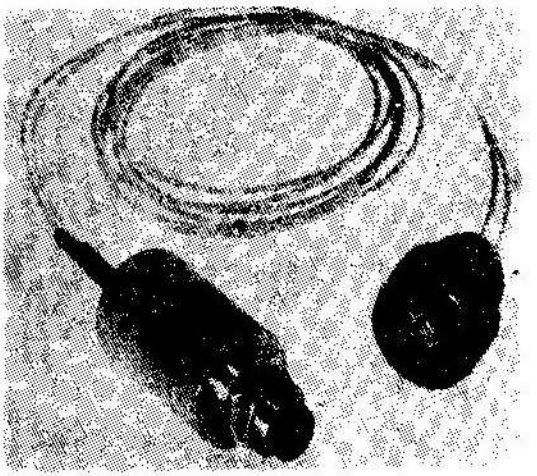
Infracrveni detektor funkcioniše u spektralnim opsezima 3—5 ili 8—12 μm. Njegova brzina rotacije je 2 s^{-1}, a tačnost stabilizacije 0,4 mrad. Okretanje platforme može biti $\pm 30^\circ$ po uzdužnoj i $\pm 10^\circ$ po poprečnoj osi trupa broda.

VAMPIR ML 11 ima tipičan domet detekcije od 10 km (za protivbrodske rakete koje lete u brišućem letu iznad površine mora) i može istovremeno da procesira do 40 opasnih ciljeva, pri čemu je njegovo vreme reagovanja 2 sekunde. On pokriva prostor po elevaciji od -10° do $+60^\circ$ i po pravcu 360°, sa vidnim poljem po mesnom uglu od 6° i tačnošću označavanja cilja 3 mrad.

Predložene su razne opcije: dopunski IC detektor u spektralnom području, modul za povezivanje sa sistemom za korišćenje taktičkih informacija broda, uređaji za vizualizaciju i dr. VAMPIR ML 11 se može transformisati u osmatrački bispektralni IC sistem VAMPIR ML 21 dodavanjem druge optičke glave, drugog kompleksa za stabilizaciju i dopunskih elektronskih karata.

Induktivni detektor sa optičkim vlaknima francuske firme »CROUZET«[6]

Tradicionalni induktorski detektori za male daljine, koji su uvek sposobni da podnose smetnje od radio-električnih poremećaja ili munja, treba da budu posebno dobro zaštićeni. Na avionima, naročito, ovaj uticaj se savladava blindiranjem i povezivanjem za masu svih kompleksa, što doprinosi povećanju mase i cene uređaja.



Francuska firma CROUZET COMPOSANTS d'AUTOMATISMES razvila je prototip blizinskog induktorskog detektora na bazi optičkih vlakana koji bi

[6] Prema podacima iz: DÉFENSE & ARMEMENT HÉRACLÈS INTERNATIONAL 1990, br. 99, str. 72.

mogao da reši ovaj problem. On pruža sve prednosti induktivnog detektora (znatno duži vek trajanja, promena važnih frekvencija, neosetljivost na zagađenost spoljne okoline) u pogledu gabaritnih razmera uz istu masu i prigušuje sve pomenute smetnje zahvaljujući svojoj optičkoj komunikaciji.

Pri potpunom odsustvu električne veze, ovaj induktivni detektor sa optičkim vlaknima može se takođe koristiti u eksplozivnim sredinama (petrohemija, rafinerije, i dr.), gde ga hermetičnost, otpornost na pritisak, udare i mehaničke vibracije, daljine detekcije i područje temperatura (−25°C do +70° C) čine savršeno operativnim.

Razvoj ovog detektora za industrijske svrhe je u studijskoj fazi sa učešćem potencijalnih korisnika.

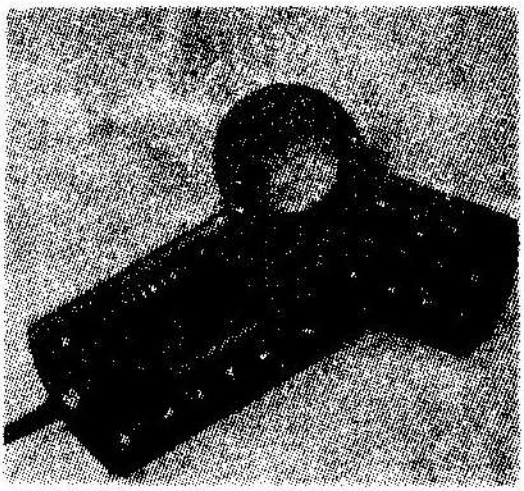
Inteligentna olovka »MASTER YEOMAN« za brodsku navigaciju[7]

Najnoviji proizvod firme QUBIT je MASTER YEOMAN, uređaj za navigacijski sto koji omogućuje navigatoru da smanji opterećenje, korišćenjem elektronike koja dopunjuje ljudsko iskustvo i stručnost.

»Inteligentna olovka« može da prenese elektronski generisanu informaciju o poziciji broda na kartu.

MASTER YEOMAN se sastoji od tri elementa: prilagodnog uređaja (interface unit), digitalizovanog podmetača na koji se postavlja karta i jedne pločice koja omogućuje da se sa karte dobije informacija i da se informacija stavi na kartu.

Veličine malog stonog kalkulatora, ovaj uređaj ima tastaturu za uvođenje podataka, displej sa tečnim kristalom i prozor sa krstom končića u čijem se centru nalazi mali otvor kroz koji može da prođe olovka za nanošenje oznake na kartu. Oko prozora su osnovna svetla koja se pale radi naznačavanja navigatoru u koju stranu da pomeri pločicu radi obeležavanja pozicije na karti.



Pozicije kao što su tačke na maršruti, mogu se uzeti sa karte i direktno uvesti u druge navigacijske sisteme broda jednostavnim pomeranjem pločice sve dok se otvor za olovku ne nađe iznad pozicije, pa se zatim pritisne dugme tastature za uvođenje podataka.

Ovaj sistem može takođe da obavlja i druge navigacijske proračunske zadatke kao što su azimuti, kurs kojim treba ploviti, zbrojena navigacija (po brzinomeru i kompasu) i druge navigacijske proračune.

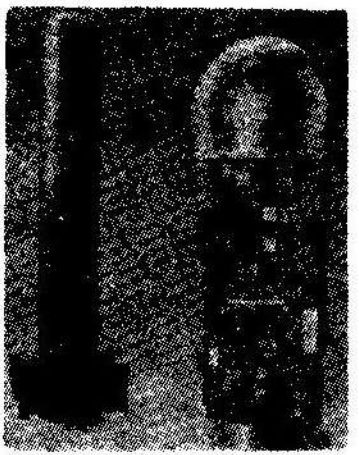
Takođe se može rukovati informacijom svih opštekorišćenih sistema kao što su DECCA, LORAN C, OMEGA, GPS i drugi prijemnici satelitske navigacije. MASTER YEOMAN može biti proizveden tako da odgovara svakom obliku mosta odabiranjem odgovarajućih modula senzora firme QUBIT za desetosmerni prilagodni uređaj.

Ovi moduli mogu se rekonstruisati pri modifikaciji brodske opreme, a omogućuju integrisanje navigacijskih funkcija sa relevantnim podacima elektronskog brzinomera, dubinomera, ARPA radara i žiroskopa.

[7] Prema podacima iz: MARITIME DEFENCE 1990, novembar, str. 374.

Perspektive razvoja evropskih protivoklopnih projektila[8]

Evropska vojna industrija predviđa da će u budućnosti programi razvoja i proizvodnje »pametne« (finalno vođene) protivoklopne municije imati »svetlu perspektivu«.



Minobacački 120 mm projektil STRIX švedske firme FFV

Švedska firma FFV ORDNANCE završila je ispitivanje svoga 120 mm minobacačkog projektila STRIX i počinje njegovu serijsku proizvodnju za OS Švedske. Mada koristi relativno staru, ali proverenu infracrvenu tehnologiju, ova municija dobiće i jednu efikasnu dopunu. Njen domet (oko 8 km) i veličina bojne glave čine je vrlo atraktivnom za tenkove i skupe ciljeve.

Firma BRITISH AEROSPACE DYNAMICS (BAe) ostaje sigurna u pogledu progresa svoje 81 mm bombe sa radarskim vođenjem na milimetarskim talasima (Mmw) MERLIN. Proizvođač smatra da sposobnost ovog oružja da gađa pri svim vremenskim uslovima predstavlja izrazitu prednost u odnosu na IC vođenje. Minobacač kalibra 81 mm je za trećinu lakši, pa prema tome i toliko jevtiniji od 120 mm minobacača. Međutim, BAe će uskoro u kooperaciji sa francuskim, italijanskim i švajcarskim firmama ući u kompletan razvoj minobacača 120 mm GRIFFON.

Progres »pametne« artiljerijske municije je sporiji u poređenju sa odgovarajućom minobacačkom municijom. Dok su ubrzanja minobacačkog projektila reda nekoliko stotina do nekoliko hiljada »g«, artiljerijski projektili startuju u cevi sa više hiljada »g«. Bar za sada, pojava Mmw kao sposobnog sistema za vođenje, najverovatnije znači napuštanje IC sistema. Ovaj prilaz već slede francuska firma THOMSON BRANDT ARMEMENTS (u saradnji sa SAT, GIAT i THOMSON-CSF) za 155 mm municiju ACED (direktna protivoklopna vatra) i nemačka RHEINMETALL-DIEHL za svoju municiju SM Art 155.

Mnogi evropski proizvođači smatraju, međutim, da je bojna glava sa Mmw finalnim vođenjem za sistem višecevnog bacača raketa MLRS, koji se razvija u okviru američko-evropskog konzorcijuma, najbolja perspektiva u 90-im godinama za »pametnu« protivoklopnu municiju koja gađa direktnom vatrom.

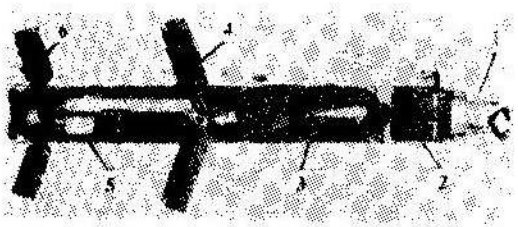
Najopštiji tip »pametnih« projektila ostvaren je za laka protivoklopna oružja i pojavljuje se u dva osnovna vida. Prvi, koji proizvode individualni proizvođači oružja, obuhvata standardno lako protivoklopno oružje LAW povezano sa senzorom. Drugi tip je rezultat multinacionalnih grupa koje pokušavaju da ispune stare zahteve za »pametne« mine koje se postavljaju van puteva. Postoje dve glavne grupe okupljene oko firmi GIAT i MATRA, obe u Francuskoj. Grupa ARGES (GIAT, HUNTING ENGINEERING, HONEYWELL i DYNAMIT NOBEL) koristiće iskustvo LAW-80, firme HUNTING. Drugi tim MINOS (MATRA MANHURIN, SERAT, BRITISH AEROSPACE i RHEINMETALL) bazira svoj trud na lakom protivoklopnom oružju APILAS, firme MATRA.

[8] Prema podacima iz: ARMED FORCES JOURNAL INTERNATIONAL 1991, mart, str. 18.

Najveći potencijalni nedostatak oba sistema je njihovo nastojanje na individualnom montiranju i podešavanju, što onemogućuje postavljanje mina iz specijalnih vozila. Dakle, dok bi oni hteli da daju vojniku protivoklopno oružje za napad iz zasede, neki vojni krugovi preispituju takvu opštu namenu, s obzirom da sada jednostavne artiljerijske kasetne protivoklopne mine već postaju stvarnost. Odgovor se verovatno nalazi između ovih ekstremnih shvatanja: rasejane mine pokrivaju prostrane površine, dok »pametne« dopunjuju poseban defanzivni plan.

Američki 156 mm protivoklopni artiljerijski projektil »COPPERHEAD« sa laserskim vođenjem[9]

Protivoklopni artiljerijski projektil kalibra 155 mm M712 COPPERHEAD, američke firme MARTIN MARIETTA, omogućuje uništenje oklopnog vozila indirektnim gađanjem samo jednim hicem. M712 ima lasersko vođenje na istom principu kao protivoklopna raketa



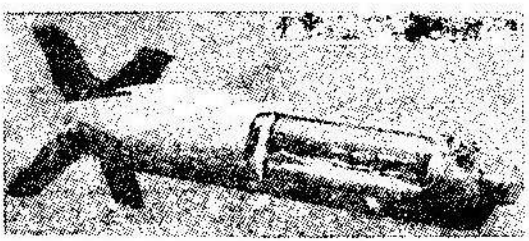
1 — laserski tragač; 2 — sekcija za vođenje i elektroniku; 3 — bojna glava; 4 — krila; 5 — sekcija komandi upravljanja; 6 — kormila

HELLFIRE (poluaktivno lasersko samovođenje) sa laserskim obeležavačem cilja na zemlji (kojim rukuje istureni osmatrač), ili na bespilotnoj letelici sa daljinskim upravljanjem, ili na helikopteru.

Ovaj projektil, čija je masa 62,4 kg, ima dužinu 137 cm, prečnik 155 mm i domet od 3 do 16 km. On je dovoljno brz da može pokrivati prostranu borbenu zonu. Njegova krila omogućuju da se pri oblačnom vremenu neprimetno privuče ispod niskih oblaka (150 m), otkrije i napadne cilj. Za navođenje više projektila COPPERHEAD na razne ciljeve mogu se istovremeno upotrebljavati više laserskih označavača. Ovaj projektil se može ispaljivati iz raznovrsnih samohodnih i vučnih artiljerijskih oruđa.

Američka kasetna vazduhoplovna bomba SFW sa protivoklopnom samovođenom kasetnom municijom SKEET[10]

Već više godina u SAD za RV i KoV vrši razvoj broja »pametne« (finalno vođene) protivoklopne kasetne municije za izbacivanje iz artiljerijskih projektila ili vazduhoplovnih kasetnih bombi. Jedno od ovih sredstava sa senzorskim upaljačem SFW (Sensor Fuzed Weapon) koje je nedavno uspešno savladalo program ispitivanja, moglo bi dospeti u početnu proizvodnju krajem 1991. godine. Ono će biti prvo oružje te vrste koje će ući u naoružanje.



Program SFW pretrpeo je dramatičan ciklus pošto je bio prestruktuiran avgusta 1989. sagledavanjem nedostataka ispoljenih u početnim opitima. U

[9] Prema podacima iz: DÉFENSE ARMEMENT INTERNATIONAL 1991, februar/mart, str. 87.

[10] Prema podacima iz: ARMED FORCES JOURNAL INTERNATIONAL 1991, mart, str. 14.

prototipu u prirodnoj veličini, koji je razvila od 1985. godine firma TEXTRON DEFENSE SYSTEMS, ovo sredstvo je obuhvatalo kasetnu vazduhoplovnu bombu mase 453 kg sa 10 subprojektila. Svaki projektil nosio je 4 protivoklopne bojne glave SKEET (prečnik 127 mm, visina 101,6 mm), tj. ukupno 40 SKEET po jednom SFW.

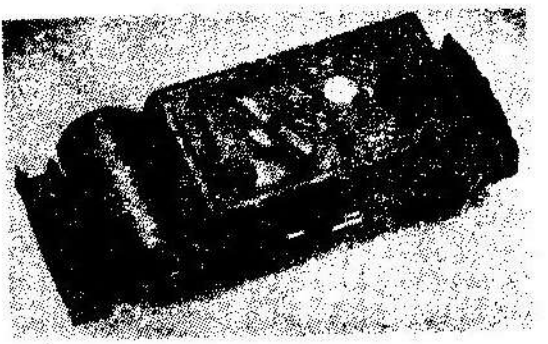
Posle izbacivanja svih 10 subprojektila iz kasetne bombe, njihovo prizemljenje se usporava pomoću padobrana. Na svakom projektilu izvlače se 4 kraka sa po jednom SKEET bojnom glavom na svakom od njih. Na predviđenoj visini odbacuje se padobran i aktivira mali raketni motor koji uzrokuje obrtanje projektila velikom brzinom. Bojne glave SKEET, čija je jedinačna masa 3,642 kg, izbacuju se radijalno iz projektila i silaze po spiralnoj putanji skanirajući pomoću IC senzora teren ispod sebe tražeći ciljeve. Čim jedan toplotni izvor (npr. tenkovski motor) bude detektovan, ispaljuje se eksplozivom formirano metalno jezgro nadole, na gornj oklop tenka. Bomba SFW omogućuje potencijalno oko 12 pogodaka u tenkove po jednom borbenom naletu aviona, po danu ili noći, pri ograničeno-nepovoljnim meteorološkim uslovima.

Prema opsežnom programu ispitivanja, RV SAD je do sada izvršilo 27 uzastopnih razvojnih opita. U 17 od njih bombardovane su bojnom municijom iz aviona F-16 sa visine 150 m i brzinom 833 km/h formacije vozila na tlu. Ciljevi su bili tri kolone tenkova, oklopnih transportera i teretnih vozila. SFW se otvarala i rasejavala svu kasetnu municiju, svi padobrani su se otvarali, aktivirali su se svi raketni motori i ispaljeno je najmanje 36 do 40 projektila. Postignuto je 7 pogodaka na 6 različitih ciljeva.

Ukupan program predviđa proizvodnju 19803 bombi SFW uz troškove od 3,9 milijardi dolara. Početna proizvodnja obuhvatiće 98 bombi u 1992. uz troškove 108,7 miliona dolara. Za 1993. planirana je proizvodnja 232 bombe što će stajati 258,5 miliona dolara.

Britanski upaljač za protivoklopne mine[11]

Britanska firma ROYAL ORDONANCE je razvila novi upaljač koji omogućuje povećanje efikasnosti protivoklopnih mina. Novi upaljač reaguje na celoj širini tenka. Upaljač ima senzor koji onemogućuje uklanjanje mine ili elektronsko razminiranje. Firma tvrdi da je upaljač moguće prilagoditi čitavom nizu protivoklopnih mina koje se nalaze u naoružanju. Tu spada i BAR-mina, koja je uvedena u danski i britanski KoV. Upaljač omogućava i mehaničko polaganje.



Jedna danska firma dobila je licencu za proizvodnju i plasiranje ovog upaljača.

Ocenjivanje varijanti helikoptera »SH-60«[12]

Helikopterski protivpodmornički skvadron 2 u mornaričkoj bazi North Island u Kaliforniji počeo je da prima,

[11] Prema podacima iz: SOLDAT UND TECHNIK 1991, br. 3, str. 208.

[12] Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1991, br. 9, str. 1021.

za potrebe američke RM, prve protivpodmorničke helikoptere SH-60F koji će najpre biti razmešteni na nosaču helikoptera NIMITZ.

Nosilac ugovora za helikoptere SH-60F je firma SIKORSKY a američka RM je najavila ukupne potrebe za 175 helikoptera. Do sada je ugovoreno 73 helikoptera, a isporučeno je 36.

Helikopter američke obalske zaštite HH-60J JAYHAWK, poslednji u nizu helikoptera SH-60, u fazi je razvojnog ocenjivanja. Prvi spasilački helikopter srednjeg doleta SH-60J prihvaćen je u RM ranije. Do sada je isporučeno 9 helikoptera JAYHAWK obalskoj straži, a ukupno je naručeno 32.

Helikopter JAYHAWK i njegova varijanta HH-60H za napad, spasavanje i specijalno ratovanje su derivati helikoptera SH-60F. Glavni zadaci helikoptera JAYHAWK su traganje i spasavanje i borba protiv narko-mafije.

Izviđačka verzija italijanskog helikoptera »A129«[13]

KoV Italije objavio je zahteve za izviđačku verziju helikoptera A129 sa potrebom nabavke 30 ili više ovih helikoptera. Ovaj izviđački helikopter imaće nišan ugrađen na jarbolu, biće naoružan vođenim projektilima vazduh—vazduh STINGER ili MISTRAL, a izbor automatskog naoružanja između kalibra 12,7 mm i 20 mm zavisiće od kompromisa između efikasnosti, vremena spremnosti za dejstvo, trzanja, brzine gađanja i uticaja vibracija na opremu.

Osnovni podaci za helikopter A129 su:

- prečnik rotora (m) — 11,9
- dužina trupa (m) — 12,275
- dužina pri obrtanju rotora (m) — — — 14,29
- maksimalna masa (kg) 4,070
- masa u borbenom stanju, sa punim rezervoarima goriva i 8 vođenih projektila TOW (kg) — — — — 3,930
- masa u praznom stanju po navodu proizvođača (kg) — — — — 2,529
- maksimalna stalna snaga motora (kW) — — 615
- maksimalna snaga u slučaju nužde u toku 2,5 min (kW) — — 704
- brzina koja se ne sme preći (km/h) — — 283,5
- maksimalna brzina u protivtenkovskoj ulozi (km/h) — — — — 264,9
- maksimalna visina lebdenja sa uticajem zemlje, (međunarodna standardna atmosfera) (m) — — — — 4.286,4
- maksimalna visina lebdenja izvan uticaja zemlje (međunarodna standardna atmosfera) (m) — — — — 3.556,9
- maksimalna brzina penjanja (površina mora) (međunarodna standardna atmosfera) (m/s) — 699,2
- maksimalna vertikalna brzina na površini mora (međunarodna standardna atmosfera) (m/s) 310

[13] Prema podacima iz: INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW 1991, br. 2, str. 156—157.

Uporedni podaci za helikopter A129 i druge njemu odgovarajuće helikoptere

Karakteristika	A129	PANTHER	BO105P (PAH-1)	OH-58D	AH-64	PAH-2/HAC TIGER	M1-24 (HING F)	AH-1F
Maksimalna masa, (kg)	4.070	4.100	2.500	2.494	9.525	6.000	12.000	4.535
Masa u borbenom stanju, (kg)	3.930	4.000	2.380	—	7.728	5.600	12.000	4.524
Masa u praznom stanju, (kg)	—	2.457	1.688	1.281	4.881	3.300	8.200	2.993
Instalisana snaga motora, (kW)	1.334	1.262	628	485	2.530	1.916	3.280	1.342
Nominalna snaga transmisije, (kW)	1.300	1.032	648	454	—	—	—	962
Trajanje borbenih dejstava	2h 30min	3h	3h	2h 30min	2h 30min	2h 50 min	160 km	
Brzina kroz vazduh, (km/h): — maksimalna	264,8	296,4	—	237,1	296,4	279,8	318,7	227,9
Brzina krstarenja, (km/h)	—	259,4	—	203,8	274,2	251,1	294,5	—
Vrhunac lebdenja van uticaja zemlje sa masom u borbenom stanju, (m)	3.566	1.850	2.100	3.415	preko 2.000	2.200	—	—
Optika za neposredno osmatranje	ima	ima	ima	nema	ima	nema	ima	ima
Letenje noću	PNVS	NVG	NVG?	da	PNVS	da	NVG?	NVG
Gađanje noću	da	kasnije	ne	da	da	da	?	ne
Automatsko praćenje	ne	ne	ne	da	da	da	?	ne
Laserski daljinomer	ima	nema	nema	ima	ima	ima	?	ima
Laserski obeležívač ciljeva	po želji	nema	nema	ima	ima	ima	?	nema
Vatreno oružje	po želji	viseći kontejneri	nema	viseći kontejneri	kupola	viseći kontejneri	nepokretno	kupola

Kanadsko borbeno vozilo »BISON«[14]

Firma GENERAL MOTORS OF CANADA je do sada isporučila 50 oklopnih vozila točkaša, formule pogona 8×8, pod nazivom BISON. Isporuka vozila počela je septembra 1990. godine i predviđeno je da se, do aprila 1992. godine, isporuči više od 50 vozila.

Navedena isporuka predstavlja proširenje proizvodnje ovog tipa vozila, jer je firma GENERAL MOTORS još 1989. godine zaključila ugovor sa SAD vredan 100 miliona kanadskih dolara o isporuci 199 vozila.

Vozilo BISON proizvodi se u 4 osnovne varijante: oklopni transporter, komandno vozilo, nosač minobacača 81 mm i remontno vozilo. U odnosu na ori-



[14] Prema podacima iz: JANE'S DEFEICE WEEKLY 1991, 2. mart, str. 308.

ginalni model PIRAHNA 8×8 (koji se proizvodi na osnovu švajcarske licence) oklopno telo je nešto modifikovano, što se odnosi na prostor pozadi za transport vojnika i opreme. Predviđeni su: otvor za opremu, dva otvora za posadu i zadnja vrata. Na vozilo BISON se montira mitraljez C6 kalibra 7,62 mm na luku otvora za komandira. Takođe se razmatra i ugradnja sistema naoružanja sa kupolom. Svaki oklopni transporter, koji je osnovna varijanta, može se brzo modifikovati u komandno vozilo, dodavanjem odgovarajuće opreme.

Varijanta vozila BISON — nosač minobacača je slična varijanti LAV (PIRAHNA koju proizvodi kanadska firma GM), s tim što se kao otvor za minobacač koristi transportni otvor. Na varijantu oklopnog vozila za remont ugrađuje se dizalica HUSKY, s tim što je transportni otvor pomeren prema zadnjem delu vozila.

Razmatra se i varijanta vozila namenjenog za vođenje elektronskih dejstava, kao kod američkog oklopnog vozila LAV-25.

Australijskoj armiji isporučena su 4 vozila BISON radi uporednih trupnih ispitivanja sa modelom LAV-25.

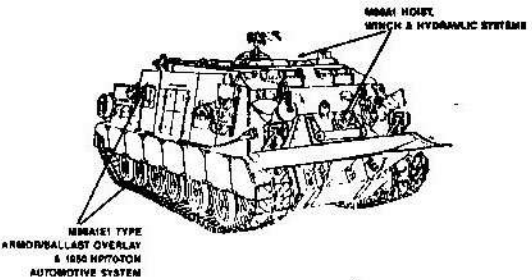
Usavršavanje vozila za izvlačenje »M88A1« američke firme »BMY«[15]

Američka armija je zaključila ugovor o izradi usavršenog oklopnog vozila za izvlačenje M88A1E1, koje je trebalo da zameni vozilo M88A1, ali je program zaustavljen zbog restrikcije budžeta. Na osnovu ugovora sa nadležnom upravom američke armije TACOM (Tank Automotive Command), firma BMY je izradila šest prototipova vozila M88A1E1. U prvoj fazi vozila su podvrgnuta ispitivanjima pouzdanosti i određivanju pravca rada na poboljšanju sklopova. U drugoj fazi bi se dovršilo rastavljanje sklopova, usavršavanje prototipova i sprovela zahtevana ispitivanja u cilju provere tehničkih karakteristika.

Armija SAD danas ima u opremi 25000 srednjih i teških oklopnih vozila (mase 30 t i više). Za održavanje ovih vozila biće korišćena postojeća vozila M88A1 i usavršene varijante. Ova vozila zadovoljavaju pri izvlačenju tenkova M1 (vitlom i dizanjem), ali se za vuču istih predviđa upotreba dva vozila M88A1.

Biro za usavršavanje oklopnog vozila M88 istražuje i mogućnost izrade varijante vozila sa motorom veće snage, koje bi samo bilo u stanju da izvlači tenkove M1.

Za određen broj vozila M88A1 se predviđa obezbeđenje motornih mesta za dodatni oklop (varijanta M88A1Ea) i utvrđivanje karakteristika vozila.



Firma BMY COMBAT SYSTEMS je procenila da se i proizvodni troškovi usavršenog vozila M88A1 mogu smanjiti za polovinu u odnosu na troškove dosadašnje proizvodnje.

Proizvodnja vozila M88A1 je završena krajem 1989. godine pošto je firma BMY proizvela 2166 novih vozila, a na 876 vozila ranije proizvodnje benzinske motore zamenila dizel-motorima. Predviđeno je da se vozila izvezu u Saudijsku Arabiju (zajedno sa tenkovima), Egipat, Tajvan i Grčku, odakle su vozila i naručena.

[15] Prema podacima iz: JANE'S DEFENCE WEEKLY 1991, 2. mart, str. 313.

VF/VVF primopredajnik »RF-3201« američke firme »HARRIS«[16]

Američka firma HARRIS projektovala je robustni VF/UVF primopredajnik koji obezbeđuje pouzdan prenos govora i podataka u otežanim borbenim uslovima. Ovaj se radio-uređaj napaja iz izvora jednosmernog napona 12 do 24 V, a proizvodi se za mobilne i stacionarne namene. RF-3201 ima dva radna frekvencijska područja. U prvom radnom području pokriven je VF opseg i najniži deo VVF opsega (frekvencije od 0.5 do 32 MHz). Drugo radno frekvencijsko područje uređaja RF-3201 je od 142 do 170 MHz, što pripada VVF opsegu. U ovom opsegu održavaju se policijske komunikacije, komunikacije za potrebe malih letelica i sl. Izlazna VVF snaga predajnika je 5 W.

Radio-telefonski interfejs »RTU-200« američke firme »JPS COMMUNICATIONS«[17]

Radio-telefonski interfejs RTU-200 povezuje radio-sistem na telefonsku mrežu tako da se telefonski pozivi mogu upućivati radio-putem. Ovaj uređaj je jedan od prvih koji obezbeđuje automatsko širokopojasno nulovanje korišćenjem adaptivnih metoda koje eliminišu potrebu za ručnim hibridnim balansom. Takođe je eliminisan i standardni problem telefonskih prelaza: oscilovanje u dupleksnim sistemima i nepouzdan VOX rad u poludupleksnim sistemima. Algoritam za prepoznavanje govora zasnovan na digitalnoj obradi signala održava telefonski priključak neprestano balansiranim prema telefonskoj liniji, što obezbeđuje pouzdan rad i visoku osetljivost za govorni signal. RTU-200 je projektovan za sve tipove radio-stanica, bilo da se radi o VF, VVF, UVF ili satelitskim komunikacijama. Osim toga RTU-200 poseduje i potrebnu fleksibilnost za rad sa telefonskim sistemima širom sveta.

Programabilni filtri »SR640«, »SR645« i »SR650« američke firme »STANFORD RESEARCH SYSTEMS«[18]

SR640, SR645 i SR650 predstavljaju jedinstvenu kombinaciju filtara u istom kućištu. SR640 je dualni (dupli) niskopropusni filtar, SR645 takođu dupli filtar propusnik visokih frekvencija, a SAR650 predstavlja kombinaciju visoko/niskopropusnih filtara. Filtri su međusobno potpuno nezavisni. To su osmopolni eliptički filtri sa po šest nula u prenosnoj funkciji. Slabljenje u propusnom opsegu filtara varira manje od 0,1 dB, u prelomnom delu karakteristike ostvarena je strmina od 115 dB po oktavi, dok je slabljenje u nepropusnom delu opsega bolje od 80 dB. Filtri su op-



remljeni GPIB i RS232 interfejsima koji omogućavaju potpunu kontrolu pomoću računara. Mikroprocesor i komponente iz njegovog okruženja izolovani su od filtarskih sekcija kako bi se što bolje eliminisao uticaj smetnji. Granične frekvencije filtara kreću se između 1 Hz i 100 kHz. Frekvencijska rezolucija je trocifrena. Odnos signal/šum na ulazu u filtre je 4 nV/$\sqrt{\text{Hz}}$. Podeše-

[16] Prema podacima iz: SIGNAL 1991, mart, str. 139.

[17] Prema podacima iz: SIGNAL 1991, mart. str. 139.

[18] Prema podacima iz: ELECTRONICS 1990, novembar, str. 53.

nost faze na f_c je $\pm 0.5°$. U filtrima se može ostvariti prefiltarsko pojačanje do 60 dB, kao i postfiltarsko pojačanje do 28 dB.

Optički spregnuti digitalni filtar »66079« američke firme »MICROPAC INDUSTRIES«[19]

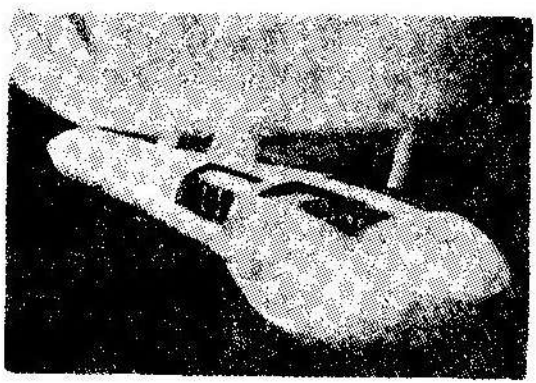
Američka firma MICROPAC proizvela je optički spregnuti digitalni filtar 66079 za EMI/RFI slabljenje. Sastoji se od LED optičke sprege koja radi do frekvencije od 5 MHz, visokog pojačanja i invertujućih detektorskih vrata. Ostvarena je visoka izolacija, a tipična propagacija TTL izlaza je 55 ns. RFI povratni nivo signala je oslabljen za 80 dB na 1 GHz. Tipični napon V_{iso} je 1500 VDC, sa brzinom naponskog porasta od 1000 V u mikrosekundi. Kolo se izrađuje u dva hermetička pakovanja, a obe verzije su oklopljene po standardu MIL-S-883B. Temperaturno radno područje je od -55 do $+125°C$.

Sintezator frekvencija »NJ88C33« američke firme »PLESSEY SEMICONDUCTORS CORPORATION«[20]

Američka firma PLEESEY projektovala je novo integralno kolo NJ88C33. Ovo integralno kolo je sintezator frekvencija za 120 MHz. Kolo radi pri naponima napajanja od 2.5 do 5.5 V i može se koristiti u radio-telefonima i drugim radio-uređajima gde je od značaja niska potrošnja snage. NJ88C33 se može koristiti u dva režima rada: samostalno za 120 MHz, ili uz pomoć eksternog preskalera za frekvencije ispod 2 brojača, jedan 16-bitski, drugi 12-bitski i treći 7- bitski. Sva tri brojača su programabilna i mogu se adresirati. Radni režimi ovog integralnog kola takođe se mogu isprogramirati. Osim toga moguća je kontrola izlaznog polariteta faznog detektora, podešavanje struje itd.

Mini MTI-radar za bespilotne letelice[21]

Američke vojne agencije DARPA, HARRY DIAMOND i LINCOLN, u kooperaciji, razvile su osmatrački radar malih dimenzija. i mase, pogodan za smeštaj u bespilotne letelice i podvesne kontejnere. Ovaj mini-radar projektovan je za rad na Ku opsegu frekvencija sa realizovanim MTI karakteristikama na bazi vrlo moćnog procesora koji obezbeđuje, između ostalog, detekciju i obradu signala u realnom vremenu, zatim određivanje relativnih parametara i praćenje ciljeva kao što su različita vozila i helikopteri na rastojanjima do 15 km.



Mini MTI-radar projektovan je na modularnim principima, a u razvoju su rešenja proverena preko dva realizova-

[19] Prema podacima iz: DEFENSE ELECTRONICS 1991, januar, str. 86.

[20] Prema podacima iz: SIGNAL 1991, maj, str. 215.

[21] Prema podacima iz: DEFENSE ELECTRONICS & COMPUTING INTERNATIOIAL DEFENSE REVIEW (Suplement DEF. ELECTR. and COMP.) 1991, br. 3, str. 8.

na modela oznake AN/TPS-74. Za ispitivanja na zemlji, TPS-74 je instaliran GHz. Sastavni deo NJ88C33 čine tri na borbeno oklopno vozilo oznake M113, a pomoću antene postavljene na stubu postignut je instrumentalni domet do 20 km. Ova varijanta radara korištena je i u zalivskom ratu u okviru posebnog sistema za otkrivanje ciljeva.

Druga, vazduhoplovna, verzija ovog radara podvrgnuta je daljim ispitivanjima na vazduhoplovima. U tu svrhu radar je smešten u posebno projektovanom kontejneru.

Sadašnja varijanta mini MTI-radara ima masu manju od 50 kg i troši približno 1 kW električne energije iz primarnog izvora. Postoje tri moda rada: osmatranje u opsegu 360°, osmatranje, praćenje i klasifikacija ciljeva na zemlji u sektoru preko 30° i tzv. helikopterski mod u sektoru preko 20°.

Dijagram zračenja ovog radara ima oblik lepeze širine 3° u horizontalnoj i 26° u vertikalnoj ravni, pri čemu je, zbog specifične primene, sam dijagram zračenja za 11° zakrenut ispod horizontalne ravni letelice, odnosno platforme-nosača radara.

Veliki računari ES/9000« američke firme »IBM«[22]

Firma IBM je nedavno uvela liniju velikih računara — serija ENTERPRISE SYSTEM/9000 (ES/9000).

Nova serija ima 18 modela. Projektovana su i nova logička i memorijska kola za ES/9000, kao što su Thermal Conduction Modules (TCM), koji odvode toplotu sa integrisanih kola veoma visokog stepena integracije. TCM moduli koriste novu tehnologiju staklo-keramika.

Vrhunski modeli u seriji ES/9000 su modeli 330, 340, 500, 580, 620, 720, 820 i 900. Memorijski kapacitet ide od 640 MB do više od 8 GB.

[22] Prema podacima iz: PRAKSA 1991, br. 1, str. 52—53.

Uputstvo saradnicima

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, obuku, organizaciju i sva stručna, naučna, teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i obrazovanju pripadnika oružanih snaga.

Članak koji se dostavlja Redakciji mora biti kompletan, tj. 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. U kratkom sadržaju — sižeu, treba izneti suštinu članka, najviše u desetak redova.

Članak treba da sadrži uvod, kratak sadržaj, razradu i zaključak. Njegov obim treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa novinskim proredom). Tekst članka 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, prema »Službenom listu SFRJ« br. 13/76. 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, a brojčane i slovne oznake ispisati grafitnom olovkom. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane. Članak se obavezno dostavlja u dva primerka.

Spisak grafičkih priloga sadrži naziv slike — crteža i nazive pozicije 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.

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«, 11000 Beograd, Birčaninova 5, VE-1.

REDAKCIJA