

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

DIREKTOR

Pukovnik
SLAVKO BRSTINA

UREĐIVACKI ODBOR

General-major
dr JUGOSLAV KODZOPELJIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)General-major
dr SINISA BOROVIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika)General-major
dr NOVICA ĐORDEVIĆ, dipl. inž.General-major
MILOSAV BRKIĆ, dipl. inž.General-major
dr SLOBODAN BURSAC, dipl. inž.General-major
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.General-major
MILAN UZELAC, dipl. inž.Profesor
dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.Profesor
dr BORIVOJE LAZIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr DRAGAN LAZAREVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr MILAN SUNJEVARIĆ, dipl. inž.Pukovnik
mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
dr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
MIROSLAV COJBASIĆ, dipl. inž.
(sekretar Odbora)Pukovnik
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.Pukovnik
mr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.Potpukovnik
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.●
GLAVNI I ODGOVORNI
UREDNIKPukovnik
Miroslav Cojbašić, dipl. inž.
(tel. 646-277, 23-59-133 ili 33-133)Urednik
Potpukovnik
Stevan Josifović, dipl. inž.
(tel. 23-59-323 ili 33-323)Sekretar redakcije
Zora Pavličević
(tel. 23-59-258 ili 33-258)ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK — BEOGRAD, Bircaninova 5,
Preplata: 645-020 i 23-124, žiro-račun:
40818-637-9-6319 za VIZ/VTG, poziv na
broj 963/054. Godišnja pretplata 60,00
dinara. Rukopisi se ne vraćaju. Štampa:
Vojna štamparija — Beograd, Generala
Zdanova 40 b.STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJEVOJNOTEHNIČKI
G L A S N I K

5

SADRŽAJ

- Mr Dušan Korolija**, 513 Donošenje odluke opravi-odbaci kod modularno građe-
potpukovnik, dipl. inž. nih elektronskih uređaja
- Dr Dušan Regodić**, 527 Reverzibilni proračun putanje projektila primenom mo-
potpukovnik, dipl. inž. dela sa šest stepeni slobode kretanja
- Mr Zoran Ristić**, 539 Uticaj karakterističnih parametara hidraulične kočnice
pukovnik, dipl. inž. trzanja na proces kočenja trzajuće mase
Mile Davidović,
dipl. inž.
- Ljubiša Brkić**, 549 Analiza pogonskog motora vozila specijalne namene, sa
potpukovnik, dipl. inž. aspekta pojave neispravnosti, primenom metode stabla
Dr Božidar Krstić,
docent, dipl. inž. otkaza
- Dr Predrag Petrović**, 559 Buka pneumatika motornih vozila u kontaktu sa podlo-
dipl. inž. gom
- Mr Igor S. Simić**, 574 Softverski radio
kapetan I klase, dipl. inž.
- Dr Aleksa J. Zejak**,
docent, dipl. inž.
- Mr Nenad Dodić**, 583 Ocenjivanje parametara servosistema metodom najveće
dipl. inž. verodostojnosti
- Dr Vlado Radić**, 594 Karakteristike delova od kompozitnih materijala dobije-
potpukovnik, dipl. inž. nih zavarivanjem eksplozijom
- Mr Milorad Opsenica**, 600 Merenje parametara vojnog kolonskog toka
potpukovnik, dipl. inž.

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

- 619 Modernizacija sistema PVO KUB — S.P.
- 623 Perspektive razvoja raketa vazduh-vazduh — M.K.
- 626 T-90S — nova generacija ruskih tenkova — M.K.
- 629 S-37 BERKUT — prodor ka savršenstvu — M.K.

- 630 Novi predlozi za modernizaciju aviona MiG-23 — M.K.
- 633 Višenamensko vođeno oruđe malih brodova VIHOR — M.K.

TEHNIČKE NOVOSTI I ZANIMLJIVOSTI

- 635 Konvencionalne bojne glave za probijanje ekstremno utvrđenih ciljeva — M.S.
- 636 Koncept »vazdušnog manevra« britanske vojske — M.S.
- 636 Usavršavanje taktičke komunikacione mreže KoV — M.S.
- 637 Smanjivanje cene noćnih nišana — M. S.
- 637 Usavršavanje termovizijskog senzorskog sistema RM SAD — M.S.
- 638 Detekcija kratkih ultravioletnih talasa — M.S.
- 639 Razvoj jedinstvene mreže za upozoravanje na opasnost i izveštavanje — M.S.
- 639 Homodinski prijemnik — M.S.
- 639 Bezbedna elektronska pošta za oružane snage — M.S.

DONOŠENJE ODLUKE OPRAVI-ODBACI KOD MODULARNO GRAĐENIH ELEKTRONSKIH UREĐAJA

UDC: 621.38.049.75-7

Rezime:

Važna odluka projektovanja pogodnosti održavanja jeste da li određenu modulu celinu opravljati ili odbacivati pri otkazu (odluka opravi-odbaci). U ovom radu analiziran je uticaj ove odluke na kriterijume korektivnog održavanja. Razvijen je matematički model i metoda donošenja ove odluke za elektronski uređaj, koji se održava na dva nivoa. Osnova metode je generisanje svih varijanti odluke opravi-odbaci i, za svaku od njih, optimizacija početnih zaliha rezervnih modularnih celina i proračun kriterijuma korektivnog održavanja. Kriterijumi su vreme zastoja zbog korektivnog održavanja i troškovi korektivnog održavanja u životnom veku, koji zavise od ove odluke. Na osnovu rezultata proračuna određuje se optimalna varijanta. Na primeru hipotetičkog elektronskog uređaja prikazan je postupak optimizacije odluke opravi-odbaci.

Ključne reči: opravljiva modularna celina, neopravljiva modularna celina, varijante odluke opravi-odbaci, varijante početnih zaliha rezervnih modularnih celina, optimalna varijanta početnih zaliha rezervnih modularnih celina, optimalna varijanta odluke opravi-odbaci.

MAKING A REPAIR-DISCARD DECISION AT ELECTRONIC MODULE CONSTRUCTED DEVICES

Summary:

An important maintainability design decision is whether to design a particular module unit for repair or discard at failure (repair/discard decision). In this work the effects of this decision to criteria of corrective maintenance are analyzed. A mathematical model and a method for making this decision for an electronic device, which is maintained on two levels, are developed. The basis of this method is the generation of all variants of repair/discard decision and, for each of them, initial spare module units optimisation and criteria of corrective maintenance calculation. The criteria are corrective maintenance downtime and corrective maintenance cost in the life cycle, which dependent on this decision. According to the calculation results, the optimal variant is established. The procedure of repair/discard decision optimisation is illustrated through one hypothetical electronic device.

Key words: repairable module unit, unrepairable module unit, variants of repair/discard decision, initial spare module units variants, optimal initial spare module units variant, optimal variant of repair/discard decision.

Uvod

Savremeni elektronski uređaji najčešće su modularno građeni. Razvoj mikroračunarske tehnologije je o-

mogućio ugradnju sistema za ispitivanje i dijagnostiku (UME — ugrađeni merni element, engl. BITE — Built-In Test Equipment) u ove uređaje. Modularnost elektronskog uređaja i

UME omogućuju da se pri otkazu uređaja brzo i lako otkrije i zameni neispravna modularna celina (MC). Neispravna MC se odbacuje ili šalje na određeni nivo održavanja, na kojem se obavlja njena opravka i ponovno vraćanje u jedan od kompleta rezervnih delova.

Odluku da li će se određena neispravna MC, pri korektivnom održavanju uređaja, odbacivati ili opravljati (u daljem tekstu — odluka opravi-odbaci), treba doneti još u toku razvoja uređaja. Naime, ukoliko se donese odluka da se određena MC opravla, u nju treba u toku razvoja »ugraditi« određenu pogodnost održavanja, razviti specijalnu opremu i izraditi dokumentaciju i softver za održavanje. Ukoliko se donese odluka da se neispravna MC odbacuje, poželjno je da spoljašnje pakovanje ove MC bude hermetično, što poboljšava njenu pouzdanost i smanjuje nepovoljne uticaje vlažnosti i korozije.

Dakle, u određenoj fazi razvoja uređaja pojavljuje se problem donošenja odluke opravi-odbaci. Neki standardi za rešavanje ovog problema uzimaju u obzir samo dva parametra — pouzdanost i cenu MC. Za neopravljivu MC usvaja se ona koja ima veoma visoku pouzdanost ili relativno nisku cenu. Zbog toga što nisu uzeti u obzir i ostali relevantni parametri, odluka doneta na ovaj način može biti daleko od optimalne. Bolji način donošenja odluke opravi-odbaci je pomoću programskih paketa realizovanih na osnovu modela opravi-odbaci. Modeli uzimaju u obzir više parametara koji utiču na odluku.

U ovom radu razvijen je matematički model i metoda za donošenje optimalne odluke opravi-odbaci modularno građenog uređaja, koji se održava na dva nivoa. Model i metoda razvijeni su na temelju analize zavisnosti kriterijuma korektivnog održavanja od ove odluke i rezultata ranijih radova vezanih za korektivno održavanje modularno građenih elektronskih

uređaja: matematičkog modela korektivnog održavanja [1], postupka optimizacije rezervnih delova [2] i optimizacije izvođenja korektivnog održavanja [3].

Analiza uticaja odluke opravi-odbaci na kriterijume korektivnog održavanja

Operacije otkrivanja neispravne MC, zamene sa ispravnom, odbacivanja ili opravka, spadaju u domen korektivnog održavanja elektronskog uređaja. Donošenje optimalne odluke opravi-odbaci predstavlja deo optimizacije korektivnog održavanja uređaja. Kao relevantni kriterijumi za optimizaciju korektivnog održavanja izabrani su [1]:

— srednje vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja,

— ukupni troškovi korektivnog održavanja uređaja.

U ovom radu pod ukupnim troškovima korektivnog održavanja podrazumevaće se i troškovi razvoja i proizvodnje uređaja, koji su vezani za korektivno održavanje.

Ako se analizira izraz za srednje vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja na n -tom nivou održavanja:

$$MDT_{cn} = T_{prn} + 2T_{trn} + T_{codn} + T_{zrdn} + T_{akon} + T_{\bar{c}prn} \quad (1)$$

gde je:

T_{prn} — vreme prijavljivanja uređaja za održavanje,

T_{trn} — vreme transporta uređaja na održavanje i sa održavanja,

T_{codn} — vreme čekanja uređaja u radionici na održavanje,

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

T_{akon} — aktivno vreme korektivnog održavanja uređaja,

T_{epm} — vreme čekanja uređaja u radionici na predaju,

može se zaključiti da odluka opravi-odbaci nema bitnog uticaja na ovo vreme. Naime, ova odluka nimalo ne utiče na vremena u izrazu (1), osim na vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova (T_{zrdn}). Kada su rezervni delovi uređaja neopravljive MC, onda ovo vreme zavisi samo od efikasnosti snabdevanja rezervnim celinama, a ukoliko su rezervni delovi uređaja opravljive MC, onda ono zavisi i od efikasnosti korektivnog održavanja ovih celina.

Drugi kriterijum — ukupne troškove korektivnog održavanja uređaja, pogodno je razgraničiti na:

— troškove razvoja i proizvodnje uređaja, koji su vezani za korektivno održavanje,

— troškove ulaganja u korektivno održavanje uređaja na početku eksploatacije,

— troškove korektivnog održavanja u toku životnog veka uređaja.

Odluka opravi-odbaci ne utiče na ove troškove u svim segmentima korektivnog održavanja, osim na: snabdevanje uređaja sa MC, i korektivno održavanje MC.

Zbog toga će se analizirati samo troškovi ovih segmenata.

U toku razvoja uređaja u opravljivu MC treba ugraditi odgovarajuću pogodnost održavanja (merna mesta, interfejse, pristup komponentama, itd.), a u proizvodnji je treba realizovati. Do kraja razvoja treba razviti specijalnu opremu za održavanje opravljive MC, i izraditi dokumentaciju i softver za njeno održavanje. Zbog toga su troškovi razvoja i proizvodnje opravljive MC veći od ovih troškova za neopravljivu MC.

Na početku eksploatacije uređaja ne postoje troškovi ulaganja u korektivno održavanje neopravljivih MC. Za razliku od njih, u korektivno održavanje opravljivih MC ulažu se značajna sredstva. Za korektivno održavanje ovih celina potrebno je:

— nabaviti specijalnu opremu za defektaciju i otklanjanje otkaza,

— obučiti ljudstvo,

— nabaviti dokumentaciju i softver,

— obezbediti početne zalihe rezervnih komponenti za opravku MC.

Na početku eksploatacije elektronskog uređaja potrebno je za njegovo korektivno održavanje, pored ostalog, obezbediti i početne zalihe rezervnih MC. Ove zalihe su veće ako su MC neopravljive. Naime, kod neopravljivih MC najviši nivo snabdevanja rezervnim delovima mora imati neiscrpne količine ovih celina, jer se ne sme desiti da on otkáže. Kod opravljivih celina uređaj se može dovesti u ispravno stanje i u slučaju da su početne zalihe MC jednake nuli.

Troškovi korektivnog održavanja neopravljivih MC, u toku životnog veka uređaja, jednaki su nuli. Za razliku od njih, kod korektivnog održavanja opravljivih celina pojavljuju se troškovi: radne snage i utrošenih rezervnih komponenti za opravku MC.

Pri opravci uređaja zamenom MC pojavljuju se troškovi utrošenih rezervnih MC samo kada su te celine neopravljive, jer se one nakon zamene odbacuju. Opravljive MC se ne troše. Takve celine, nakon otkaza prelaze iz stanja sastavnih delova u objekte korektivnog održavanja, a nakon opravke opet u stanje sastavnog ili rezervnog dela. I u slučaju opravljivih i neopravljivih MC pojavljuju se troškovi transporta MC, koji su veći kod oprav-

ljivih MC, zbog toga što, pored njihovog transporta kao rezervnih delova, postoji i njihov transport na opravku.

Prethodna analiza pokazuje da odluka opravi-odbaci ima određeni uti-

caj na troškove nekih segmenata korektivnog održavanja. U tabeli 1 prikazani su relativni iznosi troškova ovih segmenata u zavisnosti od opravljivosti MC.

Tabela 1

Relativna zavisnost troškova korektivnog održavanja od opravljivosti MC

Troškovi	Neopravljive MC	Opravljive MC
Razvoj i proizvodnja		
Pogodnost održavanja MC	●	○÷○○
Specijalna oprema za opravku MC	●	○÷○○
Dokumentacija i softver za opravku MC	●	○÷○○
Početak životnog veka uređaja		
Nabavka specijalne opreme za opravku MC	●	○○÷○○○
Obuka kadra za opravku MC	●	○÷○○
Nabavka dokumentacije i softvera za opravku MC	●	○÷○○
Početne zalihe rezervnih delova		
— MC	○○○	○○÷○○○
— komponente za opravku MC	●	○÷○○
Tok životnog veka uređaja		
Radna snaga na opravi MC	●	○○÷○○○
Transport MC	○÷○○	○÷○○○
Utrošeni rezervni delovi		
— MC	○○÷○○○	●
— komponente za opravku MC	●	○÷○○

● — nema troškova ○ — mali troškovi ○○ — srednji troškovi
○○○ — veliki troškovi

Matematički model korektivnog održavanja elektronskog uređaja za donošenje odluke opravi-odbaci

Obrađen je matematički model određenih segmenata korektivnog održavanja modularno građenog elektronskog uređaja, koji se održava na dva nivoa. Segmenti su prethodno već objašnjeni, a zajednička karakteristika im je da kriterijumi korektivnog održavanja zavise od odluke opravi-odbaci.

Na slici 1 prikazan je postupak korektivnog održavanja uređaja na dva nivoa, kada su njegove MC opravljive.

U radionici I nivoa održavanja elektronski uređaj se opravljiva zamenom opravljive MC. Potrebna MC se uzima iz grupnog kompleta — 1 (GK-1). Ako MC nema u GK-1, obavlja se vanredna popuna tog kompleta MC iz grupnog kompleta — 2 (GK-2). Ako MC nema ni u GK-2, neispravna MC se vanredno šalje u radionicu na II nivou, gde se opravljiva zamenom komponente. Opravljena MC se vanredno vraća u radionicu I nivoa, gde se zamenom

opravljiva uređaj. U slučaju postojanja MC u GK-1 i GK-2, neispravna celina se redovno šalje u radionicu na II nivou, a odatle se, kada se opravi, redovno vraća u komplet iz kojeg je uzeta.

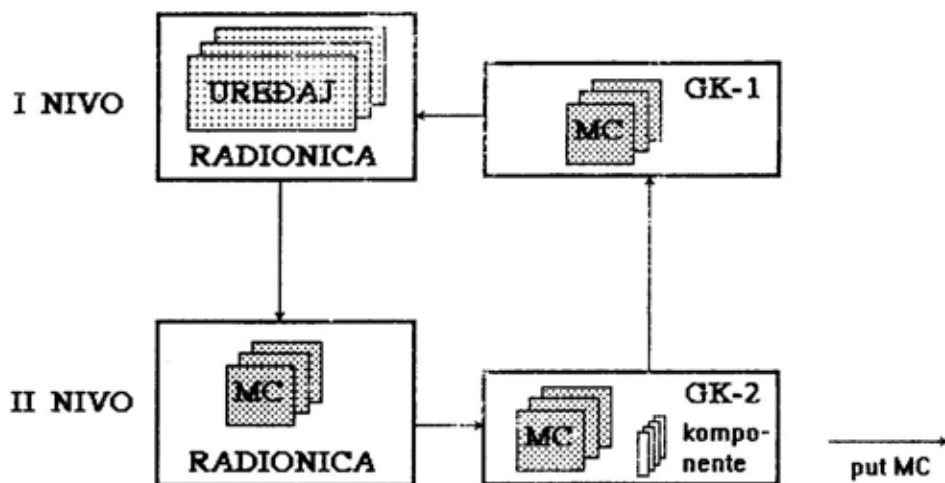
Na slici 2 prikazan je postupak korektivnog održavanja modularnog elektronskog uređaja kada su njegove MC neopravljive.

U radionici I nivoa održavanja elektronski uređaj se opravljiva zamenom neopravljive MC. Potrebna MC se uzima iz GK-1. Ako MC nema u GK-1, obavlja se vanredna popuna tog kompleta MC iz GK-2. Ovaj komplet nikada ne sme otkazati i mora imati neispravne količine MC.

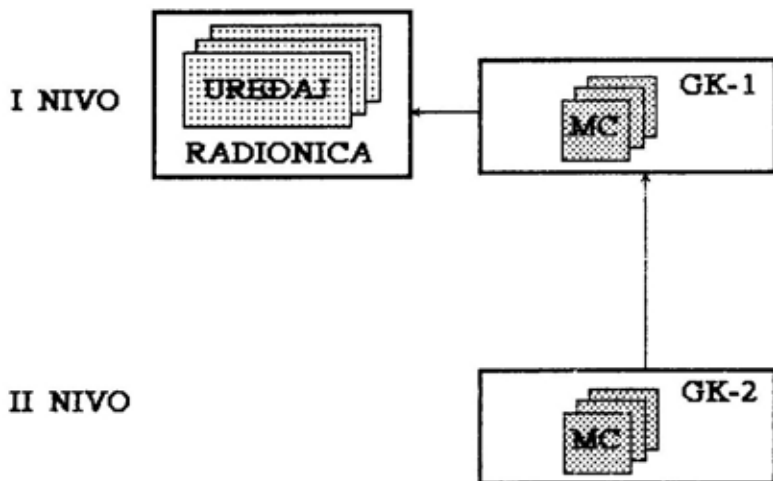
Matematički izrazi za proračun kriterijuma korektivnog održavanja

— srednje vreme zastoja uređaja zbog nedostatka MC:

$$T_{zrd} = \sum_{j=1}^B q_j t_{zj} \quad (2)$$



Sl. 1 — Korektivno održavanje elektronskog uređaja opravljivim MC



Sl. 2 — Korektivno održavanje elektronskog uređaja neopravljivim MC

gde je:

q_j — verovatnoća opravke uređaja j-tom MC,

t_{zj} — srednje vreme zastoja uređaja zbog nedostatka j-te MC,

B — broj MC.

Srednje vreme zastoja uređaja zbog nedostatka *neopravljive* MC dobija se pomoću izraza:

$$t_{zjn} = P_{j1} t'_1 \quad (3)$$

gde je:

t'_1 — srednje vreme vanredne popune GK-1 sa MC iz GK-2,

P_{j1} — verovatnoća otkaza GK-1, koja se dobija pomoću izraza:

$$P_{j1} = \frac{n_j A_j}{n_j z + n_j! \sum_{z=0}^n A_j/z!} \quad (4)$$

n_j — broj j-tih MC u GK-1,

$$A_j = t_1 \lambda_{j1uk} \quad (5)$$

t_1 — srednje vreme redovne popune GK-1 sa MC iz GK-2,

$$\lambda_{j1uk} = [K_{ej} \lambda_{j0} + (1 - K_{ej} \lambda_{jR})] b \cdot z \quad (6)$$

λ_{j0} — intenzitet otkaza j-te MC pod radnim opterećenjem,

λ_{jR} — intenzitet otkaza j-te MC kada je rasterećena,

K_{ej} — koeficijent eksploatacije j-te MC,

b — broj uređaja koji se održavaju u radionici I nivoa,

z — broj j-tih MC u uređaju.

Srednje vreme zastoja uređaja zbog nedostatka *opravljive* MC dobija se pomoću izraza:

$$t_{zjp} = t'_1 [P_{j1}(1 - P_{j2R}) + P_{j1R} P_{j2R}] + t'_{j2R} P_{j1R} P_{j2R} \quad (7)$$

$$t'_{j2R} = t'_{tr} + t_{j0} + t'_a \quad (8)$$

gde je:

t'_{tr} — srednje vreme vanrednog transporta neispravne MC od radionice I nivoa održavanja do radionice II nivoa održavanja,

t_{jo} — srednje vreme opravke j-te MC,
 t_a — srednje administrativno vreme zastoja MC pri njenoj vanrednoj opravci.

Verovatnoća otkaza GK-1, P_{j1R} , pod uslovom da tog dela nema u GK-2, dobija se pomoću izraza:

$$P_{j1} = \frac{n_j A_{j1R}}{n_j z \sum_{z=0}^{\infty} A_{j1R}/z!} \quad (9)$$

$$A_{j1R} = t_{j1R} \lambda_{j1uk} \quad (10)$$

$$t_{j1R} = t_1 + t_{tr} + t_{jo} + t_a \quad (11)$$

gde je:

t_{tr} — srednje vreme redovnog transporta neispravne MC od radionice I nivoa održavanja do radionice II nivoa održavanja,

t_a — srednje administrativno vreme zastoja MC pri njenoj redovnoj opravci.

Verovatnoća otkaza GK-2 — P_{j2R} dobija se pomoću izraza:

$$P_{j2R} = \frac{m_j A_{j2R}}{m_j z \sum_{z=0}^{\infty} A_{j2R}/z!} \quad (12)$$

m_j — broj j-tih MC u GK-2,

$$A_{j2R} = t_{j2R} \lambda_{j2uk} \quad (13)$$

$$t_{j2R} = t_{tr} + t_{jo} + t_a \quad (14)$$

$$\lambda_{j2uk} = \lambda_{j1uk} R_1 \quad (15)$$

R_1 — broj radionica I nivoa održavanja;

— troškovi razvoja i proizvodnje pogodnosti održavanja opravljivih MC:

$$C_{po} = \sum_{j=1}^B (N_{poj} c_{rs} + C_{otpoj} + C_{prpoj} b R_1) \quad (16)$$

gde je:

N_{poj} — broj sati potrebnih za razvoj pogodnosti održavanja j-te MC,

c_{rs} — cena razvojnog sata,

C_{otpoj} — ostali troškovi razvoja pogodnosti održavanja j-te MC (materijal, energija, oprema, itd.),

C_{prpoj} — razlika u troškovima proizvodnje j-te MC, zbog ugrađene pogodnosti održavanja;

— troškovi razvoja i proizvodnje specijalne opreme za opravku opravljivih MC:

$$C_{op} = \sum_{j=1}^B (N_{opj} c_{rs} + C_{otopj} + M_{opj} c_{ps} + C_{otopj}) \quad (17)$$

gde je:

N_{opj} — broj sati potrebnih za razvoj opreme za opravku j-te MC,

C_{otopj} — ostali troškovi razvoja opreme za opravku j-te MC,

M_{opj} — broj sati potrebnih za proizvodnju opreme za opravku j-te MC,

c_{ps} — cena proizvodnog sata,

C_{otopj} — ostali troškovi proizvodnje opreme za opravku j-te MC.

— troškovi izrade dokumentacije i softvera za opravku opravljivih MC:

$$C_{dok} = \sum_{j=1}^B C_{idj} \quad (18)$$

C_{idj} — troškovi izrade dokumentacije i softvera za održavanje j-te MC.

— troškovi obuke ljudstva za opravku *opravljivih MC*:

$$C_{ob} = \sum_{j=1}^B K_{sl2} c_{ob} T_{obj} \quad (19)$$

gde je:

K_{sl2} — broj slušalaca sa drugog nivoa održavanja,

c_{ob} — cena dnevne obuke po slušaocu,

T_{obj} — trajanje obuke za opravku *j*-te MC;

— troškovi početnih zaliha rezervnih delova:

Troškovi početnih zaliha *opravljivih i neopravljivih MC* dobijaju se pomoću izraza:

$$C_{zmc} = R1 \sum_{j=1}^B n_j (C_{mcj} + C_{prpoj} OPR_j) + \sum_{j=1}^B m_j (C_{mcj} + C_{prpoj} OPR_j) OPR_j \quad (20)$$

gde je:

c_{mcj} — cena *j*-te MC,

OPR_j — koeficijent *opravljivosti MC* (1 — *opravljiva MC*, 0 — *neopravljiva MC*).

Količine MC n_j i m_j za *opravljive* i n_j za *neopravljive MC* u toku održavanja se mogu iscrpsti. Za razliku od njih, zalihe *neopravljivih MC* u GK-2 (m_j) treba da budu MC neiscrpane, odnosno ne sme se desiti da u toku održavanja takvih MC nema u GK-2. Nabavljaju se za određeni period ili za ceo period eksploatacije uređaja. Troškovi ovih zaliha su u ovom modelu prikazani kroz troškove utrošenih *neopravljivih MC*. Stoga su u izrazu (20) početni troškovi *neopravljivih MC* u GK-2 jednaki nuli, kako ne bi došlo do dupliranja troškova.

Početne zalihe komponenti u GK-2, za opravku *opravljivih MC*, formiraju se na isti način kao i zalihe *neopravljivih MC* u GK-2. Troškovi ovih

zaliha prikazani su kroz troškove utrošenih komponenti za opravku *opravljivih MC*.

— troškovi radne snage na *opravci opravljivih MC*:

$$C_{umc} = C_{rs2} T_{ek} R1 \sum_{j=1}^B t_{jo} \lambda_{jtuk} \quad (21)$$

gde je:

C_{rs2} — cena radnog sata na II nivou održavanja,

T_{ek} — trajanje eksploatacije uređaja;

— troškovi transporta MC:

Troškovi transporta *opravljivih MC* dobijaju se pomoću izraza:

$$C_{tmco} = T_{ek} R1 \sum_{j=1}^B \lambda_{jtuk} [P_{joi} C_{pvj} + (1 - P_{joi}) C_{prj} + P_{joi} P_{j2R} C_{tvj} + (1 - P_{joi} P_{j2R}) C_{trj}] \quad (22)$$

$$P_{joi} = (1 - P_{j2R}) P_{j1} + P_{j2R} P_{j1R} \quad (23)$$

gde je:

C_{pvj} — cena vanrednog transporta rezervne MC od GK-2 do GK-1,

C_{prj} — cena redovnog transporta rezervne MC od GK-2 do GK-1,

C_{tvj} — cena vanrednog transporta neispravne MC od radionice na I nivou održavanja do radionice na II nivou održavanja,

C_{trj} — cena redovnog transporta neispravne MC od radionice na I nivou održavanja do radionice na II nivou održavanja.

Troškovi transporta *neopravljivih MC* dobijaju se pomoću izraza:

$$C_{tmcn} = T_{ek} R1 \sum_{j=1}^B \lambda_{jtuk} [P_{joi} C_{pvj} + (1 - P_{joi}) C_{prj}] \quad (24)$$

— troškovi utrošenih rezervnih delova:

Troškovi utrošenih neopravljivih MC dobijaju se pomoću izraza:

$$C_{umc} = T_{ek} R1 \sum_{j=1}^B C_{mcj} \lambda_{jtk} \quad (25)$$

Troškovi utrošenih komponenti za opravku *opravljivih* MC dobijaju se pomoću izraza:

$$C_{uk} = T_{ek} R1 \sum_{j=1}^B \sum_{i=1}^{L_{ji}} c_i \lambda_{jtk} \quad (26)$$

$$\lambda_{jtk} = [K_{ej} \lambda_{iO} + (1 - K_{ej} \lambda_{iR})] b z \quad (27)$$

gde je:

c_i — cena i-te komponente,

L_{ji} — broj vrsta komponenti u j-toj modularnoj celini,

λ_{iO} — intenzitet otkaza opterećene i-te komponente,

λ_{iR} — intenzitet otkaza i-te komponente kada je rasterećena.

Kada se opravka svih MC obavlja samo u jednoj radionici II nivoa održavanja, u matematičkom modelu se ne pojavljuju troškovi nabavke specijalne opreme za opravku MC i nabavke dokumentacije i softvera za opravku MC.

Metodologija donošenja optimalne odluke opravi-odbaci

Ako se elektronski modularni uređaj sastoji od B MC, i ako svaka njegova MC može biti opravljiva ili neopravljiva, broj varijanti odluke opravi-odbaci ovog uređaja dat je izrazom:

$$NV = 2^B \quad (28)$$

Na primer, ako uređaj ima 3 MC (A, B, C), i ako se opravljivost MC oz-

nači sa 1, a neopravljivost sa 0, dobiju se varijante odluke opravi-odbaci prikazane u tabeli 2.

Tabela 2

Varijante odluke opravi-odbaci uređaja sa tri MC

Broj varijante	A	B	C
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	1	0
4	0	1	1
5	1	0	0
6	1	0	1
7	1	1	0
8	1	1	1

Problem donošenja optimalne odluke opravi-odbaci svodi se na izbor one varijante odluke opravi-odbaci pri kojoj se dozvoljeno vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja postiže uz minimalne ukupne troškove korektivnog održavanja u životnom veku uređaja. Pri izboru ove varijante dovoljno je analizirati troškove samo onih segmenata korektivnog održavanja, u životnom veku uređaja, kod kojih ovi troškovi zavise od odluke opravi-odbaci i koji su matematički operacionalizovani u prethodnoj tački. U nastavku će se pod izrazom troškovi korektivnog održavanja podrazumevati samo ti troškovi.

Na slici 3 prikazan je postupak donošenja optimalne odluke opravi-odbaci kod elektronskog uređaja.

Kao ulazni podaci pojavljuju se logistički, tehnički i ekonomski parametri.

Za svaku varijantu odluke opravi-odbaci potrebno je izvršiti optimi-



Sl. 3 — Postupak donošenja optimalne odluke opravi-odbaci

zaciju početnih iscrpnih zaliha rezervnih MC u grupnim kompletima rezervnih delova, odnosno, odrediti NV skupova optimalnih varijanti početnih iscrpnih zaliha MC.

Za svaku optimalnu varijantu početnih iscrpnih zaliha MC, iz skupa optimalnih, vrši se proračun zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja i troškova korektivnog održavanja. Na osnovu dobijenih rezultata i zadatog vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja određuje se optimalna varijanta početnih iscrpnih zaliha rezervnih MC svake varijante odluke opravi-odbaci [3].

Na osnovu vrednosti srednjeg vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja i troškova korektivnog održavanja pri optimalnoj varijanti početnih iscrpnih zaliha rezervnih MC bira se optimalna varijanta odluke opravi-odbaci. Izbor ove varijante analogan je izboru optimalne varijante nadležnosti održavanja, koji je objašnjen u [3].

Primer donošenja optimalne odluke opravi-odbaci

Na osnovu matematičkog modela i postupka donošenja optimalne odluke opravi-odbaci razvijen je program OPRMOD. Pomoću programa izvršen je proračun ove odluke jednog hipotetičkog elektronskog uređaja, za različite ulazne podatke.

Uređaj se sastoji od 3 MC, a u tabeli 3 dati su intenziteti otkaza i cene.

Tabela 3

Intenziteti otkaza i cene MC elektronskog uređaja

Modularna celina	Intenzitet otkaza ($\times 10^{-6}$)	Cena (dinara)
MC-1	60	2500
MC-2	25	4500
MC-3	90	7000

U nastavku su prikazani ostali ulazni logistički, tehnički i ekonomski parametri, korišćeni u ovom primeru.

Logistički parametri:

- koeficijent eksploatacije uređaja 0,6
- trajanje eksploatacije uređaja 5 god.
- broj uređaja koji se održavaju u radionici I nivoa 5
- broj radionica I nivoa održavanja 10
- srednje vreme transporta uređaja na održavanje 0,5 h

- srednje vreme redovne popune GK-1 sa modularnom celinom iz GK-2 150 h
- srednje vreme vanredne popune GK-1 sa MC iz GK-2 24 h
- srednje vreme redovnog transporta neispravne MC od I do II nivoa održavanja 150 h
- srednje vreme vanrednog transporta neispravne MC od I do II nivoa održavanja 24 h
- broj slušalaca obuke sa drugog nivoa održavanja 4
- trajanje obuke za opravku MC 10 dana

Tehnički parametri:

- srednje vreme opravke uređaja zamenom MC 0,2 h
- srednje vreme opravke MC 4 h
- broj sati potrebnih za razvoj pogodnosti održavanja MC 100 h
- broj sati potrebnih za razvoj opreme za opravku MC 300 h
- broj sati potrebnih za proizvodnju opreme za opravku MC 50 h

Ekonomski parametri:

- cena vanrednog transporta rezervne MC od GK-2 do GK-1 100 din.
- cena redovnog transporta rezervne MC od GK-2 do GK-1 5 din.
- cena vanrednog transporta neispravne MC od radionice na I nivou održavanja do radionice na II nivou održavanja 100 din.

- cena redovnog transporta neispravne MC od radionice na I nivou održavanja do radionice na II nivou održavanja 5 din.
- cena radnog sata na II nivou održavanja 80 din.
- cena razvojnog sata 100 din.
- ostali troškovi razvoja pogodnosti održavanja MC 1000 din.
- razlika u troškovima proizvodnje MC, zbog ugrađene pogodnosti održavanja 500 din.
- ostali troškovi razvoja opreme za opravku MC 2000 din.
- cena proizvodnog sata 80 din.
- ostali troškovi proizvodnje opreme za opravku MC 7000 din.
- cena dnevne obuke po slušaocu 800 din.
- troškovi izrade dokumentacije i softvera za održavanje j-te MC 40000 din.

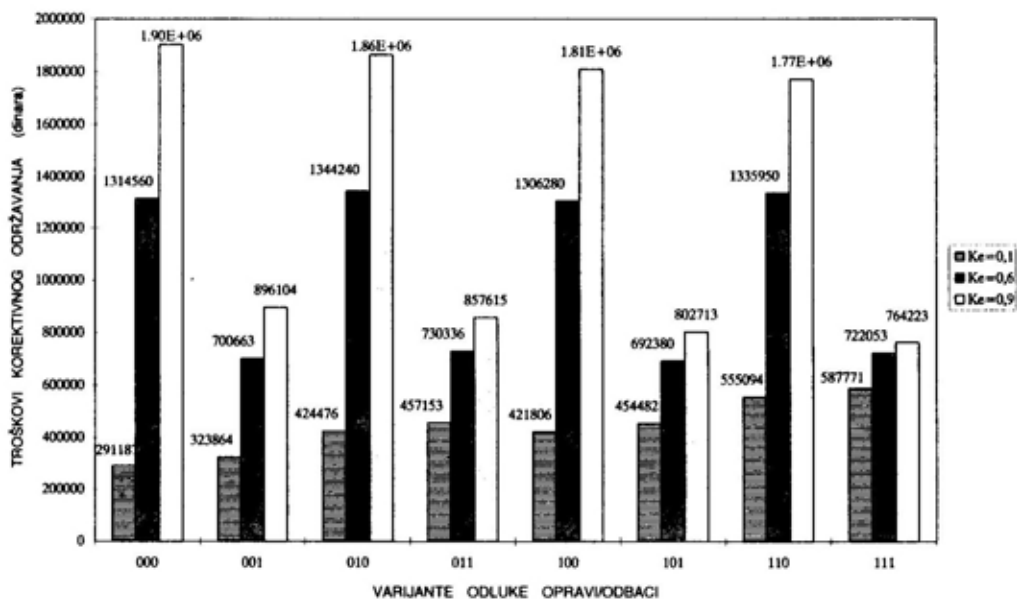
U određivanju optimalne varijante odluke opravi-odbaci kao ograničenje ja uzeto da je srednje vreme za staja uređaja zbog korektivnog održavanja $MDT_c \leq 5$ h, pa su svi rezultati optimizacije postignuti ovim ograničenjem.

Kako se uređaj sastoji od 3 MC broj varijanti odluke opravi-odbaci iznosi 8, a prikazane su u tabeli 2. Na slici 4 prikazan je međurezultat proračuna optimalne varijante odluke opravi-odbaci — zavisnost troškova korektivnog održavanja od varijanti odluke opravi-odbaci, za različite koeficijente eksploatacije uređaja ($K_e=0,1; 0,6; 0,9$).

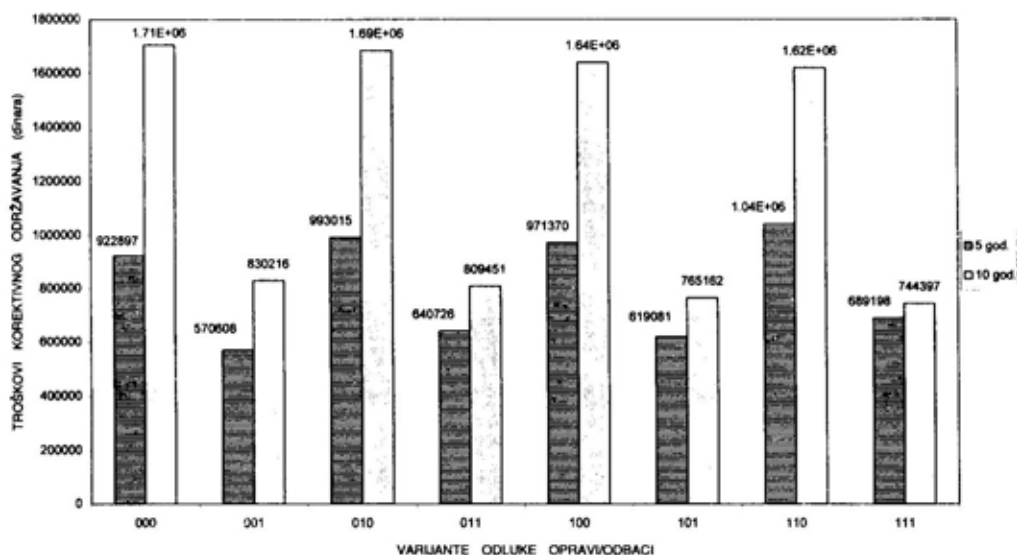
U slučaju da se uređaj u eksploataciji malo koristi ($K_e=0,1$) najmanji troškovi korektivnog održavanja su za varijantu 000, što znači da je optimalna odluka da sve MC budu neopravljive. Vidi se da su troškovi korektivnog održavanja ove varijante duplo manji od varijante 111 — da su sve MC opravljive. Ako se uređaj u eksploata-

ciji koristi 60% vremena ($K_c=0,6$) optimalna odluka jeste da MC A i C budu opravljive, a B neopravljiva. U slučaju da se uređaj u eksploataciji mnogo koristi ($K_c=0,9$) optimalna odluka je da sve MC budu opravljive.

Na slici 5 prikazana je, proračunom dobijena, zavisnost troškova korektivnog održavanja od varijanti odluke opravi-odbaci, za različito trajanje eksploatacije uređaja ($T_{ek}=5$ i 10 god.).



Sl. 4 — Zavisnost troškova korektivnog održavanja od varijanti odluke opravi-odbaci, za različite koeficijente eksploatacije uređaja



Sl. 5 — Zavisnost troškova korektivnog održavanja od varijanti odluke opravi-odbaci, za različito trajanje eksploatacije uređaja

Troškovi korektivnog održavanja

Troškovi	Varijanta 000		Varijanta 111	
	T.		T.	
	5 god.	10 god.	5 god.	10 god.
	(dinara)			
Razvoj i proizvodnja				
Pogodnost održavanja MC	—	—	108000	108000
Specijalna oprema za opravku MC	—	—	129000	129000
Dokumentacija i softver za opravku MC	—	—	120000	120000
Početak životnog veka uređaja				
Nabavka specijalne opreme za opravku MC	—	—	0	0
Obuka kadra za opravku MC	—	—	96000	96000
Nabavka dokumentacije i softvera za opravku MC	—	—	0	0
Početne zalihe rezervnih delova — MC	140000	140000	181000	181000
— komponente za opravku MC	—	—	0	0
Tok životnog veka uređaja				
Radna snaga na opravci MC	—	—	49056	98112
Transport MC	1067	2134	1850	3700
Utrošeni rezervni delovi — MC	781830	1563660	—	—
— komponente za opravku MC	—	—	4292	8584
Ukupni troškovi korektivnog održavanja	922897	1705790	689198	744397

Može se uočiti da je u slučaju trajanja eksploatacije uređaja od 5 godina optimalna varijanta 001 — da MC A i B budu neoprađljive, a MC C oporavljiva, a ako je trajanje eksploatacije uređaja 10 godina optimalna odluka je da sve MC budu oporavljive.

U tabeli 4 dati su raščlanjeni proračunom dobijeni troškovi korektivnog održavanja, u slučaju da su sve MC neoprađljive (varijanta 000) i u slučaju da su sve MC oporavljive (varijanta 111), posebno za trajanje eksploatacije uređaja 5 i 10 godina.

Zaključak

Mnogi do sada razvijeni modeli opravi-odbaci uzimali su u obzir alokaciju zaliha rezervnih modularnih celina, ali nisu koristili njihovu optimizaciju [4]. U ovom radu utvrđen je značajan uticaj ove odluke na izabrane kriterijume korektivnog održavanja upravo na polju snabdevanja potrebnim modularnim celinama. Zbog toga se u radu optimizacija rezervnih modularnih celina nalazi u osnovi razvijene metode za izbor optimalne odluke opravi-odbaci. Kako se optimizacija izvodi istovremeno za sve modularne celine uređaja [2], to je u radu bilo neophodno uvesti varijante odluke opravi-odbaci. Na taj način i odluka se ne donosi za svaku modularnu celinu posebno, kako se to izvodi u dosadaš-

njim modelima [4], nego se traži optimalna varijanta odluke, u kojoj su definisane oporavljivosti svake modularne celine.

Razvijeni matematički model i metoda donošenja optimalne odluke opravi-odbaci elektronskog uređaja, koji se održava na dva nivoa, predstavlja ju dobru osnovu za izgradnju modela i programa za donošenje ove odluke kod elektronskih uređaja koji se održavaju na više nivoa održavanja i koji imaju više nivoa modularnih celina (više i niže modularne celine). Kako se u toku razvoja uređaja donose i druge odluke vezane za ITOB (pouzdanost, modularnost, koncept održavanja, itd.), između kojih postoji visok nivo međuzavisnosti, i ovaj program bi bio samo jedan modul programskog paketa za optimizaciju kompletnog ITOB razvijanog uređaja.

Realizovani program za donošenje odluke opravi-odbaci može se primeniti i pri uvođenju uređaja u eksploataciju, naročito u slučaju kada se o ovome problemu ne vodi računa u toku njegovog razvoja ili u slučaju kupovine uređaja na tržištu. Metoda se može u potpunosti primeniti i za donošenje ove odluke kod mašinskog uređaja, s tim da se dati matematički model može primeniti samo u onom delu gde je intenzitet otkaza konstantan.

Literatura:

- [1] Korolija, D.: Model korektivnog održavanja elektronskih uređaja u sistemu održavanja sa više nivoa, Vojnotehnički glasnik 6/97, str. 648—661, 1997.
- [2] Korolija, D.: Optimizacija rezervnih delova za održavanje modularno građenih elektronskih sredstava, Vojnotehnički glasnik 5/96, str. 517—524, 1996.
- [3] Korolija, D.: Optimizacija korektivnog održavanja elektronskog uređaja, nabavljenog na tržištu, Vojnotehnički glasnik 3/98, str. 281—294, 1998.
- [4] Kline, M.: Linking LOR Models to Provisioning Models, 1985 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, New York, IEEE, 1985, 362—368.
- [5] Korolija, D.: Model snabdevanja modularno građenih elektronskih uređaja rezervnim delovima, magistarski rad, Zagreb, ETF, 1988.
- [6] Barković, M.: Prilog optimizaciji višenivojskog sistema održavanja elektronskih sredstava, doktorska disertacija, Zagreb, CVTŠ KoV JNA, 1989.
- [7] Korolija, D.: Troškovi transporta rezervnih delova za održavanje modularno građenih elektronskih uređaja, Vojnotehnički glasnik 1/97, str. 15—22, 1997.
- [8] Blanchard, B.: Design and Manage to LIFE CYCLE COST, M/A Press, Portland Oregon, 1978.
- [9] Muždeka, S.: Logistika — logističko inženjerstvo, Beograd, Tehnička uprava SSNO, 1981.

REVERZIBILNI PRORAČUN PUTANJE PROJEKTILA PRIMENOM MODELA SA ŠEST STEPENI SLOBODE KRETANJA

UDC: 531.552:533.665.015

Rezime:

U toku leta projektila, sa promenom napadnih uglova, menjaju se vrednosti Marfijevih koeficijenata H , P , M i T , u zavisnosti od promene masenih karakteristika i derivativa aerodinamičkih koeficijenata u funkciji promene brzine leta projektila. Osobina derivativa aerodinamičkih koeficijenata da su sporopromenljive funkcije pređenog puta, omogućila je u dosadašnjim numeričkim proračunima vlastito »zamrzavanje« na delu putanje. Ova osobina, uneta u numerički proračun, svakako generiše grešku pri numeričkim proračunima. U radu je data modifikacija numeričkog i programskog rešenja leta projektila sa šest stepeni slobode kretanja. Programsko rešenje za aerodinamičke koeficijente povezano je sa programskim rešenjem za šest stepeni slobode kretanja. Modifikovano programsko rešenje sa šest stepeni slobode kretanja obavlja reverzibilni proračun spoljnobalističkih karakteristika.

Ključne reči: brzina leta, aerodinamički koeficijenti, Marfijevi koeficijenti, stabilnost leta, šest stepeni slobode, dolet, napadni ugao.

REVERSIBLE CALCULATION OF A PROJECTILE PATH APPLYING THE MODEL OF SIX DEGREES OF FREEDOM MOTION

Summary:

During a projectile flight, together with the change of angles of attack, the H , P , M and T values of Murphy's coefficients are changed depending on the change of mass characteristics and derivatives of aerodynamic coefficients in the function of the projectile flight velocity change. Characteristic »freezing« on one part of the flight in numerical calculations is due to the fact that aerodynamic coefficients derivatives are slowly-changing functions of the already covered path. This characteristic, when entered into numerical calculations, automatically generates an error during numerical calculations. The paper presents a modification of numerical and software solutions of projectile flight with 6 dof motion. The program solution for aerodynamic coefficients is connected with the program solution for 6 dof motion. The modified 6 dof motion software performs the reversible calculation of exterior ballistic characteristics.

Key words: flight velocity, aerodynamic coefficients, Murphy's coefficients, flight stability, six degrees of freedom, range, angle of attack.

Uvod

Cilj ovog rada jeste da dopuni i usavrši već razvijene standardne softvere za proračun leta projektila sa

šest stepeni slobode kretanja [1, 2, 5]. Jedan od načina usavršavanja tog modela je reverzibilni proračun elementa putanje na osnovu trenutne promene napadnog ugla i brzine leta projek-

tila. Homogeni deo jednačine može se analizirati kao diferencijalna jednačina sa promenljivim koeficijentom. Uslovi žiroskopske i dinamičke stabilnosti ukazuju da je problem nemoguće pravilno rešiti bez poznavanja Marfijevih koeficijenata.

Potprogram SAK je u dosadašnjem rešenju [1, 2, 3] preuzimao izlaznu datoteku derivativa aerodinamičkih koeficijenata u strujnom koordinatnom sistemu iz odvojenog programskog rešenja AERODRD1 kao funkcije Mahovih brojeva. Neophodno je povezati programsko rešenje AERODRD1 za proračun aerodinamičkih koeficijenata u obliku potprograma, koje u toku proračuna elemenata putanje poziva aerodinamičku biblioteku ADLIB. Na osnovu poznatih geometrijskih karakteristika projektila definisanih u ulaznoj datoteci, trenutnih vrednosti brzine V , napadnog ugla α , ugla klizanja β i trenutne temperature vazduha T na odgovarajućoj visini leta obavlja se reverzibilan proračun spoljnobalističkih karakteristika.

U radu se polazi od standardnih rešenja za masu, centar mase, položaj osa i momenata inercije.

Osnovne jednačine

Model kretanja projektila sa šest stepeni slobode čine četiri vektorske jednačine:

— izvod vektora položaja projektila

$$\frac{d_r \vec{r}}{dt} = \vec{V}_k \quad (1)$$

— vektorska jednačina relativnog kretanja centra mase

$$m \frac{d_r \vec{V}_k}{dt} = \Sigma \vec{R} \quad (2)$$

— kretanje oko centra mase

$$\frac{d \vec{H}^*}{dt} = \vec{M} \quad (3)$$

— veze između ugaonih brzina i izvoda uglova

$$\vec{\Omega} = \vec{\Omega}_E + \dot{\lambda} + \dot{\varphi} + \dot{\Psi} + \dot{\Theta} + \dot{\Phi} \quad (4)$$

Kretanje projektila u odnosu na Zemlju je relativno, a uticaj rotacije Zemlje ugaonom brzinom Ω_E unosi projektilu prenosno kretanje. Brzina kretanja projektila u odnosu na Zemlju V_k predstavlja relativnu brzinu, a izvodi njenih komponenti po vremenu predstavljaju komponente relativnog ubrzanja. Rezultantu spoljnih sila koje deluju na projektil čine: gravitaciona sila Zemlje, aerodinamička sila, prenosna inercijalna sila, reaktivna sila i Koriolisova sila. U praksi se zbir gravitacione i prenosne inercijalne sile smatra silom Zemljine teže ubrzanja g . Kinetički i rezultujući moment spoljnih sila računa se za centar mase projektila. Rezultujući moment čine zbir aerodinamičkog momenta i momenta reaktivne sile u odnosu na centar mase. Sila Zemljine teže i inercijalna Koriolisova sila deluju u centru mase projektila i ne stvaraju momente za centar mase.

Aerobalistički koordinatni sistem koristi se za analizu leta projektila malog dometa (do 20 km). Zanimaruje se rotacija geodetskog koordinatnog sistema u odnosu na Zemlju i ugaona brzina Zemlje u odnosu na ugaonu brzinu projektila u geodetskom koordinatnom sistemu. Ne zanemaruje se Koriolisova sila i sila Zemljine teže. Projektovanjem ovih vektorskih jednačina leta na aerobalistički koordinatni sistem, uz pretpostavku da je tenzor inercije redukovana ($I_x = I_z$), dobija se:

— izvod vektorskih položaja:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = L_{OB} \begin{bmatrix} u_k \\ v_k \\ w_k \end{bmatrix} \text{ ili } \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = L_{LB} \begin{bmatrix} u_k \\ v_k \\ w_k \end{bmatrix} \quad (5)$$

— šest skalarnih jednačina:

$$\begin{aligned} \dot{u}_k &= q w_k - r v_k + \frac{(X + F_x)}{m} - g \sin \Theta - a_{cx} \\ \dot{v}_k &= p w_k - r u_k + \frac{(Y + F_y)}{m} - a_{cy} \\ \dot{w}_k &= -p v_k + q u_k + \frac{(Z + F_z)}{m} + \\ &+ g \cos \Theta - a_{cz} \\ \dot{p} &= \frac{(L + L^F)}{I_x} \end{aligned} \quad (6)$$

$$q = p r + \frac{(-I_x p r + M + M^F)}{I_y}$$

$$r = -p b r + \frac{(I_x p q + N + N^F)}{I_y}$$

— tri jednačine izvoda uglova stava

$$\dot{\Phi} = p + r \operatorname{tg} \Theta$$

$$\dot{\Theta} = q \quad (7)$$

$$\dot{\Psi} = \frac{r}{\cos \Theta}$$

gde su:

$$V_k = \begin{bmatrix} u_k \\ v_k \\ w_k \end{bmatrix}^T \text{ — komponente relativne brzine projektila,}$$

$$\Omega^b = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}^T \text{ — komponente ugaone brzine,}$$

$$R = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^T \text{ — komponente aerodinamičke sile,}$$

$$F = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}^T \text{ — komponente reaktivne sile,}$$

$$M^a = \begin{bmatrix} L \\ M \\ N \end{bmatrix}^T \text{ — komponente aerodinamičkog momenta,}$$

$$M^F = \begin{bmatrix} L^F \\ M^F \\ N^F \end{bmatrix}^T \text{ — komponente reaktivnog momenta,}$$

$$H = \begin{bmatrix} I_x p \\ I_y q \\ I_y r \end{bmatrix}^T \text{ — komponente kinetičkog momenta.}$$

Ovim diferencijalnim jednačinama neophodno je pridružiti algebarsku jednačinu

$$p_b = r \operatorname{tg} \Theta, \quad (8)$$

i komponente Koriolisovog ubrzanja u aerobalističkom koordinatnom sistemu

$$a = \begin{bmatrix} a_{cx} \\ a_{cy} \\ a_{cz} \end{bmatrix} = 2\Omega_E^b \cdot V_k \quad (9)$$

Za rotirajući projektil malih dimenzija vektor stanja sadrži dvanaest komponenti:

$$\left[x, y, z, u_k, v_k, w_k, p, q, r, \Phi, \Theta, \Psi \right]$$

Stabilnost leta projektila

Stabilnost projektila [1, 2, 6, 8] predstavlja sposobnost tela da njegova uzdužna osa simetrije u dovoljnoj meri prati pravac brzine translacije, koja je tangenta u svakoj tački na trajektoriji centra mase. Matematički gledano, projektil treba da poseduje takve osobine da neutrališe poremeća-

je koji izazivaju ovu nesaglasnost. Stabilnost se razmatra uvođenjem kvantitativnih kriterijuma Ljapunova u odnosu na jedan slučaj odabranog neporemećenog kretanja. Statičku stabilnost karakteriše ravnoteža sila i momenata u svakom trenutku leta projektila. Kao kvantitativni pokazatelj može se uzeti stepen preopterećenja. Dinamička stabilnost ceni se na osnovu kvantitativnih kriterijuma Ljapunova: maksimalne vrednosti amplitude poremećene veličine u odnosu na nominalnu, vremena prigušenja-trajanja prelaznog procesa, periodičnosti i aperiodičnosti, itd.

Kod klasičnih projektila stabilizacija se ostvaruje pomoću mogućnosti projektila da rotira velikom ugaonom brzinom, čime se obezbeđuje oscilatorni karakter promene veličina stanja poremećenog kretanja. Promene amplitude oscilatornog kretanja vezane su za problem dinamičke stabilnosti, i zavise od momenata i sila koje deluju na projektil, u prvom redu od prigušnog i Magnusovog momenta. Pri proučavanju dinamičke stabilnosti uvodi se kompleksna bočna brzina ζ i kompleksni bočni ugao ξ :

$$\zeta = v + iw$$

$$\xi = \beta + i\alpha$$

Uglovi α i β su mali, pa se može uspostaviti veza između kompleksne bočne brzine i kompleksnog bočnog ugla:

$$\xi = \frac{v + iw}{V} = \frac{\zeta}{V}$$

Diferencijalna jednačina po kompleksnoj bočnoj brzini je:

$$\zeta'' + (H + iP)\zeta' - (M + iPT)\zeta = iA + iE + G \quad (10)$$

Leva strana jednačine predstavlja homogeni, a desna nehomogeni (prinudni) deo, gde je:

$$H = -C_{z\sigma} + \frac{C_{mq} + C_{m\sigma}}{r_y'^2} \quad \text{— Marfijev koeficijent,}$$

$$r_y'^2 = \frac{r_y}{d} \quad \text{— bezdimenzioni poluprečnik,}$$

$$P = \frac{I_x}{I_y} \cdot \frac{p \cdot d}{V} \quad \text{— Marfijev koeficijent,}$$

$$M = \frac{\gamma(C_{m\sigma} - C_{m\sigma} \cdot \frac{v'}{V}) - C_{mq} C_{z\sigma}}{r_y'^2} \quad \text{— Marfijev koeficijent,}$$

$$T = -C_{z\sigma} + \frac{\gamma C_{np\sigma}}{r_x'^2} \quad \text{— Marfijev koeficijent,}$$

$$A = \frac{V(C_{m0} + iC_{n0})}{r_y'^2} \quad \text{— aerodinamička nesimetrija,}$$

$$E = \frac{M^F + iN^F}{mv} \cdot \frac{1}{r_x'^2} - i \left[\frac{(F_y + F_z)d}{mv} \right] \quad \text{— poprečni reaktivni moment,}$$

$$G = i \frac{gd \cos\Theta}{V} \left[\frac{v'}{V} + \frac{C_{mq}}{r_y'^2} + iP \right] \quad \text{— moment nastao zbog ubrzanja Zemljine teže.}$$

Izbor kompleksne poprečne brzine projektila, kao parametra čija se stabilnost ispituje, omogućava izvođenje kriterijuma stabilnosti. Rešenje diferencijalne jednačine sastoji se od homogenog i partikularnog integrala. Homogena diferencijalna jednačina imaće oblik:

$$\zeta'' + (H - iP)\zeta' - (M + iPT)\zeta = 0 \quad (11)$$

Rešenje homogene diferencijalne jednačine određuje se preko karakteristične jednačine:

$$r^2 + (H - iP)r - (M + iPT) = 0 \quad (12)$$

Rešenje homogene diferencijalne jednačine imaće oblik:

$$\zeta_h = Z_{1c} e^{i\Phi_1} + Z_{2c} e^{i\Phi_2} \quad (13)$$

gde je:

$$Z_j = Z_{j0} e^{\lambda_j s^*}, \quad j = 1, 2$$

$$\Phi_j = \Phi_{j0} + \Phi_{j1} s^*, \quad j = 1, 2$$

$$r_j = \lambda_j + i\Phi_j = \frac{1}{2} [-H + iP \pm \sqrt{4M + H^2 - P^2 + 2iP(2T - H)}], \quad j = 1, 2$$

$$r_j = \frac{1}{2} \left[-H \pm \sqrt{1 - \frac{1}{Sg}} \right] +$$

$$+ i \frac{P}{2} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{1}{Sg}} \right], \quad j = 1, 2$$

Da bi $\sqrt{1 - \frac{1}{Sg}}$ imalo realno re-

šenje, neophodno je zadovoljiti uslov $P^2 - 4M > 0$. Na osnovu te pretpostavke mogu se odrediti približni izrazi za frekvenciju i prigušenje:

$$\Phi_j = \frac{1}{2} \left[P \pm \sqrt{P^2 - 4M} \right], \quad j = 1, 2$$

$$\lambda_j = -\frac{1}{2} \left[H \pm \frac{P(2T - H)}{\Phi_1 - \Phi_2} \right], \quad j = 1, 2$$

Uvođenjem oznake:

$$\frac{1}{Sg} = \frac{4M + H^2}{P^2} \cong \frac{4M}{P^2} \quad (14)$$

gde je $4M \geq H^2$, zadržava se samo uticajniji član $4M$. Da bi kompleksna diferencijalna jednačina imala rešenje, neophodno je da je:

$$\frac{1}{Sg} = \frac{4M}{P^2} < 1 \quad (15)$$

Uvođenjem oznake

$$Sd = \frac{2(T + C_x^*)}{H + 2C_x^*}$$

dobija se uslov dinamičke stabilnosti projektila

$$\frac{1}{Sg} < Sd(2 - Sd) \quad (16)$$

a jednačina granične krive stabilnosti definisana je izrazom

$$\frac{1}{Sg} = Sd(2 - Sd) \quad (17)$$

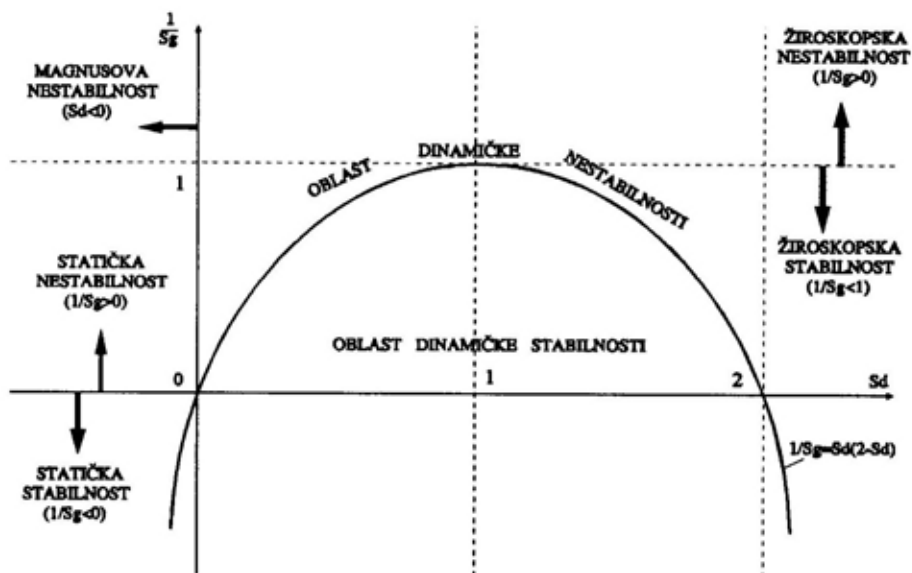
i prikazana na slici 1.

Programsko rešenje metode sa šest stepeni slobode kretanja

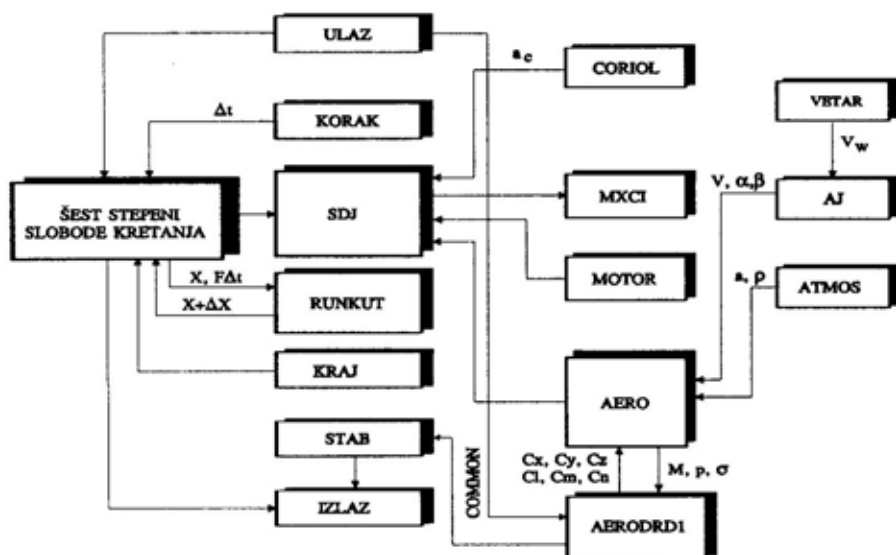
Program je namenjen za detaljan spoljnobalistički proračun i simulaciju leta rotirajućeg projektila sa i bez reaktivne sile. Tensor inercije je simetričan, masa je konstantna ili promenljiva, a atmosfera standardna sa i bez vetra. Prema jednoj opciji program proračunava karakteristične parametre stabilnosti leta projektila, a integracija diferencijalnih jednačina obavlja se metodom Runge-Kuta sa četiri približenja.

Tačnost proračuna zavisi od: ko- raka integracije, tačnosti i broja de- rivativa aerodinamičkih koeficijenata, definisane brzine vetra i reaktivne sile.

Na slici 2 prikazan je algoritam metode sa šest stepeni slobode kreta- nja. Programsko rešenje sa implemen- tiranom aerodinamikom napravljeno



Sl. 1 — Granična kriva stabilnosti



Sl. 2 — Algoritam putanje projektila sa šest stepeni slobode kretanja

je u programskom jeziku FORTRAN na personalnom računaru, detaljno je prikazano u [2, 3], a sastoji se od sledećih celina:

1. Program LET6SSK — glavni program,
2. Datoteka ULAZ — ulazni podaci za proračun i simulaciju leta,
3. Datoteka CONFIG — ulazni podaci za konfiguraciju projektila,
4. Datoteka IZLAZ1 — izlazni podaci za elemente putanje,
5. Datoteka IZLAZ2 — izlazni podaci za stabilnost leta projektila.

Analiza rezultata proračuna

Na slici 3 grafički je prikazan dolet projektila 122 mm za različite polazne uglove.

Na slici 4 dat je uporedni prikaz promene dometa sa promenom polaznog ugla za projektil 122 mm za početnu brzinu $V_0 = 690$ m/s.

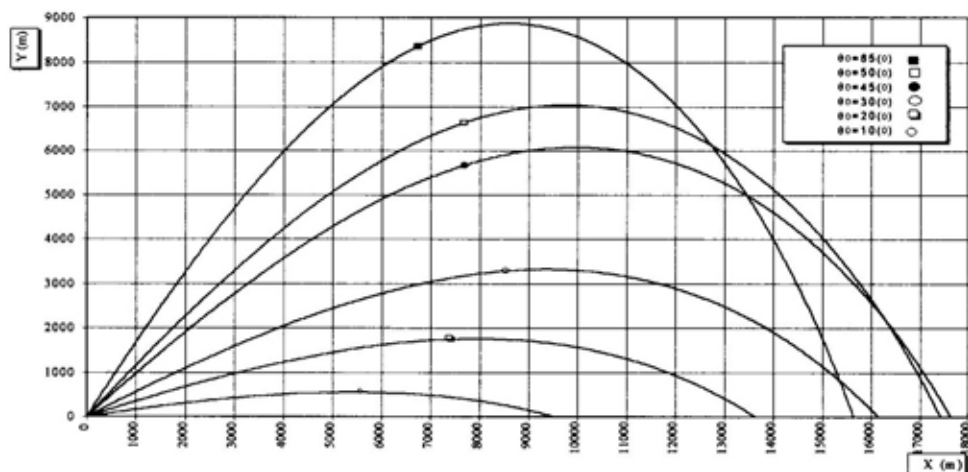
Na slici 5 dat je uporedni prikaz promene ordinata sa promenom polaznog ugla za projektil 122 mm za početnu brzinu $V_0 = 690$ m/s.

Na slici 6 dat je uporedni prikaz promene padne brzine sa promenom polaznog ugla za projektil 122 mm za početnu brzinu $V_0 = 690$ m/s.

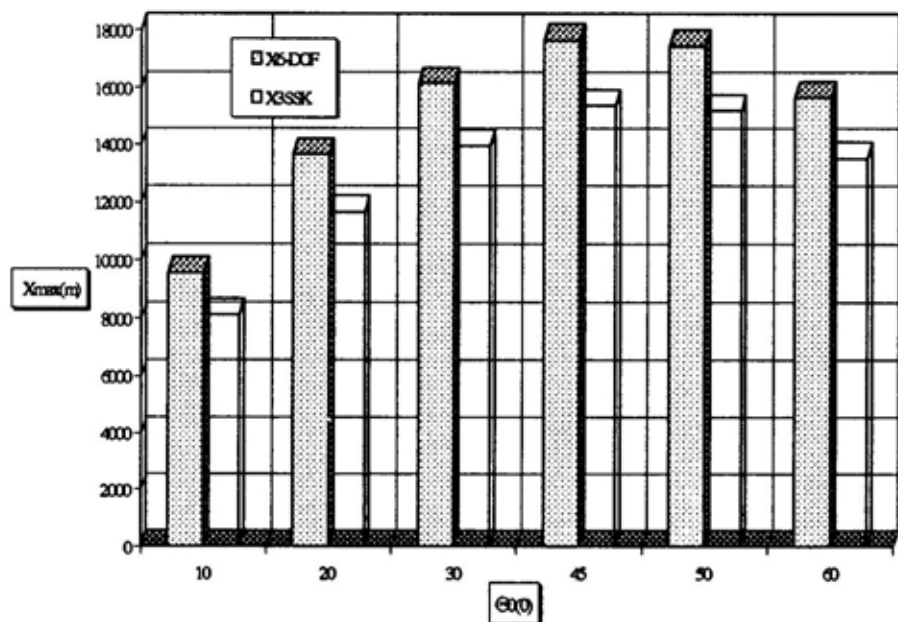
Na slici 7 prikazana je promena napadnog ugla u zavisnosti od promene ugla klizanja α (β) duž putanje za projektil 122 mm. Napadni ugao projektila u momentu izlaska iz cevi nastaje kao posledica delovanja ističućih barutnih gasova i vibracije cevi. Tokom složenog kretanja oko težišta napadni ugao se smanjuje, da bi se posle kraćeg vremena amortizovao. Posle $t=4$ s vrednost $\alpha=0,1^\circ$ dok je u području temena $\alpha = 0,9^\circ$.

Na slici 8 prikazana je promena napadnog ugla u zavisnosti od promene ugla klizanja α (β) za pređeni put od jedne nutacije $X = 500$ d projektila 122 mm. Sa slike se vidi da postoji potpuna amortizacija vrednosti ovih uglova u vremenu jedne pune nutacije.

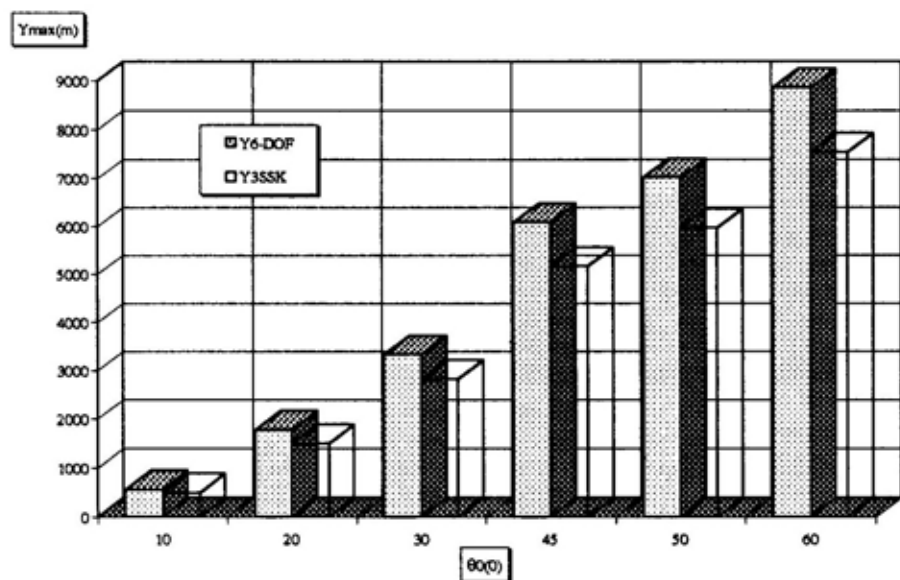
Na slici 9 prikazana je promena napadnog ugla i ugla klizanja duž putanje projektila 122 mm. Primarno dejstvo na daljnje kretanje projektila ima promena pravca brzine, koja je u početku znatno manja od uticaja početnih uslova. Na projektil destabilizirajuće deluje moment sile uzgona, Magnusov moment i prigušni



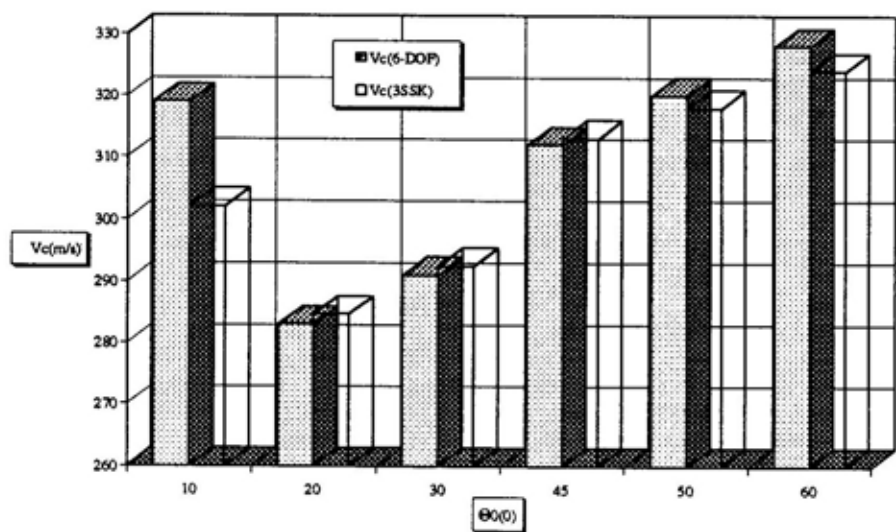
Sl. 3 — Promena dometa pri različitim polaznim uglovima



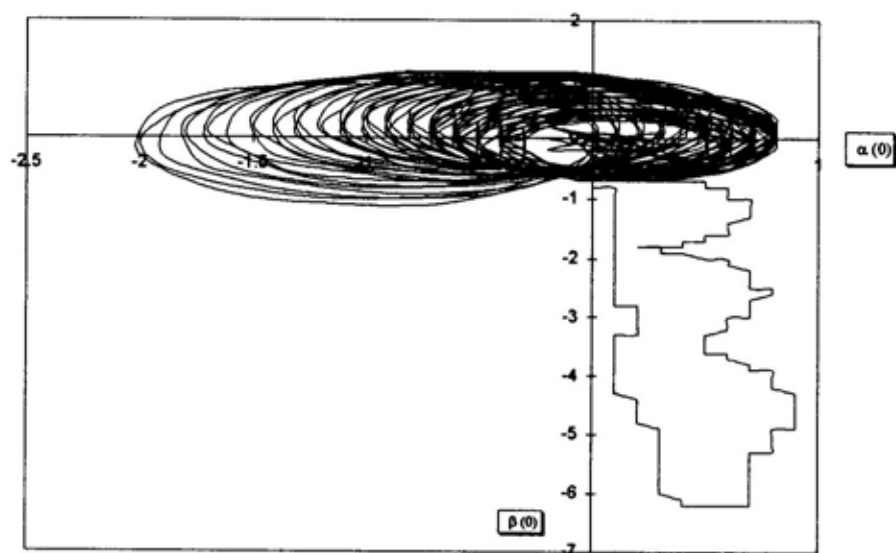
Sl. 4 — Uporedni prikaz dometa X6-DOF i X3 SSK pri različitim polaznim uglovima



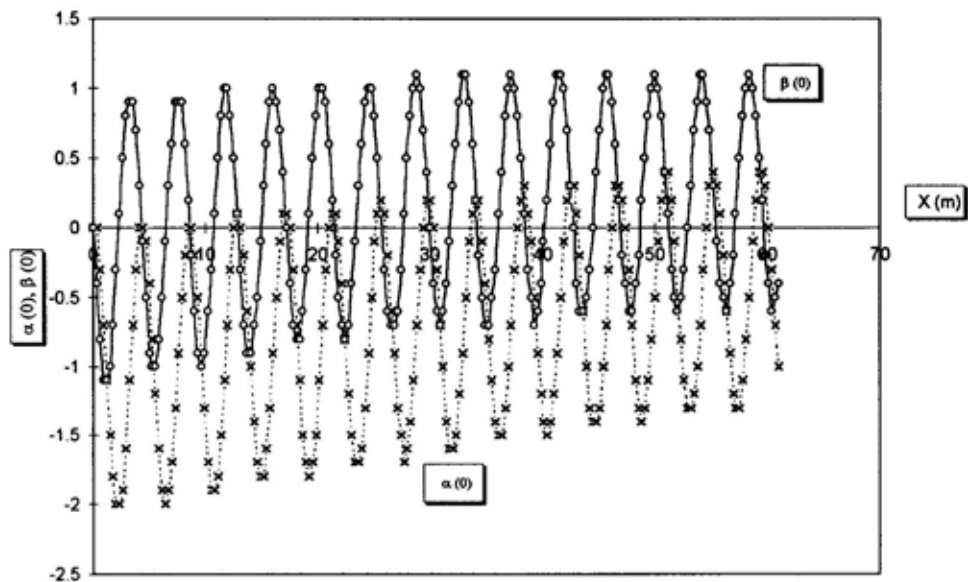
Sl. 5 — Uporedni prikaz ordinata Y6-DOF i Y3 SSK pri različitim polaznim uglovima



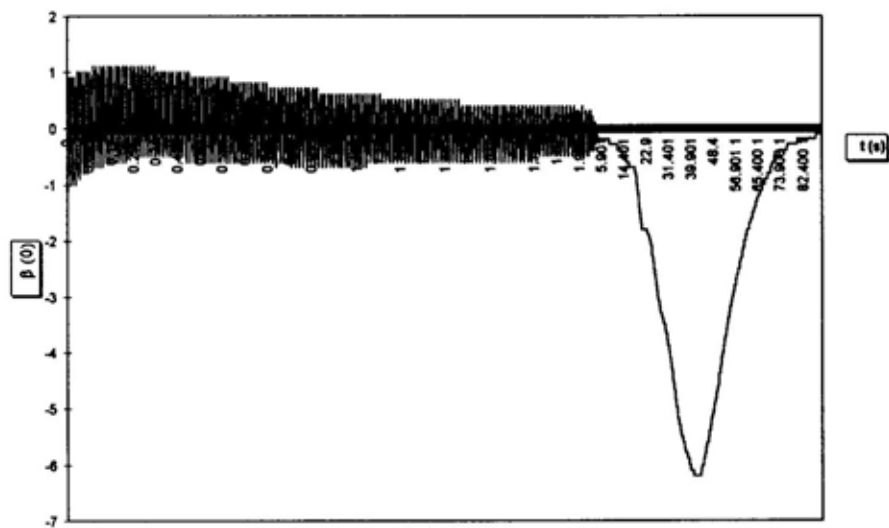
Sl. 6 — Uporedni prikaz padne brzine V_c (6-DOF) i V_c (3SSK) pri različitim polaznim uglovima



Sl. 7 — Promena $\alpha(\beta)$ duž putanje



Sl. 8 — Promena $\alpha(\beta)$ za put $X=500$ d



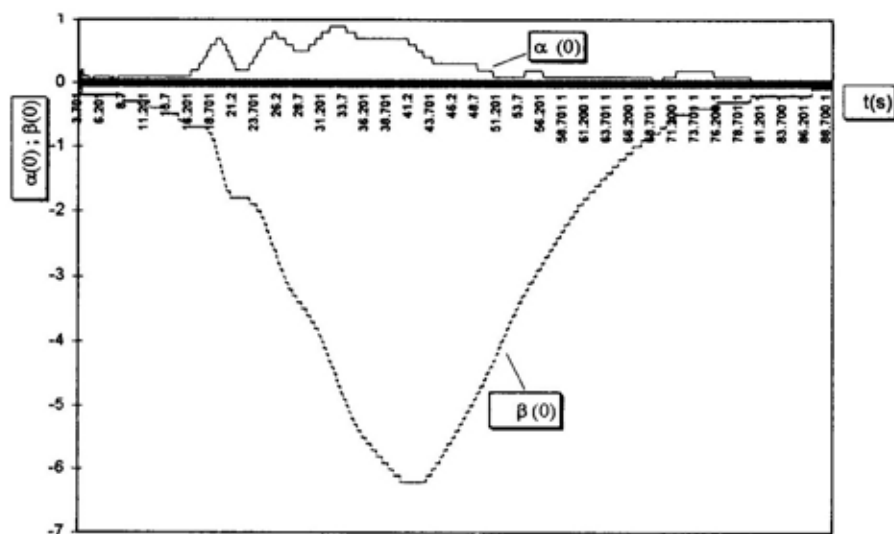
Sl. 9 — Promena $\beta(t)$ duž putanje

moment. Moment prigušenja poprečne oscilacije i Magnusov moment utiču na smanjenje i povećanje amplitude oscilovanja. Ako se amplituda smanjuje kretanje je stabilno, a ako se povećava kretanje je nestabilno. Preterano velike vrednosti koeficijenta žiroskopske stabilnosti S_g čine projektil prestabilnim, što može dovesti do pojave nestabilnosti na zakrivljenom delu putanje.

Na slici 10 prikazana je promena $\alpha(t)$ i $\beta(t)$ za vreme $t=3,7$ s — 89,3 s. Obezbeđenje statičke stabilnosti samo je potreban ali ne i dovoljan uslov za stabilan let projektila. Zadovoljenjem žiroskopske stabilnosti ispunjen je uslov da prostorni napadni ugao σ ima oscilatoran karakter. Dinamička stabilnost po bočnoj brzini realizuje se kada se amplitude oscilacija približa-

vaju nekoj asimptotskoj vrednosti. Taj uslov je ispunjen ako su vrednosti koeficijentata prigušenja manji od nule.

Sa slike 10 vidi se da na početnom delu putanje kod stabilnih projektila dolazi do amortizacije nutacionog kretanja koje se zadržava u malim granicama sa određenom brzinom presesije. Na krivolinijskom delu putanje brzina menja pravac koji bi osa projektila morala da prati, ali kod projektila stabilisanih rotacijom oko uzdužne ose usled inercije dolazi do opiranja. Projektil stabilniji na početnom delu putanje više će se opirati na krivolinijskom delu putanje. Karakter kretanja na krivolinijskom delu putanje uslovljen je dejstvom sila i momenata na projektil.



Sl. 10 — Promena $\alpha(t)$ i $\beta(t)$ za vreme $t=3,7$ —89,3 s

Zaključak

Spoljnobalistički proračun elemenata putanje sa šest stepeni slobode kretanja i stabilnosti leta projektila na svom putu od usta cevi do padne

tačke vrlo je blizak realnim uslovima. Pri verifikaciji postavljenog modela pošlo se od konfiguracije projektila 122 mm [2, 3, 5]. U grupi potprograma umesto izlazne datoteke SAK, implementiran je potprogram za prora-

čun aerodinamičkih koeficijenata i njihovih derivativa AERODRD1. Paralelno se obavlja reverzibilni proračun aerodinamičkih koeficijenata i spoljnoba-lističkih karakteristika. Na osnovu upoređenja eksperimentalnih i teorijskih rezultata izvršena je: korekcija aksijalnog koeficijenta za 1,8 %, povećanje numeričke vrednosti koeficijenta momenta propinjanja za 8 %, i smanjenje koeficijenta normalne sile za 8 %.

Na osnovu sprovedene analize posmatrani model je pokazao izuzetno dobru statičku i dinamičku stabilnost na početnom i zakrivljenom delu putanje. Maksimalna vrednost ugla klizanja u području temena iznosi $\beta = -6,2^\circ$ posle vremena $t = 40$ s, da bi se zatim te vrednosti amortizovale na putanji prema padnoj tački.

Teorijski model leta projektila sa šest stepeni slobode verifikovan je kroz brojne numeričke eksperimente sa savremenim artiljerijskim projektilima kalibra 122 mm, 152 mm i 40 mm.

Literatura:

- [1] Janković, S.: CAD of the unguided missiles, 11 th International Symposium on Ballistics, Brussels, May 09-11, 1989, pp: 749-758.
- [2] Regodić, D.: Prilog numeričkoj analizi dvodimenzionalnog strujanja oko osnosimetričnog tela, VTA VJ Beograd, doktorski rad, 1997.
- [3] Regodić, D.: Analiza stabilnosti i tačnosti matematičkog modela dinamike projektila, Međunarodni naučno-stručni skup Vazduhoplovstvo '97, Sekcija Aerodinamika i projektovanje, str. 94-100, Beograd, 1997.
- [4] Regodić, D.: Uticaj vrste strujanja na ukupni aerodinamički koeficijent, VTG-1, Beograd, 1995.
- [5] Regodić, D., Perme B.: Određivanje aerodinamičkih karakteristika pri različitim napadnim uglovima, XXII Jugoslovenski kongres teorijske i primenjene mehanike, Vrnjačka Banja, 1997.
- [6] ***: 11 th International symposium on ballistics. Zbornik radova, Brussels-Belgium, May 09-11, 1989.
- [7] ***: 15 th International symposium on ballistics. Zbornik radova, Jerusalem-Israel, May 21-24, 1985.
- [8] ***: International standard ISO 1151 *Terms and symbols for flight dynamics - part I-IV.

Mr Zoran Ristić,
pukovnik, dipl. inž.
Mile Davidović,
dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

UTICAJ KARAKTERISTIČNIH PARAMETARA HIDRAULIČNE KOČNICE TRZANJA NA PROCES KOČENJA TRZAJUĆE MASE

UDC: 623.435.2.001.575

Rezime:

U radu je prikazan matematički model za određivanje karakterističnih parametara procesa kočenja trzajuće mase na oruđu. Usvojen je model hidraulične kočnice trzanja sa diskretnim rasporedom protočnih otvora u cilindru. Određivanje površine otvora i rastojanja među njima izvršeno je na osnovu pet kriterijuma relevantnih za proces kočenja. Za sve kriterijume usvojena su ograničenja s obzirom na veličine modula ubrzanja i veličine maksimalne — početne i krajnje brzine trzanja. Na primeru oruđa komentarisani su dobijeni rezultati i uporedna analiza prema razmatranim kriterijumima.

Ključne reči: hidraulična kočnica, klip, protočna površina, put kočenja, vreme kočenja.

INFLUENCE OF HYDRAULIC BRAKES TYPICAL PARAMETERS ON THE PROCESS OF RECOILING MASS BREAKING

Summary:

The mathematical model for providing typical parameters of the process of breaking of recoiling mass on an artillery gun is presented. The model of hydraulic brakes with some discretizing distribution of orifice surfaces in the cylinder is defined. The orifice surfaces and distance between them are determined on the basis of five criteria relevant for breaking process. The limitations are defined for all criteria in consideration to the module acceleration value and the value of maximum initial and limited recoil velocity. The discussion of calculated results is given as well as the comparative analysis according to the discussed criteria.

Key words: hydraulic brakes, piston, orifice surface, breaking path, breaking time.

Uvod

Poznato je da na veličinu sile otpora trzanju, odnosno na ponašanje trzajućih delova oruđa pri opalenju, najviše utiče sila otpora hidraulične kočnice (HK) trzanja. Prema podacima u široj literaturi, zavisno od vrste i tipa oruđa, HK trzanja apsorbuju od 50 do 80 % ukupne energije trzajućih delova oruđa na zadanom pu-

tu trzanja. U konstruktivnom smislu postoji više vrsta HK i one su, uglavnom, razvijene na konceptu ispunjenog cilindra kočnice fluidom, klipnjači sa klipom i protočnim površinama za proticanje fluida u prostoru cilindra kočnice.

Po rasporedu i obliku protočnih otvora (tzv. unutrašnje armature) HK oruđa su specifično građene u odno-

su na uobičajena rešenja HK, amortizera i sl. u drugim uređajima.

Pouzdanost režima rada HK zavisi od više faktora, a prvenstveno se obezbeđuje ograničenjima veličine maksimalnog pritiska u cilindru kočnice, modulom ubrzanja klipa, što uslovljava i određena ograničenja pri izboru dimenzija HK.

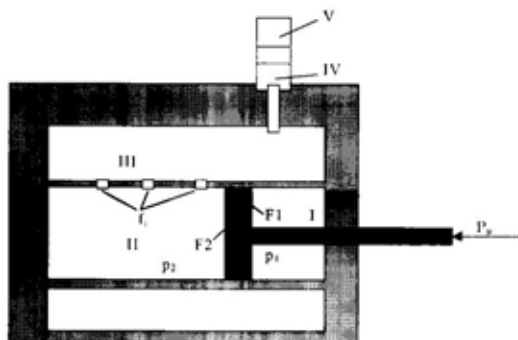
Pri projektovanju HK osnovni problem sastoji se u definisanju njenih dimenzija i određivanju površina prekrivanja protočnih otvora pri kretanju klipa ili određivanju površina otvora promenljivih prečnika i rastojanja između otvora koji obezbeđuju zadata ograničenja radnih pritisaka fluida i ubrzanja, tj. usporenja klipa.

Na primeru šeme nezavisne HK jednostavne konstrukcije analiziran je proces kočenja trzajuće mase. Pri tome su raspored i dimenzije protočnih otvora određeni prema sledećim kriterijumima: minimalni put kočenja, minimalno vreme kočenja, jednak skok ubrzanja pri prekrivanju protočnih otvora, ravnomerno apsorbovanje kinetičke energije kretanja i jednako rastojanje između otvora za proticanje fluida. U svim varijantama definisano je ograničenje po maksimalnom ubrzanju klipa, a veličine početne i krajnje brzine kretanja trzajuće mase su poznate.

Kriterijumi za određivanje parametara HK

Na slici 1 prikazana je šema modela HK sa diskretnim rasporedom protočnih otvora jednostavne konstrukcije.

Energija trzajućih delova oruđa pri pomeranju klipa kočnice smanjuje se usled rada sila otpora, koji nastaje pri istiskivanju tečnosti iz radnog prostora II kroz otvore u prostor III, a odatle u prostor IV kmpenzacionog rezervoara.



Sl. 1 — Šema modela HK

Trzajući delovi čvrsto vezani sa klipnjačom, pod delovanjem impulsa sile trzanja, naglo se ubrzavaju iz stanja mirovanja i kreću brzinom $v_0 = v_{max}$. Pomeranjem klipa unutar cilindra kočnice uspostavlja se kretanje fluida pri čemu se znatan deo kinetičke energije utroši na savladavanje unutrašnjih otpora usled sila trenja fluida i otpora pri kretanju kroz protočne otvore. Usvaja se da nema gubitaka tečnosti u cilindru kočnice na mestu klipa i klipnjače. Uz date napomene i oznake prema slici 1 jednačina kretanja klipa glasi, [1]:

$$m\dot{v} = P_n - p_2 F_2 \quad (1)$$

$P_n = P_R + p_1 F_1 - P_t$ — rezultantna sila

$$p_2 = \frac{\zeta \rho}{2} F_2^2 \frac{v^2}{F^2(x)} \text{ — pritisak tečnosti}$$

gde je:

m — masa klipa kočnice i trzajućih delova,

x — pomak klipa,

v — brzina klipa,

F_1, F_2 — efektivne površine klipa,

P_t — sila trenja zida cilindra i klipa,

P_R — rezultanta spoljašnjih sila,

p_1, p_2 — pritisci u šupljinama cilindra hidrauličke kočnice,

- ρ — gustina tečnosti,
 ζ — koeficijent otpora struje (usvaja se konstantna vrednost),
 f — površina otvora.

Pretpostavlja se da je spoljašnja sila jednaka sili trenja i sili vraćanja, odnosno $P_n=0$. Za prelaz na bezdimenzionalne promenljive iskorišćuje se odnosi [1]:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{a_{\Pi}}{2} \frac{du}{d\tau}; \quad v = \frac{v_0}{2} u;$$

$$x = x_{\Pi} \xi; \quad t = t_{\Pi} \tau; \quad f = f_y u; \quad p = p_c \sigma, \quad (2)$$

gde su:

u, ξ, τ, v, σ — brzina, pomak, vreme, površina otvora i pritisak,

$x_{\Pi}, t_{\Pi}, f_y, p_c$ — promenljive,
 v_0 — brzina klipa i trzajuće mase u trenutku kontakta,
 a_{Π} — konstanta.

Promenljive se određuju po formulama:

$$t_{\Pi} = \frac{v_0}{a_{\Pi}}, \quad x_{\Pi} = \frac{v_0^2}{2a_{\Pi}},$$

$$f_y = F_2 \frac{v_0}{2} \sqrt{\frac{\zeta \rho}{2p_c}}, \quad p_c = \frac{m a_{\Pi}}{F_2}. \quad (3)$$

Posle zamene izraza (2) i (3) u (1) dobija se jednačina kretanja klipa hidrauličke kočnice u bezdimenzionalnom obliku:

$$\frac{du}{d\tau} = - \frac{2u^2}{v^2(\xi)}. \quad (4)$$

Rešavanjem jednačine (4), razdvajanjem promenljivih, kada površina protočnih otvora ostaje konstantna, $u_{i-1} = \text{const}$, dobija se:

$$u_i = u_{i-1} e^{-\frac{2\Delta\xi_i}{v_{i-1}^2}}, \quad (5)$$

a vreme kretanja na tom rastojanju biće:

$$\Delta\tau_i = \frac{v_{i-1}^2}{2} \left[\frac{1}{u_i} - \frac{1}{u_{i-1}} \right]. \quad (6)$$

Diskretna promena površina otvora pri kretanju klipa daje skokovitu promenu ubrzanja pri prekrivanju narednog otvora:

$$\Delta u = - \left[\frac{2u_i^2}{v_i^2} - \frac{2u_{i-1}^2}{v_{i-1}^2} \right]. \quad (7)$$

Put i vreme kočenja su:

$$\xi_T = \sum_{i=1}^n \Delta\xi_i, \quad \tau_T = \sum_{i=1}^n \Delta\tau_i. \quad (8)$$

Minimalni put kočenja

Izbor razmeštaja i veličine otvora pri minimalnom putu kočenja sa n otvora i pri ograničenom modulu ubrzanja

$$\left| \dot{u}_0 \right|_{\max} = -2, \quad \left| \dot{u}_i \right|_{\max} = -2.5;$$

$i=1, 2, \dots, n$, dobijen je iz rešenja sistema jednačina oblika:

$$\frac{\partial \xi_T}{\partial u_i} = 0, \quad i=1, 2, \dots, (n-1) \quad (9)$$

Pri tome se vrednosti početne brzine u_0 i krajnje brzine u_n moraju poklapati sa zadatim vrednostima. Iz izraza (5) i (8) se dobija da je

$$\xi_T = \sum_{i=1}^n \frac{v_{i-1}^2}{2} \ln \frac{u_{i-1}}{u_i}. \quad (10)$$

Dalje je, na osnovu relacije

$$\left| \dot{u}_i \right|_{\max} = \frac{2u_i^2}{v_i},$$

$$\xi_T = \sum_{i=1}^n \frac{u_{i-1}^2}{\left| \dot{u}_{i-1} \right|_{\max}} \ln \frac{u_{i-1}}{u_i}, \quad (11)$$

$$\frac{\partial \xi_T}{\partial u_i} = \frac{1}{\left| \dot{u}_{i-1} \right|_{\max}} \left[u_i + 2u_i \ln \frac{u_i}{u_{i+1}} - \frac{u_{i-1}^2}{u_i} \right] = 0, \text{ odnosno} \quad (12)$$

$$1 + 2 \ln \frac{u_i}{u_{i+1}} - \left(\frac{u_{i-1}}{u_i} \right)^2 = 0 \quad (13)$$

$$\left(\frac{u_i}{u_{i+1}} \right)^2 = e^{\left(\frac{u_{i-1}}{u_i} \right)^2} - 1 \quad (14)$$

Usvaja se da je:

$$I_i = \left(\frac{u_i}{u_{i+1}} \right)^2 \Rightarrow I_{i-1} = \left(\frac{u_{i-1}}{u_i} \right)^2$$

$$\text{pa je } I_i = e^{I_{i-1} - 1}. \quad (15)$$

Dalje je:

$$I_0 = \left(\frac{u_0}{u_1} \right)^2; I_1 = \left(\frac{u_1}{u_2} \right)^2; \dots; I_{n-1} = \left(\frac{u_{n-1}}{u_n} \right)^2$$

iz čega sledi

$$I_0 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \dots \cdot I_{n-1} = \left(\frac{u_0}{u_n} \right)^2 = K_0. \quad (16)$$

Prema tome, metodom postupnog približavanja treba rešiti sistem jednačina (15), ($i=1, 2, \dots, n$), uz uslov

$$\prod_{i=0}^{n-1} I_i = K_0.$$

Rezultati proračuna bezdimenzionalnih površina otvora Δu_i i bezdimenzionalnih rastojanja između otvora $\Delta \xi_i$ za $n=6$, $u_0=2$, $u_n=0,04$ dati su u tabeli 1, kao varijanta I.

Minimalno vreme kočenja

Varijanta II u tabeli 1 dobijena je rešavanjem sistema jednačina

$$\frac{\partial \tau_T}{\partial u_i} = 0, i=1, 2, \dots, (n-1), \quad (17)$$

pri čemu su ograničenja kao u varijanti I. Ovaj problem detaljnije je izložen u [2].

$$\text{Na osnovu relacije } \left| \dot{u}_i \right|_{\max} = \frac{2u_i^2}{u_i},$$

iz (6) dobija se da je:

$$\Delta \tau_j = \frac{1}{\left| \dot{u}_{i-1} \right|_{\max}} \left[\frac{u_{i-1}^2}{u_i} - u_{i-1} \right] \quad (18)$$

Uvrštavanjem ovog izraza u relaciju (8), iz (17) sledi:

$$\frac{\partial \tau_T}{\partial u_i} = \frac{1}{\left| \dot{u}_{i-1} \right|_{\max}} \left[\frac{2u_i}{u_{i+1}} - \frac{u_{i-1}^2}{u_i^2} - 1 \right] = 0,$$

odnosno (19)

$$2 \frac{u_i}{u_{i+1}} - \left(\frac{u_{i-1}}{u_i} \right)^2 = 1. \quad (20)$$

Usvaja se:

$$I_i = \frac{u_i}{u_{i+1}} \Rightarrow I_{i-1} = \frac{u_{i-1}}{u_i} \text{ pa je}$$

$$I_i = \frac{1}{2} \left[1 + I_{i-1}^2 \right], \quad i=1, 2, \dots, n \quad (21)$$

uz uslov:

$$\prod_{i=0}^{n-1} I_i = C_0. \quad (22)$$

Jednak skok ubrzanja

Razmotriće se rad hidrauličke kočnice kada su raspored i veličina ot-

	u_i	$\Delta\theta_i$	$\Delta\xi_i$	f_i (cm ²)	d_i (cm)	v_i (m/s)	x_i (m)	t_i (s)	P_{2m}	a_{max}	
Varijanta I	0	2,0	0,0	0,0					56885812 Pa	194,96 m/s ²	
	1	1,819	0,373	0,190	0,940	1,094	12,059	0,107			0,008
	2	1,408	0,367	0,338	0,924	1,085	9,338	0,298			0,026
	3	1,009	0,358	0,265	0,900	1,071	6,687	0,447			0,045
	4	0,627	0,341	0,193	0,859	1,046	4,159	0,556			0,066
	5	0,284	0,307	0,125	0,773	0,992	1,883	0,626			0,092
6	0,040	0,218	0,063	0,549	0,836	0,265	0,662	0,151			
Varijanta II	0	2,0	0,0	0,0					61590572 Pa	211,08 m/s ²	
	1	1,549	0,614	0,511	1,486	1,376	10,272	0,266			0,023
	2	1,005	0,487	0,416	1,178	1,225	6,664	0,482			0,049
	3	0,595	0,366	0,212	0,887	1,062	3,947	0,592			0,071
	4	0,309	0,256	0,093	0,619	0,888	2,051	0,641			0,088
	5	0,131	0,159	0,033	0,385	0,700	0,872	0,658			0,101
6	0,040	0,082	0,008	0,198	0,502	0,265	0,662	0,111			
Varijanta III	0	2,0	0,0	0,0					69327054 Pa	237,60 m/s ²	
	1	1,042	0,857	1,043	1,954	1,577	6,908	0,482			0,051
	2	0,543	0,446	0,283	1,018	1,139	3,599	0,613			0,078
	3	0,283	0,233	0,077	0,530	0,822	1,875	0,649			0,092
	4	0,147	0,121	0,021	0,276	0,593	0,977	0,659			0,099
	5	0,077	0,063	0,006	0,144	0,428	0,509	0,661			0,103
6	0,040	0,033	0,002	0,075	0,309	0,265	0,662	0,105			
Varijanta IV	0	2,0	0,0	0,0					7753836 Pa	265,73 m/s ²	
	1	1,826	0,156	0,146	0,336	0,654	12,105	0,060			0,005
	2	1,633	0,172	0,149	0,372	0,688	10,828	0,122			0,010
	3	1,414	0,196	0,153	0,422	0,733	9,378	0,185			0,016
	4	1,155	0,232	0,162	0,500	0,798	7,659	0,252			0,024
	5	0,817	0,302	0,185	0,652	0,911	5,419	0,329			0,036
6	0,040	0,695	0,806	1,499	1,382	0,265	0,662	0,433			
Varijanta V	0	2,0	0,0	0,0					58123517 Pa	199,20 m/s ²	
	1	1,765	0,210	0,200	0,524	0,816	11,702	0,110			0,009
	2	1,503	0,234	0,200	0,583	0,862	9,967	0,221			0,019
	3	1,205	0,267	0,200	0,665	0,920	7,988	0,331			0,031
	4	0,854	0,314	0,200	0,782	0,998	5,661	0,441			0,048
	5	0,430	0,379	0,200	0,944	1,096	2,851	0,552			0,076
6	0,029	0,359	0,200	0,894	1,067	0,191	0,662	0,275			

vora određeni na osnovu kriterijuma jednakog skoka ubrzanja. Traži se raspored otvora koji obezbeđuje jednak skok ubrzanja (7) pri prekrivanju narednog otvora:

$$\Delta \dot{u} = \text{const}, \quad (23)$$

pri maksimalnom modulu ubrzanja:

$$\left| \dot{u} \right|_{\text{max}} = \frac{2u_i^2}{v_i^2} = 2,5. \quad (24)$$

Koristeći izraz (24), jednačina (7) dobija oblik:

$$\Delta \dot{u}_i = -2,5 \left(1 - \frac{u_i^2}{u_{i-1}^2} \right). \quad (25)$$

Na osnovu (23) i (25) sledi da odnos brzina na kraju i na početku svakog dela mora biti konstantan. Ako je:

$$\frac{u_i}{u_{i-1}} = b, \quad b < 1. \quad (26)$$

tada je:

$$u_1 = b \cdot u_0; \quad u_2 = b^2 \cdot u_0; \dots \quad u_n = b^n \cdot u_0.$$

Iz ovog odnosa dobija se zavisnost broja otvora n od zadate početne u_0 i krajnje brzine u_n :

$$n = \frac{\ln \frac{u_n}{u_0}}{\ln b}. \quad (27)$$

Znači, što je b manje, što odgovara manjem skoku ubrzanja (25), to je veći broj potrebnih otvora n .

Rastojanje među otvorima, pri tome, biće:

$$\Delta \xi_i = 0,4 u_0^2 b^{2(i-1)} \ln b^{-1}. \quad (28)$$

Rezultati proračuna površina Δv_i i rastojanja među njima $\Delta \xi_i$, za $n=6$, $u_0=2,0$, $u_n=0,04$, uz ispunjavanje uslova (23), (24) i (26), dati su u tabeli 1 kao varijanta III.

Jednak gubitak kinetičke energije

Ako se raspored i veličina otvora odredi iz uslova jednakog gubitka kinetičke energije pri kretanju klipa od i -tog do $(i+1)$ -og otvora, znači da je:

$$\left(\frac{u_0^2 - u_n^2}{n} \right) = C = \text{const}. \quad (29)$$

Brzina u_i računa se iz izraza:

$$u_{i-1}^2 - u_i^2 = C, \quad (30)$$

a pomak klipa i vreme iz relacija (10) i (6). Dobijene dimenzije otvora i rastojanja između njih date su u tabeli 1, kao varijanta IV.

Jednako rastojanje među otvorima

Kada je zadat put kočenja (ξ_T), veličina otvora dobija se na osnovu jednakog rastojanja među njima:

$$\Delta \xi_i = \frac{\xi_T}{n} = d = \text{const} \quad (31)$$

Na osnovu izraza (10) sledi da je:

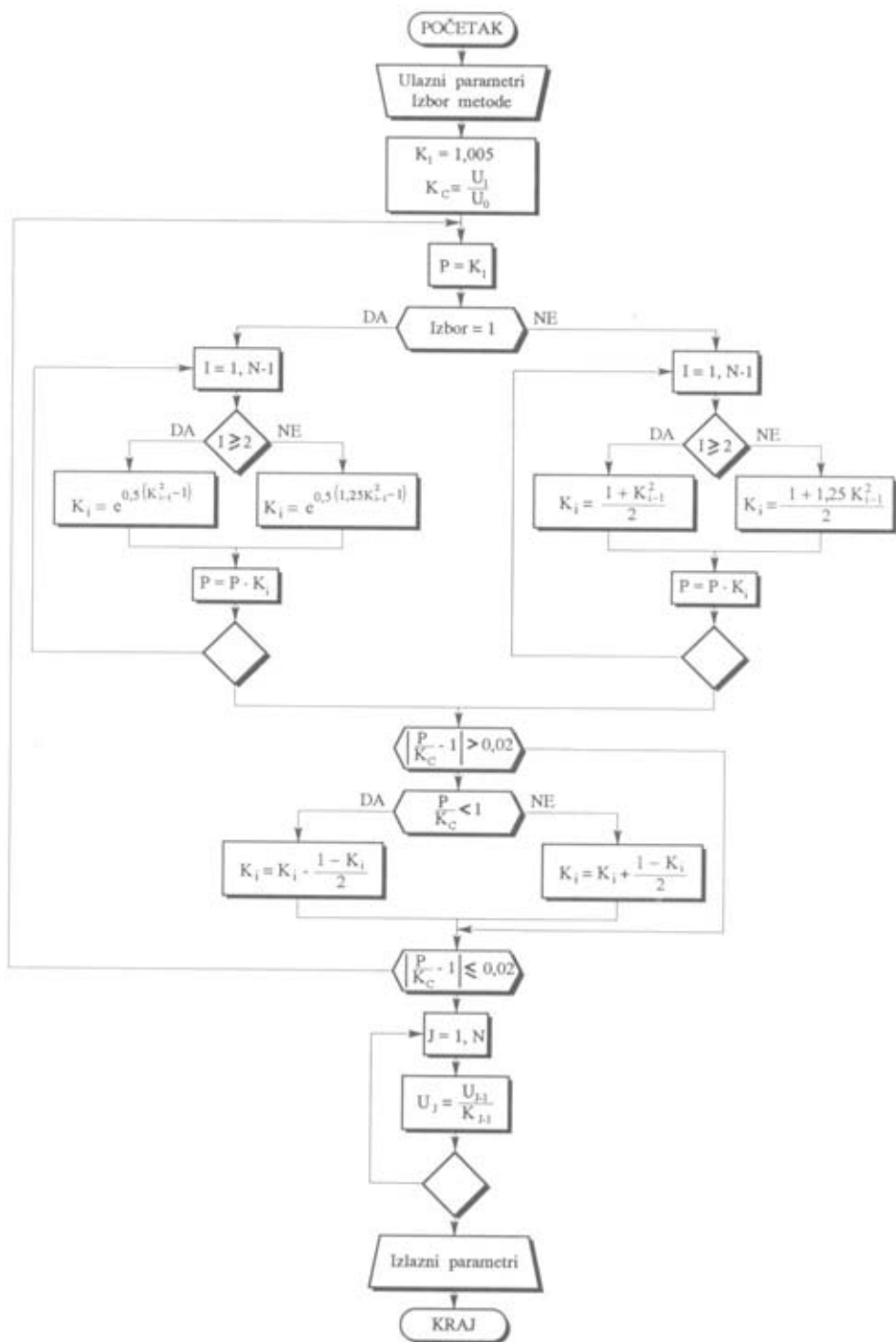
$$\frac{v_{i-1}^2}{2} \ln \frac{u_i}{u_{i-1}} = d \quad (32)$$

Površine otvora i ubrzanje klipa dobijaju se iz (32) i (24), a vreme iz (6).

Dobijeni rezultati dati su u tabeli 1, kao varijanta V.

Programski model za rešavanje problema

Za numeričko određivanje parametara HK trzanja, definisanih prema datim kriterijumima, izrađeno je odgovarajuće programsko rešenje. Algoritam programskog rešenja sistema jednačina (15) i (21), uz uslov (16) i (22), metodom postupnog približenja, dat je na slici 2.



Sl. 2 — Algoritam programskog rešenja

Programsko rešenje čine dve ce-line, glavni program i blok potprograma (procedura). Glavni program služi za unos određenih polaznih podataka, pruža mogućnost korisniku da izabere kriterijum na osnovu kojeg će se vršiti proračun i upravljati radom potprograma. Drugi deo programa sastoji se od više procedura. Procedure KOEF1 do KOEF5 služe za proračun koeficijentata po kriterijumima: minimalni put kočenja, minimalno vreme kočenja, jednak skok ubrzanja pri prekrivanju otvora, ravnomerno apsorbovanje kinetičke energije trzanja i jednako rastojanje među otvorima za proticanje fluida.

Posebним izborom opcije moguće je zbirni prikaz rezultata proračuna po svim kriterijumima. Ova opcija omogućava komparativni prikaz rezultata i izbor optimalnog kriterijuma za proračun hidraulične kočnice trzanja.

Programsko rešenje rađeno je u PASKALU.

Upoređivanje kriterijuma za izbor parametara HK

Upoređivanje proračunskih veličina površina otvora za proticanje ($\Delta\theta_i$) i rastojanja među njima ($\Delta\xi_i$), prema datim kriterijumima (varijante I do V), ilustrovano je na primeru oruđa TN za koje su definisani sledeći podaci:

— početna brzina trzanja $v_0 = v_m = 13,26$ (m/s),

— prečnik cilindra HK $D = 0,120$ (m),

— masa trzajućih delova $m = 3300$ (kg),

— gustina tečnosti HK $\rho = 900$ (kg/m³),

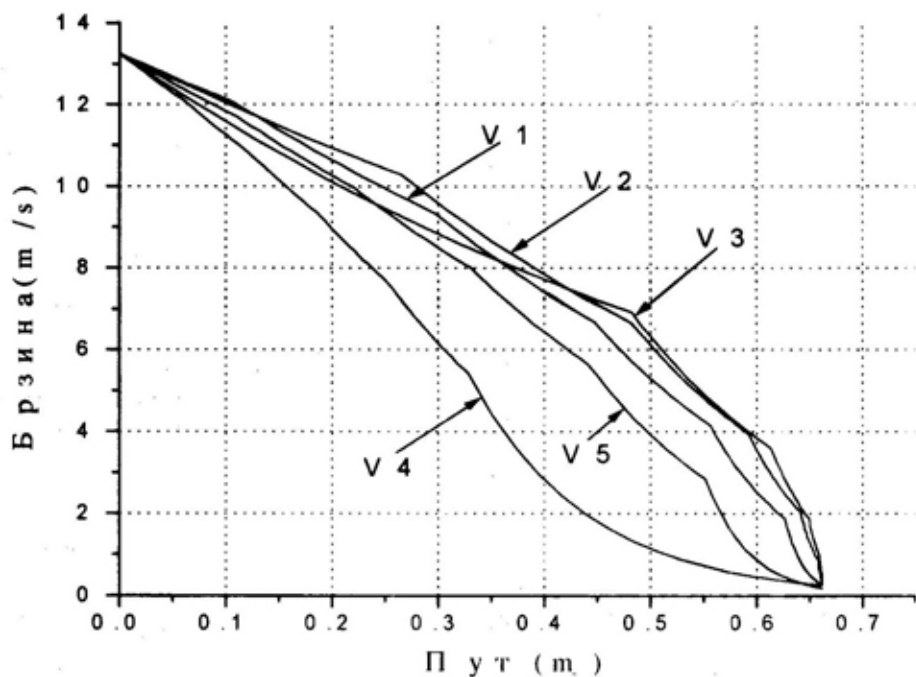
— koef. gubitka tečnosti $\zeta = 1,14$,

— put kočenja $x_t = 0,662$ (m),

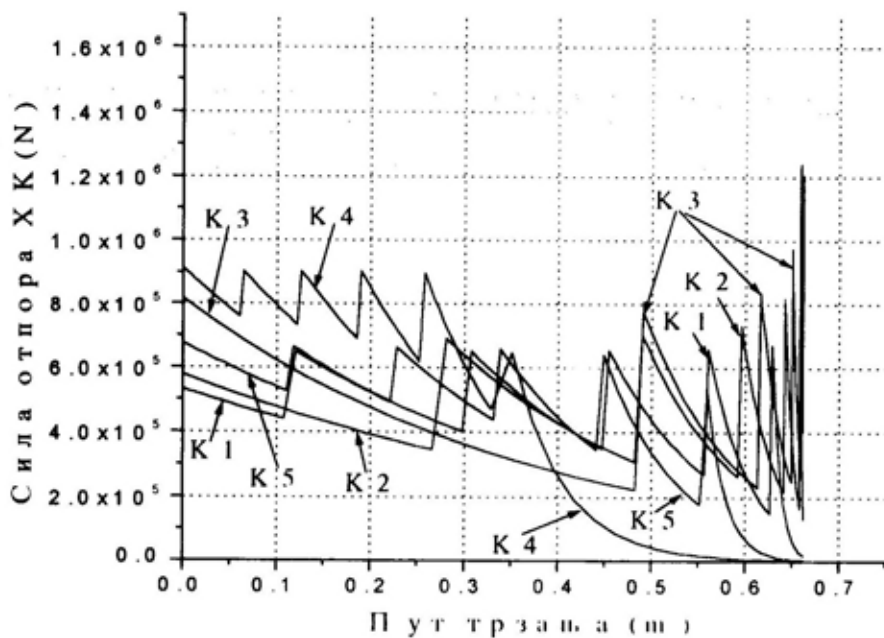
— broj otv. za protic. tečnosti $n = 6$.

Upoređivanje dobijenih vrednosti za maksimalne pritiske (p_{2m}) u HK, ubrzanja a_{max} i vremena kočenja (t_i), prema tabeli 1, omogućuje da se utvrdi kako izabrani kriterijumi utiču na proces kočenja i kako se menjaju dimenzije i površine otvora i njihov raspored sa pomakom klipa. Prema dobijenim rezultatima, varijanta IV, zasnovana na kriterijumu ravnomernog apsorbovanja kinetičke energije kretanja, nije prihvatljiva zbog visokog pritiska $p_{2m} = 77,5$ MPa i velikog vremena kočenja $t_t = 0,433$ s. Varijanta V, izvedena iz uslova jednakog rastojanja između otvora, iako u konstruktivnom smislu najjednostavnija, daje relativno veliko vreme kočenja $t_t = 0,275$ s. Ovakav raspored otvora može se prihvatiti u slučaju ako vreme kočenja nije odlučujući parametar. U varijanti III dobijeno vreme kočenja $t_t = 0,105$ s je najmanje u odnosu na sve varijante, ali prema varijantama I i II daje veći pritisak u cilindru HK, $p_{2m} = 69,3$ MPa, i vrlo mala rastojanja između poslednja tri otvora za proticanje. Varijanta I, prema kriterijumu minimalnog puta kočenja i II prema minimalnom vremenu kočenja su optimalne, kako po vremenu kočenja, tako i po vrednosti maksimalnog pritiska $p_{2m} = 56,8$ MPa i $p_{2m} = 61,6$ MPa. Zavisnost brzine kočenja od puta kočenja na slici 3 za sve varijante po karakteru promene prilično je ujednačena, osim za varijantu IV prema kriterijumu jednakog apsorbovanja kinetičke energije kretanja.

U svim razmatranim varijantama pri proračunu pada ubrzanja prema (7) pretpostavljena je trenutna promena površine otvora pri prekrivanju sa klipom. Pri tome se svaki otvor može izvesti u obliku proreza ili slaganjem u nizu po obodu poprečnog preseka cilindra HK. Na slici 4 data je promena sile otpora HK u zavisnosti od puta kočenja.



Sl. 3 — Zavisnost brzine od puta kočenja



Sl. 4 — Promena sile otpora HK od puta

Promena sile otpora kočnice trzanja ima testerast karakter promene za sve varijante proračuna. Nagli skokovi sile otpora nastaju usled trenutnog prekrivanja pojedinih otvora, pri čemu dolazi do diskretnog smanjivanja ukupne površine za proticanje tečnosti iz prostora II u prostor III (sl. 1), odnosno diskretnog povećanja lokalnih brzina strujanja. Na kraju procesa trzanja, ukoliko dođe do prekrivanja poslednjeg otvora, dolazi do naglog skoka sile otpora usled malog koeficijenta stišljivosti tečnosti. Ovakav oblik promene sile otpora uzrokuje nestalan rad kočnice trzanja i nije preporučljiv za primenu. Ukoliko bi se umesto diskretnog rasporeda otvora primenili kontinuirani otvori po obodu unutrašnjeg cilindra kočnice, promena sile otpora kočnice trzanja bila bi kontinuirana. Konstrukcija ovakve kočnice znatno je jednostavnija od dosad primenjivanih kočnica trzanja. Sa slike 4 vidi se da kriterijumi I i V daju najravnomerniju raspodelu sile otpora, a najveći skokovi sile otpora na kraju trzanja dobijaju se po kriterijumu III.

Literatura:

[1] Cuhanova, E. A., Jašina, M. A.: Rasčeta hidrodempfera s učetom diapazona izmenjenja mase. Mašinstroenie, 1981.

Zaključak

Razmatrani model jednostavne HK sa diskretnim rasporedom otvora za proticanje prema datim kriterijumima omogućuje željeni izbor potrebnih parametara procesa kočenja koji mogu biti odlučujući za ukupno apsorbiranje kinetičke energije trzajuće mase usled impulsa trzanja. Definiranim ograničenjima za veličine maksimalnog pritiska u cilindru HK, kao i ubrzanja pokretnih delova, može se obezbediti potrebna pouzdanost rada HK i smanjenje uticaja inercijalnih sila u procesu kočenja kretanja trzajuće mase.

Ovakvim modelom, i u slučaju da se ne može u potpunosti obezbediti potreban zakon kočenja za promenljive dužine trzanja, mogu se znatno pojednostaviti konstruktivna rešenja HK. U tom smislu predloženi model treba dalje istražiti i dograditi, kako bi se obezbedili svi zahtevi HK trzanja u procesu kočenja na oruđima različitih tipova.

- [2] Cuhanova, E. A., Jašina, M. A. Rasčeta parametara hidrodempfera s diskretno izmenjivim oknami. Mašinstroenie, 1982.
- [3] Ristić, Z.: Kočeno kretanje mase pomoću hidraulične kočnice VTG 1/87, str. 63—70.

Ljubiša Brkić,
potpukovnik, dipl. inž.
VP 3001 Beograd
Dr Božidar Krstić,
docent, dipl. inž.
Mašinski fakultet,
Kragujevac

ANALIZA POGONSKOG MOTORA VOZILA SPECIJALNE NAMENE, SA ASPEKTA POJAVE NEISPRAVNOSTI, PRIMENOM METODE STABLA OTKAZA

UDC: 621.423.004.15:623.437/438

Rezime:

Primenom metode stabla otkaza analizirane su pojave neispravnosti pogonskog motora vozila specijalne namene. Sa aspekta pojave neispravnosti, u periodu od pet godina, praćena su 532 vozila specijalne namene. To su vozila koja prelaze vrlo mali broj kilometara godišnje, a od njih se zahteva visoka raspoloživost. Zbog toga je posebno važno da se odrede parametri pouzdanosti njihovih sastavnih delova, kao i vozila u celini.

Ključne reči: pouzdanost, otkaz, raspoloživost, vozilo, stablo otkaza.

ANALYSIS OF A SPECIAL-PURPOSE VEHICLES ENGINE FROM THE ASPECT OF INCORRECTNESS

Summary:

Using the failure tree method, the analysis of special-purpose vehicles engine is done from the aspect of incorrectness appearance. The behaviour of 532 vehicles was followed from the aspect of incorrectness appearance in the period of five years. These are vehicles which cross a little number of kilometers over a year, because of their purpose, but they must have high availability. For that reason, a specially important task is to determine reliability parameters of their constituent parts and a complete vehicle as well.

Key words: reliability, failure, availability, vehicle, failure tree.

Uvod

Cilj formiranja stabla otkaza vozila jeste utvrđivanje njegovih kritičnih delova, za poznate uslove korišćenja i održavanja. Analiza stabla otkaza je deduktivna metoda. Prvo se definiše tzv. vršni događaj, a zatim analizira uticaj pouzdanosti pojedinih delova na ukupnu pouzdanost vozila. Osnova ove metode je tzv. stablo otkaza kojim se simbolički opisuju logičke relacije između događaja [1].

Neželjeni (vršni) događaji otkrivaju se induktivnom analizom. Kvalitativnim definisanjem neželjenog do-

gađaja otpočinje ova analiza, a zatim se ide unazad kroz konfiguraciju sistema da bi se pronašli otkazi delova sistema i greške koje mogu dovesti do pojave otkaza. Stablo otkaza predstavlja grafički prikaz odnosa između specifičnih događaja i ukazuje na pojave neželjenog događaja pod njihovim uticajem [1].

Redosled događaja koji mogu prozurokovati neželjeni događaj predstavljaju grane stabla, tzv. moguće puteve njegove pojave. Svi logični redosledi događaja otpočinju sa neželjenim vršnim događajem.

Stablo otkaza nije metod koji uključuje sve moguće otkaze već samo one koji mogu izazvati vršni događaj i čija je pojava najverovatnija. Kada se odredi takav događaj u sledećem nižem nivou stabla unose se oni događaji koji mogu da prouzrokuju vršni događaj. U sledećem nižem nivou svaki od ovih događaja grana se na one koji mogu, preko ovih događaja, uticati na njegovu pojavu, dok se ne dođe do sastavnih delova ili bazičnih događaja [2].

Analiza stabla otkaza obavlja se od vršnog do bazičnog događaja. Kvantitativna analiza stabla otkaza nije moguća ako su nepoznati parametri pouzdanosti komponenata stabla otkaza. Na osnovu rezultata dobijenih analizom stabla otkaza daju se preporuke za preduzimanje potrebnih aktivnosti radi smanjenja pojava neispravnosti i povećanja pouzdanosti vozila.

Za analizu pouzdanosti vozila, sa aspekta pojave otkaza u toku eksploatacije, pogodno je primeniti analizu stabla otkaza, čija je primena moguća u svim fazama njegovog životnog ciklusa [1].

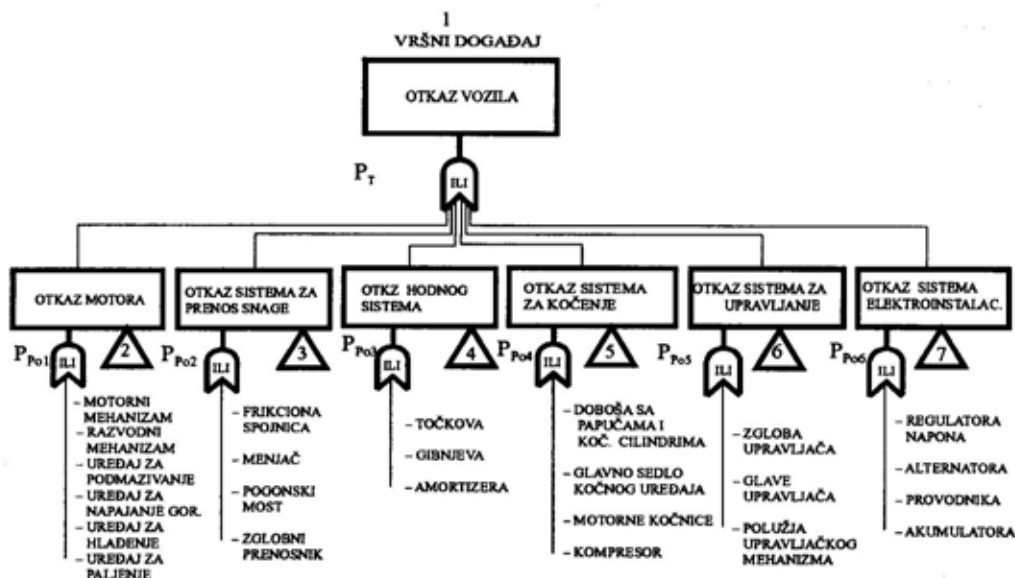
Metoda analize stabla otkaza omogućava određivanje svih potencijalno mogućih otkaza i njihovih uzroka koji mogu dovesti do otkaza vozila kao sistema [2].

Analizom mogućih potencijalnih otkaza i njihovih uzroka moguće je predvideti preventivne postupke održavanja vozila radi povećanja njegove pouzdanosti, odnosno obezbeđenja zahtevane pouzdanosti u toku eksploatacije vozila.

U ovom radu izvršena je konstrukcija stabla otkaza odabranog pogonskog motora, kvalitativna i kvantitativna analiza, određena pouzdanost motora na osnovu verovatnoće vršnog događaja i date preporuke za preduzimanje preventivnih mera radi smanjenja pojave otkaza i povećanja pouzdanosti.

Formiranje stabla otkaza motora

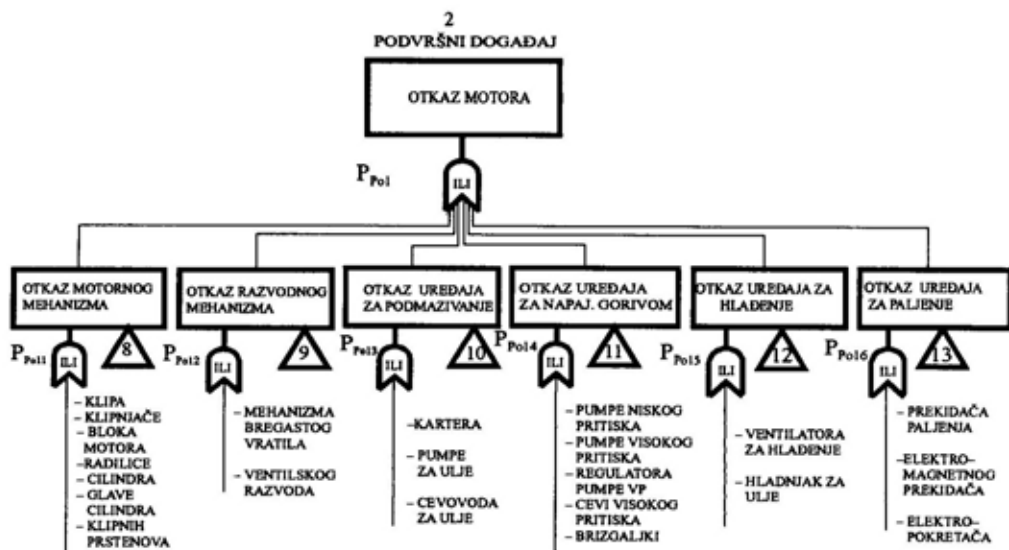
Struktura stabla otkaza za vršni događaj — otkaz vozila prikazana je na slici 1 sa koje se vidi da će doći do otkaza vozila ukoliko dođe do otkaza jednog ili više njegovih sistema.



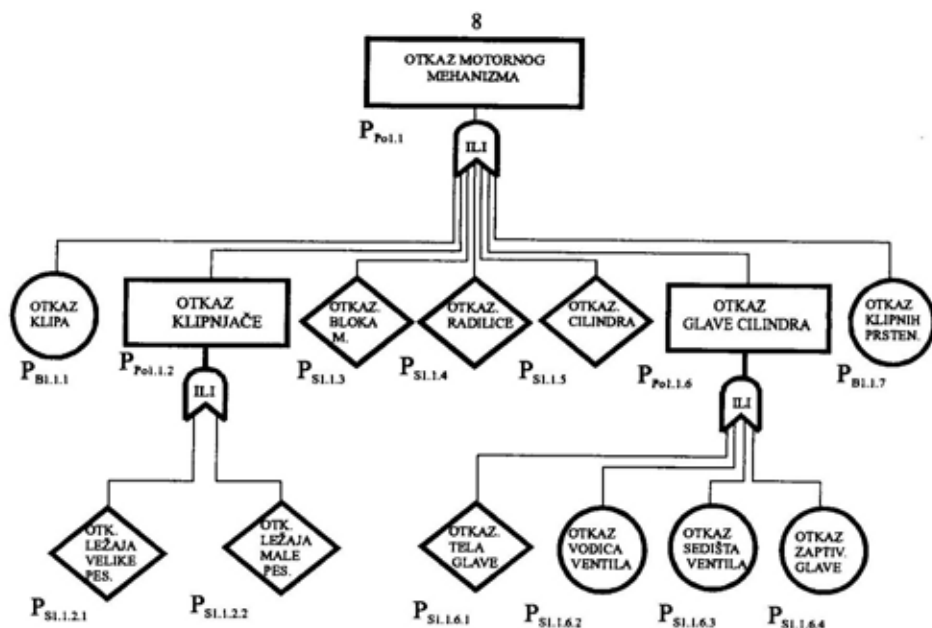
Sl. 1 — Struktura stabla otkaza za vršni događaj — otkaz vozila

Do otkaza motora doći će ako dođe do pojave otkaza jednog ili više njegovih mehanizama i uređaja, što je prikazano na slici 2. Otkaz motornog

mehanizma nastaje ako dođe do otkaza nekog od njegovih delova, što je prikazano na slici 3.



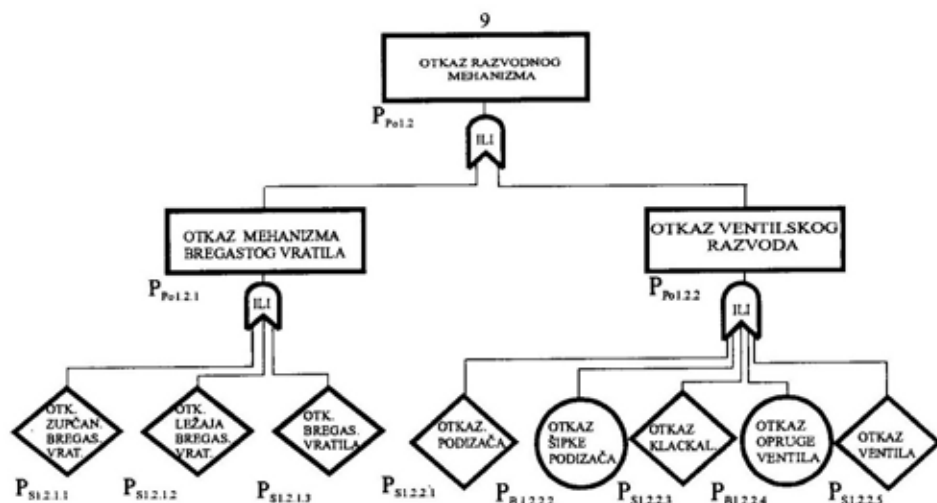
Sl. 2 — Struktura stabla otkaza za vršni događaj — otkaz motora



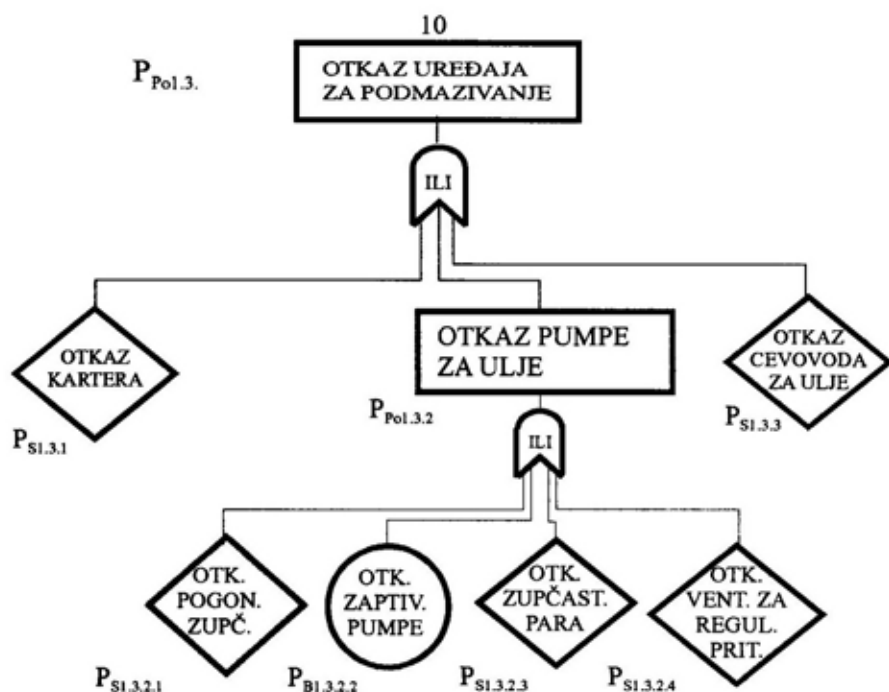
Sl. 3 — Struktura stabla otkaza za vršni događaj — otkaz motornog mehanizma

Do otkaza razvodnog mehanizma motora može doći ako nastupi otkaz nekog od njegovih delova, što je prikazano na slici 4. Otkaz uređaja za

podmazivanje nastaje ako dođe do otkaza nekog od njegovih delova, što je prikazano na slici 5.



Sl. 4 — Struktura stabla otkaza za vršni događaj — otkaz razvodnog mehanizma



Sl. 5 — Struktura stabla otkaza za vršni događaj — otkaz uređaja za podmazivanje

Otkaz uređaja za napajanje gorivom nastaje ako dođe do otkaza jednog od njegovih delova, što je prikazano na slici 6.

Otkaz uređaja za hlađenje nastaje ako dođe do otkaza jednog od njegovih delova, što je prikazano na slici 7.

Otkaz uređaja za paljenje nastaje ako dođe do otkaza jednog od njegovih delova, što je prikazano na slici 8.

Kvantitativna analiza stabla otkaza

Na osnovu pravila Bulove algebre događaja i strukture stabla otkaza za

vršni događaj — otkaz vozila može se napisati [2]:

$$D = D_{Po1} \cup D_{Po2} \cup D_{Po3} \cup D_{Po4} \cup D_{Po5} \cup D_{Po6} \quad (1)$$

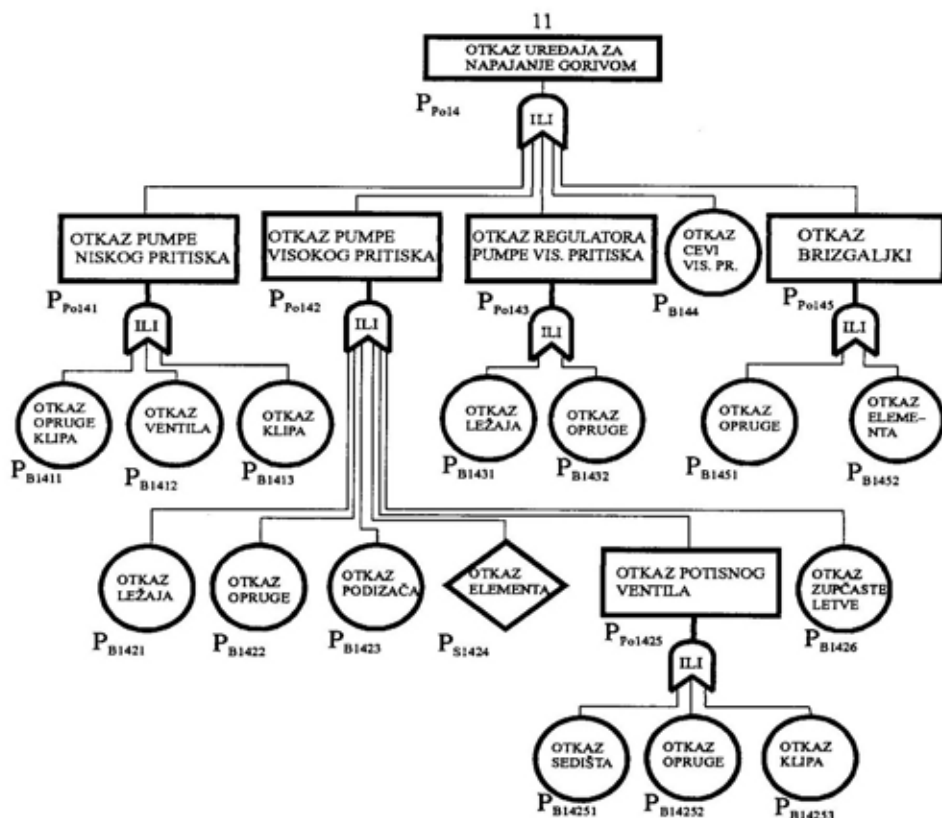
a verovatnoća otkaza vozila može se izraziti u obliku [3]:

$$P = P_{Po1} + P_{Po2} + P_{Po3} + P_{Po4} + P_{Po5} + P_{Po6} - \sum_{i=1}^{6-1} \sum_{j=i+1}^6 P_{Poi} \cdot P_{Poj} \quad (2)$$

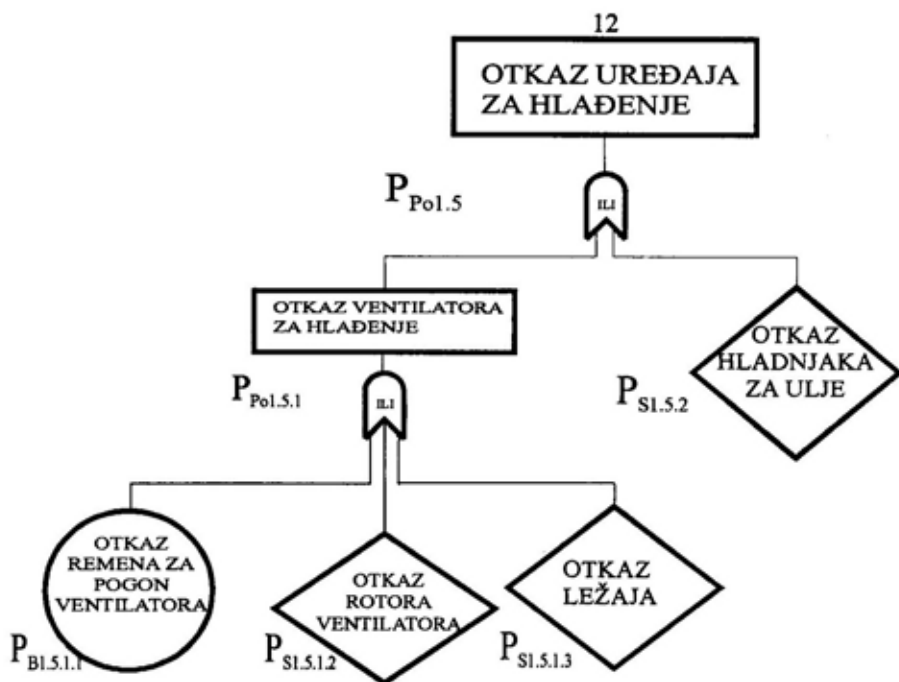
gde je:

D, P — vršni događaj (otkaz vozila) i verovatnoće otkaza vozila,

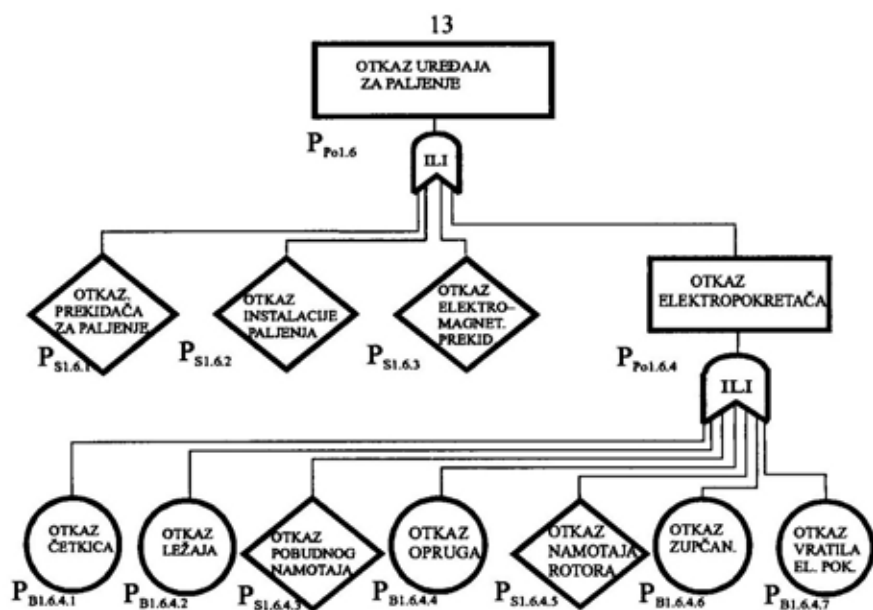
D_{Poi}, P_{Poi} — otkaz i verovatnoća pojave otkaza na i -toj kapiji.



Sl. 6 — Struktura stabla otkaza za vršni događaj — otkaz uređaja za napajanje gorivom



Sl. 7 — Struktura stabla otkaza za vršni događaj — otkaz uređaja za hlađenje



Sl. 8 — Struktura stabla otkaza za vršni događaj — otkaz uređaja za paljenje

Oznaka $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$ ima respektivno sledeće značenje: motor, sistem za prenos snage, hodni sistem, sistem za kočenje, upravljački sistem i sistem elektro-instalacije.

Uz pretpostavku da se svi događaji na ulazu u ILI kapiju međusobno isključuju, odnosno da su njihovi preseki događaja, tj. proizvodi njihovih verovatnoća jednaki nuli, jednačina (2) može se sa dovoljnom tačnošću napisati u obliku [2]:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 \quad (3)$$

Analogno prethodnoj metodologiji može se napisati izraz za određivanje verovatnoće pojave otkaza pogonskog motora u obliku:

$$P_1 = \sum_{j=1}^6 P_{1j} \quad (4)$$

gde oznaka $j=1, 2, 3, 4, 5, 6$ ima respektivno sledeće značenje: motorni mehanizam, razvodni mehanizam, uređaj za podmazivanje, uređaj za napajanje gorivom, uređaj za hlađenje i uređaj za paljenje.

Verovatnoća pojave otkaza motornog mehanizma može se napisati u obliku:

$$P_{11} = \sum_{k=1}^7 P_{11k} \quad (5)$$

gde oznaka $k=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ ima respektivno sledeće značenje: klip, klipnjača, blok, radilica, cilindar, glava cilindra, klipni prstenovi.

Uzimajući u obzir prethodno navedeno može se napisati konačan izraz za određivanje verovatnoće pojave otkaza motornog mehanizma u obliku:

$$P_{11} = 4P_{1.1.1.1} + 4P_{1.1.2.1} + 4P_{1.1.2.2} + P_{1.1.3} + P_{1.1.4} + 4P_{1.1.5} + 4P_{1.1.6.1} + 8P_{1.1.6.2} + 8P_{1.1.6.3} + 4P_{1.1.6.4} + 16P_{1.1.7} \quad (6)$$

gde je:

- $P_{1.1.1}$ — verovatnoća otkaza klipa,
- $P_{1.1.2.1}$ — verovatnoća otkaza ležaja velike pesnice,
- $P_{1.1.2.2}$ — verovatnoća otkaza ležaja male pesnice,
- $P_{1.1.3}$ — verovatnoća otkaza bloka motora,
- $P_{1.1.4}$ — verovatnoća otkaza radilice,
- $P_{1.1.5}$ — verovatnoća otkaza cilindra,
- $P_{1.1.6.1}$ — verovatnoća otkaza glave cilindra,
- $P_{1.1.6.2}$ — verovatnoća otkaza vođica ventila,
- $P_{1.1.6.3}$ — verovatnoća otkaza sedišta ventila,
- $P_{1.1.6.4}$ — verovatnoća otkaza zaptivača glave,
- $P_{1.1.7}$ — verovatnoća otkaza klipnih prstenova.

Verovatnoća pojave otkaza razvodnog mehanizma može se izraziti u obliku:

$$P_{1.2} = P_{1.2.1.1} + 5P_{1.2.1.2} + P_{1.2.1.3} + 8P_{1.2.2.1} + 8P_{1.2.2.2} + 8P_{1.2.2.3} + 16P_{1.2.2.4} + 8P_{1.2.2.5} \quad (7)$$

gde je:

- $P_{1.2.1.1}$ — verovatnoća otkaza zupčanika bregastog vratila,
- $P_{1.2.1.2}$ — verovatnoća otkaza ležajeva bregastog vratila kojih ima 5 i pretpostavljamo da su im verovatnoće jednake,
- $P_{1.2.1.3}$ — verovatnoća otkaza bregastog vratila,
- $P_{1.2.2.1}$ — verovatnoća otkaza podizača ventila (ima ih 8),
- $P_{1.2.2.2}$ — verovatnoća otkaza šipke podizača (ima ih 8),
- $P_{1.2.2.3}$ — verovatnoća otkaza klackalica (ima ih 8),
- $P_{1.2.2.4}$ — verovatnoća otkaza opruga ventila (ima ih 16),
- $P_{1.2.2.5}$ — verovatnoća otkaza ventila (ima ih 8).

Verovatnoća pojave otkaza uređaja za podmazivanje može se izraziti u obliku:

$$P_{1.3} = P_{1.3.1} + P_{1.3.2.1} + P_{1.3.2.2} + P_{1.3.2.3} + P_{1.3.2.4} + P_{1.3.3} \quad (8)$$

gde je:

- $P_{1.3.1}$ — verovatnoća otkaza kartera za ulje,
- $P_{1.3.2.1}$ — verovatnoća otkaza zupčani-ka za pogon pumpe za ulje,
- $P_{1.3.2.2}$ — verovatnoća otkaza zaptiva-ča pumpe za ulje,
- $P_{1.3.2.3}$ — verovatnoća otkaza zupčas-tog para pumpe za ulje,
- $P_{1.3.2.4}$ — verovatnoća otkaza ventila za regulisanje pritiska ulja,
- $P_{1.3.3}$ — verovatnoća otkaza cevovoda za ulje.

Verovatnoća pojave otkaza uređaja za napajanje gorivom može se izraziti u obliku:

$$P_{1.4} = P_{1.4.1.1} + P_{1.4.1.2} + P_{1.4.1.3} + 2P_{1.4.2.1} + 4P_{1.4.2.2} + 4P_{1.4.2.3} + 4P_{1.4.2.4} + 4P_{1.4.2.5.1} + 4P_{1.4.2.5.2} + 4P_{1.4.2.5.3} + P_{1.4.2.6} + P_{1.4.3.1} + P_{1.4.3.2} + P_{1.4.4} + 4P_{1.4.5.1} + 4P_{1.4.5.2} \quad (9)$$

gde je:

- $P_{1.4.1.1}$ — verovatnoća otkaza opruge pumpe niskog pritiska,
- $P_{1.4.1.2}$ — verovatnoća otkaza ventila pumpe niskog pritiska,
- $P_{1.4.1.3}$ — verovatnoća otkaza klipa pumpe niskog pritiska,
- $P_{1.4.2.1}$ — verovatnoća otkaza ležaja pumpe visokog pritiska (2),
- $P_{1.4.2.2}$ — verovatnoća otkaza opruge elemenata pumpe visokog pritiska (ima ih 4),
- $P_{1.4.2.3}$ — verovatnoća otkaza podizača elemenata pumpe (ima ih 4),
- $P_{1.4.2.4}$ — verovatnoća otkaza opruge elemenata pumpe (ima ih 4),
- $P_{1.4.2.5.1}$ — verovatnoća otkaza sedišta potisnog ventila (ima ih 4),

- $P_{1.4.2.5.2}$ — verovatnoća otkaza opruge potisnog ventila (ima ih 4),
- $P_{1.4.2.6}$ — verovatnoća otkaza zupčaste letve,
- $P_{1.4.3.1}$ — verovatnoća otkaza opruge regulatora pumpe visokog pritiska,
- $P_{1.4.3.2}$ — verovatnoća otkaza ležaja regulatora,
- $P_{1.4.5.1}$ — verovatnoća otkaza opruge brizgaljke,
- $P_{1.4.5.2}$ — verovatnoća otkaza elemenata brizgaljke.

Verovatnoća otkaza uređaja za hlađenje može se izraziti u obliku:

$$P_{1.5} = P_{1.5.1.1} + P_{1.5.1.2} + 2P_{1.5.1.3} + P_{1.5.2} \quad (10)$$

gde je:

- $P_{1.5.1.1}$ — verovatnoća otkaza remena za pogon ventilatora,
- $P_{1.5.1.2}$ — verovatnoća otkaza rotora ventilatora,
- $P_{1.5.1.3}$ — verovatnoća otkaza ležaja ventilatora,
- $P_{1.5.2}$ — verovatnoća otkaza hladnja-ka za ulje.

Verovatnoća otkaza uređaja za paljenje može se izraziti u obliku:

$$P_{1.6} = P_{1.6.1} + P_{1.6.2} + P_{1.6.3} + P_{1.6.4.1} + 2P_{1.6.4.2} + 2P_{1.6.4.3} + 10P_{1.6.4.4} + P_{1.6.4.5} + P_{1.6.4.6} + P_{1.6.4.7} \quad (11)$$

gde je:

- $P_{1.6.1}$ — verovatnoća otkaza prekida-ča za paljenje,
- $P_{1.6.2}$ — verovatnoća otkaza instalaci-je za paljenje
- $P_{1.6.3}$ — verovatnoća otkaza elektro-magnetnog prekidača,
- $P_{1.6.4.1}$ — verovatnoća otkaza četkica elektropokretača,
- $P_{1.6.4.2}$ — verovatnoća otkaza ležajeva elektropokretača,
- $P_{1.6.4.3}$ — verovatnoća otkaza pobud-nog namotaja,
- $P_{1.6.4.4}$ — verovatnoća otkaza opruga elektropokretača,

- $P_{1.6.4.5}$ — verovatnoća otkaza namotaja rotora,
 $P_{1.6.4.6}$ — verovatnoća otkaza zupčanika sa lamelastom spojnicom elektropokretača,
 $P_{1.6.4.7}$ — verovatnoća otkaza vratila sa pužem elektropokretača.

Koristeći sve prethodno navedene izraze može se napisati konačan izraz za određivanje verovatnoće otkaza motora SUS za pogon vozila u obliku:

$$\begin{aligned}
 P_1 = & 4P_{1.1.1} + 4P_{1.1.2} + 4P_{1.1.3} + P_{1.1.4} + \\
 & + 4P_{1.1.5} + 4P_{1.1.6} + 8P_{1.1.7} + 8P_{1.1.8} + 4P_{1.1.9} + \\
 & + 16P_{1.1.10} + 5P_{1.1.11} + P_{1.1.12} + 8P_{1.1.13} + \\
 & + 8P_{1.1.14} + 8P_{1.1.15} + 16P_{1.1.16} + 8P_{1.1.17} + P_{1.1.18} + \\
 & + P_{1.1.19} + P_{1.1.20} + P_{1.1.21} + P_{1.1.22} + P_{1.1.23} + P_{1.1.24} + \\
 & + P_{1.1.25} + P_{1.1.26} + 2P_{1.1.27} + 4P_{1.1.28} + 4P_{1.1.29} + \\
 & + 4P_{1.1.30} + 4P_{1.1.31} + 4P_{1.1.32} + 4P_{1.1.33} + P_{1.1.34} + \\
 & + P_{1.1.35} + P_{1.1.36} + P_{1.1.37} + 4P_{1.1.38} + 4P_{1.1.39} + \\
 & + P_{1.1.40} + P_{1.1.41} + 2P_{1.1.42} + P_{1.1.43} + P_{1.1.44} + P_{1.1.45} + \\
 & + P_{1.1.46} + P_{1.1.47} + 2P_{1.1.48} + 2P_{1.1.49} + 10P_{1.1.50} + \\
 & + P_{1.1.51} + P_{1.1.52} + P_{1.1.53} \quad (12)
 \end{aligned}$$

Na osnovu praćenja pojave otkaza motora SUS ugrađenog u 523 vozila iste namene ($N=523$) u periodu od 5 godina, za koje vreme su prešla po 25.000 kilometara u proseku, dobijeni su podaci o broju otkaza (n_i) i njihovim uzrocima, kao i o njihovom uticaju na vršni događaj — otkaz vozila:

- $n_{1.3.1}=1$ — otkaz zaptivača kartera,
 $n_{1.3.2}=1$ — otkaz pumpe za ulje,
 $n_{1.3.3}=1$ — otkaz cevi za ulje,
 $n_{1.4.2.1}=3$ — otkaz ležaja pumpe visokog pritiska,
 $n_{1.4.2.2}=2$ — otkaz opruge pumpe visokog pritiska,
 $n_{1.4.2.4}=3$ — otkaz elementa pumpe visokog pritiska,
 $n_{1.4.2.5.2}=3$ — otkaz opruge potisnog ventila,
 $n_{1.4.5}=2$ — otkaz brizgaljke,
 $n_{1.5.1.1}=3$ — otkaz remena za pogon ventilatora,
 $n_{1.6.1}=2$ — otkaz prekidača za paljenje,

- $n_{1.6.3}=4$ — otkaz elektromagnetnog prekidača elektropokretača,
 $n_{1.6.4.6}=4$ — otkaz zupčanika elektropokretača.

Verovatnoća pojave otkaza može se izraziti u obliku [3]:

$$P_1 = \frac{n_i}{N \cdot m} \quad (13)$$

gde je:

- n_i — broj otkaza,
 N — ukupan broj vozila,
 m — broj istih delova na sklopu motora.

Korišćenjem prethodno navedenog izraza dobijaju se vrednosti za verovatnoću pojave otkaza ranije navedenih delova:

$$\begin{aligned}
 P_{1.3.1} &= 1,91 \cdot 10^{-3}; & P_{1.3.2} &= 1,91 \cdot 10^{-3}; \\
 P_{1.3.3} &= 1,91 \cdot 10^{-3}; & P_{1.4.2.1} &= 2,86 \cdot 10^{-3}; \\
 P_{1.4.2.2} &= 9,95 \cdot 10^{-4}; & P_{1.4.2.4} &= 1,43 \cdot 10^{-3}; \\
 P_{1.4.2.5.2} &= 1,43 \cdot 10^{-3}; & P_{1.4.5} &= 9,95 \cdot 10^{-4}; \\
 P_{1.5.1.1} &= 5,73 \cdot 10^{-3}; & P_{1.6.1} &= 3,82 \cdot 10^{-3}; \\
 P_{1.6.3} &= 7,64 \cdot 10^{-3}; & P_{1.6.4.6} &= 1,91 \cdot 10^{-3}; \\
 P_{1.6.4.6} &= 7,64 \cdot 10^{-3};
 \end{aligned}$$

Zamenom ovih vrednosti u izraz (12) dobija se vrednost verovatnoće pojave otkaza motora u analiziranom periodu:

$$P = 0,0533$$

na osnovu koje se zaključuje da je pouzdanost motora navedenog vozila

$$R = 1 - P = 1 - 0,0533 = 0,9467$$

Iz navedene analize se vidi da pouzdanost pogonskog motora navedenih vozila za posmatrani period iznosi 94,67 %. Analizom dobijenih rezultata može se zaključiti da je najviše otkaza motora nastupilo usled otkaza uređaja za paljenje, zatim uređaja za napajanje gorivom i uređaja za hlađenje. Kod otkaza uređaja za paljenje naj-

više je otkazivao elektromagnetni prekidač za uključivanje elektropokretača i zupčanik sa lamelastom spojnicom elektroprekidača, što znači da su to najkritičniji delovi. Pri preventivnim pregledima treba proveriti čistoću elektromagnetnog prekidača i elektropokretača i pritegnutost spojeva. Posebnu pažnju treba posvetiti obuci ljudstva u rukovanju, kako bi se smanjio broj otkaza zbog nepravilnog rukovanja. Kod otkaza uređaja za napajanje gorivom najviše je otkazivala pumpa visokog pritiska, a analizom otkaza može se zaključiti da je najviše otkaza nastupilo usled pojave vode i drugih nečistoća u gorivu, pa je potrebno preduzeti mere na preventivnom čišćenju rezervoara za gorivo, cevovoda za gorivo, kao i prečistača goriva i njihovoj zameni radi sprečavanja ili smanjenja pojava otkaza usled vode i nečistoća u gorivu. Kod otkaza uređaja za hlađenje najčešće je otkazivao remen za pogon ventilatora, pa je potrebno, pri preventivnim pregledima proveriti zategnutost remena kao i njegov izgled i, po potrebi, vršiti zatezanje ili zamenu. Nakon 5000 pređenih kilometara ili dva puta godišnje potrebno je obavljati preventivni pregled motora i njegovih uređaja radi utvrđivanja stanja i preduzimanja potrebnih akcija preventivnog održavanja radi smanjenja broja otkaza i

time povećanja pouzdanosti pogonskog motora.

Preduzimanjem prethodno navedenih mera može se smanjiti broj otkaza, čime bi se povećala pouzdanost motora.

Zaključak

Radi obezbeđenja potrebne pouzdanosti motornih vozila, neophodna je primena postupaka predviđanja i analize pouzdanosti u svim fazama životnog ciklusa, posebno u fazi razvoja.

Metoda stabla otkaza prikladna je za analizu otkaza i donošenje zaključaka o mogućim merama za povećanje pouzdanosti motornih vozila. Ona omogućava identifikaciju svih mogućih otkaza, koji samostalno, ili u kombinaciji sa drugim otkazima, dovode do pojave otkaza motornog vozila. Otklanjanjem uzročnika pojave potencijalnih otkaza moguće je poboljšati nivo pouzdanosti.

Pogonski motor nije raščlaňjivan do najsitnijih delova jer se radi o vrlo složenom sklopu. U radu je prikazan onaj nivo primene metode stabla otkaza koji je dovoljan da se dođe do rezultata koji upućuju na moguće pravce delovanja radi poboljšanja pouzdanosti analiziranih motornih vozila.

Literatura:

- [1] Krstić, B.: Eksploatacija motornih vozila i motora, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1997.
- [2] Ivanović, G., Stanivuković, D.: Pouzdanost analiza i projektovanje, TUSNO, 1988.
- [3] Stojović, M.: Istraživanje karakteristika pouzdanosti asinhronih zglobnih prenosnika, Magistrski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.

- [4] Ivanović, G., Popović, P., Stojović, M.: Primena analize stabla otkaza u projektovanju motornog vozila, Motorna vozila motori, saopštenja 92/93., Kragujevac, 1990.

Rezime:

Međunarodna organizacija konstruktora motornih vozila (OICA) posvećuje veliku pažnju utvrđivanju uticaja buke pneumatika na opšti nivo buke vozila. U Evropi se obavljaju opsežna ispitivanja radi određivanja učešća buke pneumatika u ukupnoj buci vozila: uticaja ubrzanja, odnosno obrtnog momenta, na buku pneumatika i proučavanja uticaja buke pneumatika na buku vozila. Očigledno da domaćim proizvođačima motornih vozila, kao i inostranim, predstoji veoma kompleksan problem koji treba rešavati sukcesivno, ali veoma brzo i efikasno radi smanjenja buke, odnosno omogućavanja homologacije novoprodučenih vozila.

Ključne reči: vozilo, buka pneumatika, zakonska regulativa.

**NOISE OF MOTOR VEHICLE PNEUMATICS IN THE CONTACT WITH
THE GROUND**

Summary:

The organization of International constructors of automobiles (OICA) pays great attention to the assessment of the effect of the noise of pneumatics on the overall vehicle noise level. In that context, comprehensive examinations of various types of pneumatics have been carried out from the viewpoint of determination of the correlation between the noise of pneumatics and the noise of vehicles: the acceleration and torque effects on the noise of pneumatics and the overall noise of vehicles. It is obvious that local as well as foreign motor vehicles manufacturers are faced with a very complex problem which has to be solved successively, but very quickly and efficiently in order to reduce the noise and enable the homologation of newly manufactured vehicles.

Key words: vehicles noise types, legal regulations.

Uvod

U eri ubrzanog razvoja saobraćaja sve je prisutniji problem buke, kao aktivni parametar čije delovanje nepovoljno utiče na populaciju stanovništva. Problem snižavanja buke motornih vozila predstavlja jedan od osnovnih pravaca u normativnoj aktivnosti, posebno u Evropi u okviru rada komiteta Evropske ekonomske komisije za unutrašnji transport. Čine se

napori i ulažu velika materijalna sredstva kako bi se smanjila buka motornih vozila. Multidisciplinarni pristupi zahtevaju delovanje na različite pobudne izvore koji se generišu u ukupnu buku motornih vozila.

U ovom radu prikazane su aktivnosti Međunarodne organizacije konstruktora motornih vozila (OICA) u pogledu sadašnje problematike buke motornih vozila i tendencije razvojnih ispitivanja radi njenog smanjenja.

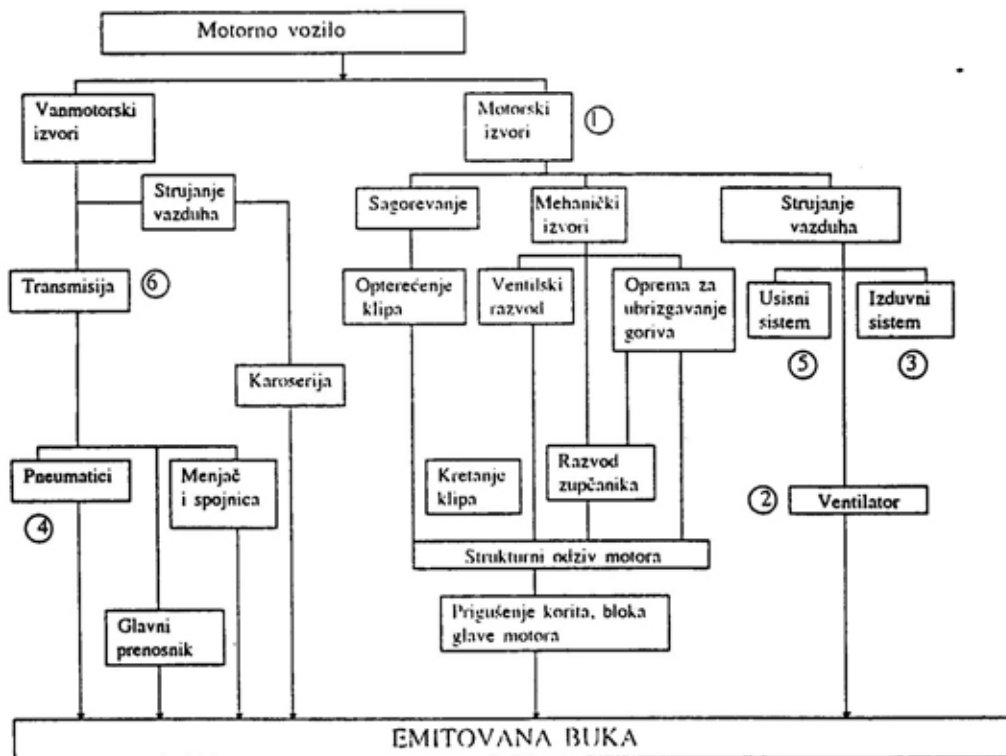
U odnosu na pravilnike grupe ek-sperata za buku (GRB) vezane za bu-ku motornih vozila i motocikala, pravilnik ECE-51 se najčešće i najviše menja, a najznačajnija su dalja smanjenja dozvoljenih granica spoljašnje buke motornih vozila svih kategorija.

Motor je primarni izvor buke mo-tornih vozila, koji predstavlja višepo-budni izvor buke i vibracija. Radom sklopova motora i pomoćnih agrega-ta mehanička i potencijalna energija pretvara se u energiju zvučnih talasa koja se emituje preko delova, a naro-čito bloka motora, korita, glave, pok-lopca i sl. Na slici 1 prikazana je strukturna šema buke motornog vozila sa svojim motorskim i tzv. vanmotor-skim izvorima.

Hronološki prikaz promena granica nivoa buke motornih vozila

Problem buke, sa stanovišta op-štih interesa u Jugoslaviji, počinje da se razmatra donošenjem Uredbe o rafifikaciji Pravilnika br. 9, koji se od-nosi na homologaciju vozila. On važi za motorna vozila zapremine preko 50 ccm, isključujući traktore i poljopri-vredne mašine na sopstveni pogon. U pravilniku su, pored definisanja tač-nosti mernih instrumenata, uslova me-renja i metoda merenja, date i grani-čne vrednosti buke koje su stupile na snagu januara 1971. godine, i koje iz-nose za:

- 1) Putničke automobile 84 dB(A)
- 2) Privredna motorna vo-zila za prevoz robe:
 - mase $\leq 3,5$ t 85 dB(A)
 - mase $> 3,5$ t, a ≤ 12 t 89 dB(A)



Sl. 1 — Struktura buke vozila

- mase 12 t, snage ≤ 200 KS 89 dB(A)
 - snage > 200 KS 92 dB(A)
- 3) Gradske i međugrad-ske autobuse:
- mase $\leq 3,5$ t 85 dB(A)
 - mase $> 3,5$ t, snage ≤ 200 KS 89 dB(A)
 - snage > 200 KS 92 dB(A)

Metoda merenja spoljašnje buke definisana je pravilnikom br. 9, čiji su zahtevi prihvaćeni i novim pravilnikom ECE-51 koji i danas važi. Poligon mora da zadovolji opšte zahteve kao što su: nivo buke okoline, mikroprofil podloge, brzina vetra, nagib podloge, atmosferske uslove, i dr.

Merenje se vrši tako što vozilo prilazi nailaznoj liniji A-A, konstantnom brzinom pri $3/4$ broja obrtaja na maksimalnoj snazi ($v_A \leq 50$ km/h). U tom trenutku pritiska se pedala gasa do kraja i održava do prolaska zadnjeg dela vozila izlazne linije B-B i naglo otpušta.

Mikrofon se postavlja između nailazne i izlazne linije koje su na međusobnom rastojanju od 20 m, i to na 10 m od A-A i 10 m od B-B. Mikrofon je udaljen 7,5 m od ose kretanja vozila i postavljen je na visini od 1,2 m.

Vozila sa mehaničkim prenosnikom snage sa n stepeni prenosa ispituju se u $n/2$ stepenu prenosa. Vozila sa 5 stepeni prenosa ispituju se u drugom i trećem stepenu prenosa. Ispitivanja se obavljaju po tri puta u oba smera kretanja, a merodavna je srednja vrednost.

Neposredno po usvajanju prethodnih nivoa buke započeto je sa razmatranjem predloga nižih granica buke rezolucijom ECE Pravilnika br. 9, koji je stupio na snagu februara 1974.

godine, i činio prvi korak za zaštitu životne sredine. Te granice su iznosile za:

- 1) Vozila za prevoz putnika (≤ 9 sedišta) 82 dB(A)
- 2) Vozila za prevoz putnika (> 9 sedišta; mase $\leq 3,5$ t) 84 dB(A)
- 3) Vozila za prevoz putnika (> 9 sedišta; mase $> 3,5$ t) 89 dB(A)
- 4) vozila za prevoz putnika (> 9 sedišta, snage ≥ 200 KS) 91 dB(A)
- 5) Vozila za prevoz roba (mase $\leq 3,5$ t) 84 dB(A)
- 6) Vozila za prevoz roba (mase $> 3,5$ t) 89 dB(A)
- 7) Vozila za prevoz roba (mase > 12 t, snage ≥ 200 KS) 91 dB(A)

Grupa eksperata za buku (UN/ECE/WP29/GRB) 1975. godine započela je da razmatra kontrolu nivoa buke vozila u eksploataciji, uz sugestiju da razlika nivoa buke pri homologaciji i u eksploataciji ne sme biti veća od 3 do 5 dB(A) uz sve objektivne okolnosti koje prate tu razliku.

Uočavajući ozbiljnost ekoloških problema potpisnici sporazuma o homologaciji su razmatrali mogućnost redukcije graničnih nivoa buke i to u periodu od 1978. do 1979. po stupanju na snagu amandmana ECE Pravilnika. Tom prilikom, pored predloga nivoa buke u pojedinim zemljama prema kategorijama vozila, dat je i nivo buke prihvaćen od većine eksperata. Nivoi buke u Jugoslaviji bili su među najvišim, a usaglašeni predlog predviđao je redukciju u proseku za 3 do 4 dB(A), što je prikazano u tabeli 1.

Tabela 1

Vrsta vozila	Jugoslavija (E 10)	Preporučene granice od WP29/GRB
1. Putnička vozila		
— ≤ 9 sedišta	82	80
— > 9 sedišta < 3,5 t	84	81
— < 3,5 t	89	86
— > 3,5 t > 200 KS	91	86
2. Teretna vozila		
— < 3,5 t	86	81
— > 3,5 t	89	86
— > 12 t, > 200 KS	91	88

Uvažavajući stepen tehničko-tehnoloških mogućnosti donet je novi UN/ECE pravilnik br. 51, koji razmatra samo vozila sa četiri točka, a stupio je na snagu jula 1982. godine sa sledećim dozvoljenim nivoima buke:

- 1) Vozila kategorije M_1 80 dB(A)
- 2) Vozila kategorije M_2 (čija masa ne prelazi 3,5 t) 81 dB(A)
- 3) Vozila kategorije M_2 (čija masa prelazi 3,5 t) i M_3 82 dB(A)
- 4) Vozila kategorije M_2 i M_3 koja imaju snagu motora ≥ 147 kW 85 dB(A)
- 5) Vozila kategorije N_1 81 dB(A)
- 6) Vozila kategorije N_2 i N_3 86 dB(A)
- 7) Vozila kategorije N_3 koja imaju motor snage ≥ 147 kW 88 dB(A)

Oznake u klasifikaciji vozila su:

1. Kategorija M : motorna vozila za prevoz putnika sa najmanje 4 točka ili vozila sa 3 točka čija maksimalna masa prelazi 1 t.

Kategorija M_1 : vozila za prevoz putnika koja pored sedišta vozača imaju još najviše 8 sedišta.

Kategorija M_2 : vozila za prevoz putnika koja pored sedišta vozača imaju više od 8 sedišta i čija maksimalna masa ne prelazi 5 t.

Kategorija M_3 : vozila za prevoz putnika koja pored sedišta vozača imaju više od 8 sedišta i čija je maksimalna masa veća od 5 t.

2. Kategorija N : motorna vozila za prevoz tereta sa najmanje 4 točka ili vozila sa 3 točka čija maksimalna masa prelazi 1 t.

Kategorija N_1 : vozila za prevoz tereta i maksimalnom masom koja ne prelazi 3,5 t.

Kategorija N_2 : vozila za prevoz tereta i maksimalnom masom od 3,5 do 12 t.

Kategorija N_3 : vozila za prevoz tereta sa maksimalnom masom preko 12 t.

Krajem 1981. godine započeto je razmatranje mogućnosti uvođenja novih, nižih granica buke zasnovanih na načelno prihvaćenoj orijentaciji da novi nivo buke za sve kategorije vozila iznosi 80 dB(A) i u tom pravcu iskristalisana su dva predloga za period od

1985. do 1990. godine, što je prikazano u tabeli 2. Analizama se pokazalo da je moguće smanjenje nivoa buke za 5 do 10 dB(A) u 1985. godini i pritom predočeno da je izvedenim konstrukcijskim poboljšanjima teških kamiona moguće izvršiti smanjenje buke za 10 dB(A), uz povećanje troškova za 5 do 10 %. Redukcija od 10 dB(A) na kamionima doprinela je sniženju nivoa buke duž saobraćajnica za 3 do 4 dB(A), i za 5 dB(A) u urbanim sredinama.

Tabela 2

Kategorija vozila	E16	E1
Vozilo kategorije M ₁	76	75
Vozilo kategorije M ₂ (čija masa ne prelazi 3,5 t)	77	76
Vozilo kategorije M ₂ (čija masa prelazi 3,5 t) i M ₃	77	80
Vozilo kategorije M ₂ i M ₃ koja imaju snagu motora ≥ 147 kW	77	80
Vozila kategorije N ₁	77	80
Vozila kategorije N ₂ i N ₃	80	80
Vozila kategorije N ₃ koja imaju snagu motora ≥ 147 kW	—	80

Takođe, imajući u vidu i orijentaciju japanske vlade da se od 1984. godine smanji nivo buke za 3 dB(A) kod autobusa i kamiona u odnosu na 1979. godinu, serijom amandmana 01 na ECE pravilnik br. 51, od aprila 1988. godine donete su nove granice nivoa buke i to za:

- 1) Vozila kategorije M₁
(putnička vozila) 77 dB(A)
- 2) Vozila kategorije M₂ i M₃:
 - mase > 3,5 t, snage < 150 kW 80 dB(A)
 - mase > 3,5 t snage ≥ 150 kW 83 dB(A)

- 3) Vozila kategorije M₂, M₃
i N₁
 - mase ≤ 2 t 78 dB(A)
 - mase > 2 t, a ≤ 3,5 t 79 dB(A)
- 4) Vozila kategorije N₂ i N₃
 - mase > 3,5 t:
 - snage < 75 kW 81 dB(A)
 - snage ≥ 75, a < 150 kW 83 dB(A)
 - snage ≥ 150 kW 84 dB(A)

Kako je broj proizvedenih vozila, globalno gledano, povećan, nastala je potreba da se više utiče na pojedine tehničke celine ili interaktivne elemente motornih vozila. Interakcija između pneumatika i kolovoza zaokupljala je pažnju eksperata za buku i kočni sistem, pa je 1986. godine usvojen predlog metoda merenja buke drumskih vozila, koja potiče od kontakta pneumatika sa kolovozom. Do sada su u opticaju tri predložene metode merenja buke pneumatik-kolovoz: metoda kotrljanja, metoda laboratorijskih valjaka i metoda prikolice. Pored veze između pneumatika i kolovoza, pažnja se posvećuje komponentama i materijalima koji utiču na smanjenje nivoa buke, kao što su: izduvne cevi, ekspanzione komore, prigušivači zvuka, vlaknasti materijali u izduvnim sistemima.

Opšte društveno angažovanje po pitanju zaoštavanja ekoloških zahteva u svetu dovodi do toga da eksperti u oblasti buke motornih vozila (WP.29/GRB) definišu zahteve u odnosu na navedene pojave, izuzimajući kompresionu buku i interakciju pneumatik-kolovoz. Kroz dodatak 1 ECE pravilnika br. 51/01 (od septembra 1991. godine), aprila 1992. godine usaglašen je predlog novih granica buke, i nivo kompresione buke i karakteristike ispitnog poligona. One su stupile na snagu oktobra 1995. godine kao serija amandmana 02 na ECE pravilnik br. 51, sa mogućnošću da se od oktobra 1996. godi-

ne zabrani registracija onim vozilima koja ne zadovoljavaju zahteve ECE pravilnika br. 51/02. Te granice iznose za:

- 1) Vozila kategorije M_1
(putnička vozila) 74 dB(A)
- 2) Vozila kategorija M_2 i M_3 :
 - mase $> 3,5$ t snage < 150 kW 78 dB(A)
 - mase $> 3,5$ t, snage ≤ 150 kW 80 dB(A)
- 3) Vozila kategorije M_2 , M_3 i N_1 :
 - mase ≤ 2 t 76 dB(A)
 - mase > 2 t, a $\leq 3,5$ t 77 dB(A)
- 4) Vozila kategorije N_2 i N_3 mase $> 3,5$ t:
 - snage < 75 kW 77 dB(A)
 - snage ≥ 75 , a < 150 kW 78 dB(A)
 - snage > 150 kW 80 dB(A)

U narednom periodu (5 do 10 godina) treba očekivati dalje sniženje granica buke, u celini za 2 do 4 dB(A), kao i definisanje nivoa buke pojedinih tehničkih jedinica ili interaktivnih elemenata (u ovom momentu interakcija pneumatik-kolovoz).

Interakcija pneumatika i podloge sa aspekta buke motornih vozila

Proces nastajanja buke interakcije pneumatik — podloga

Kao što je prikazano na strukturalnoj šemi buke motornih vozila (sl. 1), buka motora ima dominantan uticaj. Od vanmotorskih izvora, buka interakcije pneumatik-podloga ima najveći uticaj na ukupan opšti nivo buke, naročito pri većim brzinama (preko 70 km/h).

Buka interakcije pneumatik-podloga nastaje usled međusobnog kontakta materija čije su čvrstoće različite.

U literaturi se najčešće navode tri uzroka nastajanja buke:

— pri kotrljanju pneumatika istiskuje se vazduh iz šupljina dezena (profila) protektora pri stupanju u kontakt sa podlogom i istovremeno vraća vazduh u šupljine elemenata dezena protektora (Air puping);

— pri kontaktu sa podlogom dezen protektora deformiše se zavisno od mikroprofila podloge, geometrije dezena, vrste materijala (kvaliteta kaučuka), ugaone brzine pneumatika i dr. Pri deformacijama šare pneumatika dolaze u međusobni kontakt koji izaziva njihovo klizanje (Sfick and slip);

— pri kotrljanju pneumatika dolazi do udaranja ramena pneumatika o podlogu.

Buka pneumatika zavisi od njegove elastičnosti (kvaliteta kaučuka, broja i vrste kordova karkase), dezena protektora (poprečne šare stvaraju veću buku od uzdužnih), tipa pneumatika (radijalni imaju manju buku od dijagonalnih), mikrostrukture podloge (podloga sa manjom pozornošću izaziva niži nivo buke), brzine kretanja (veće brzine izazivaju veću buku), dubine šare (dezena) protektora (manja dubina izaziva niži nivo buke), pritiska u pneumaticima (i viši i niži pritisak od nominalnog nepovoljno utiču na nivo buke), opterećenja (veće opterećenje izaziva viši nivo buke), stanja točka vozila (pogonski, vođeni, neutralni, slobodni, kočeni), vučnih i kočionih sila na pneumaticu koje povećavaju nivo buke i dr.

Nivo zvučnog pritiska usled dodira pneumatika i kolovoza definisan je jednačinom:

$$L_1 = 68,5 + 20 \log g \cdot W/s + 10 \log n + 20 \log f \cdot g + 40 \log v - 10 \log r,$$

gde je:

L_1 — nivo buke pneumatika,

g — dubina protektora,

W — širina gazećeg dela protektora,

- n — broj udubljenja,
 fg — delimična promena zapreminskog udubljenja,
 v — brzina vozila,
 r — rastojanje do tačke posmatranja.

Ova jednačina važi u slučaju neravnanskog zvučnog izvora i sferičnog širenja zvučnih talasa.

Opšti uslovi ispitivanja

U Evropi, pa i u našoj zemlji, ispitivani su različiti tipovi pneumatika, sa aspekta korelacije buke pneumatika i buke vozila. Ispitivanja su imala za cilj utvrđivanje uticaja ubrzanja — usporenja, obrtnog momenta, oblika karoserije, uravnoteženosti i tipa pneumatika, brzine, udvojenosti pneumatika i drugog na nivo buke vozila.

Aktivnosti na problematici buke pneumatik — podloga uglavnom su usmerene na specifikacije mernih instrumenata, uslova i metoda ispitivanja. Metode merenja buke pneumatik — podloga obuhvataju: putna ispitivanja, metodu kotrljanja, ispitivanja opitnom prikolicom (u blizini pneumatika ili u prolazu u jednoj ili više tačaka) i laboratorijska ispitivanja na valjcima.

Metoda merenja buke pneumatika u prolazu od ovara pravilniku ECE-51. Vozilo sa isključenim motorom prilazi nailaznoj liniji A-A brzinom $v_A \leq 50$ km/h. Mikrofon se postavlja između nailazne i izlazne linije koje su na međusobnom rastojanju od 20 m. Mikrofon je udaljen od ose kretanja vozila 7,5 m, na visini 1,2 m $\pm 0,1$ m.

Brzina vetra u visini mikrofona ne sme da prelazi 5 m/s, a temperatura vazduha treba da bude 5—30°C. Buka okoline mora biti najmanje za 10 dB niža od one koju stvara vozilo.

Pri merenju buke u laboratorijskim uslovima u više tačaka, mikrofon se fiksira na horizontalnom rasto-

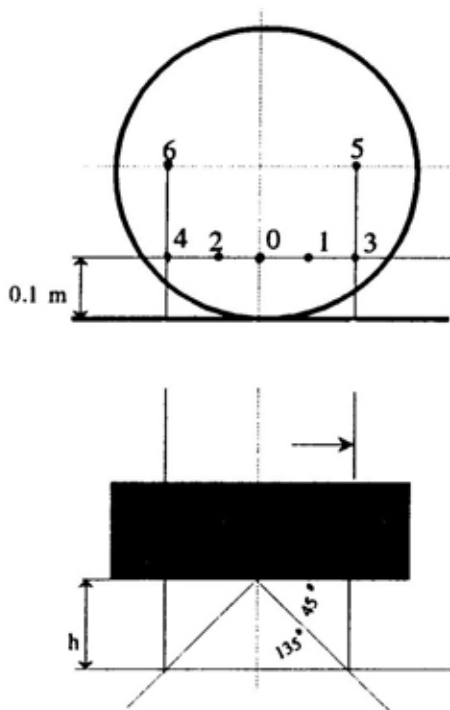
janju od bočne strane pneumatika na 0,2 m za putnička i 0,4 m za teretna vozila. Postavlja se normalno na smer kotrljanja ($90^\circ \pm 5^\circ$) na visini 0,1 m od tla, kao što je prikazano na slici 2. Merne tačke (0, 1, 2, 3, 4, 5 i 6) nalaze se sa spoljašnje strane pneumatika.

Pri merenju usmerenja buke mikrofoni se postavljaju pod uglom od 135° ili 45° u odnosu na smer kretanja. Za merenja se koriste fonometri visoke preciznosti koji zadovoljavaju propise IEC.

Očigledno je da su ovakva ispitivanja složena, a primena bilo koje metode povlači za sobom svoje prednosti i mane, odnosno odražava se na tačnost dobijenih rezultata. Uslovi putnih ispitivanja identični su uslovima ispitivanja buke po pravilniku ECE-51 (postavljanje mikrofona, definisanje brzine, atmosferski uslovi, uslovi okruženja i dr.).

Položaj mikrofona za merenje u više tačaka (ili u jednoj tački) prikazan je na slici 2, pri čemu je udaljenost h promenljiva u zavisnosti od tipa pneumatika (za putnička ili teška vozila).

Pored navedenih, definišu se i dodatni zahtevi u skladu sa opterećenjem pneumatika po deklaraciji proizvođača. Raspon tačkova mora biti manji od 7 m, konstrukcija vozila ne sme da utiče na prigušenje ili pojačanje emisije buke pneumatika, ispitivanje se obavlja na četiri pneumatika istih dimenzija i kategorija. Dubina šare protektora pre uhodavanja mora biti maksimalna, a naplaci moraju biti propisani od strane proizvođača. Za svaki pneumatik na ispitnom vozilu, probno opterećenje Q_r iznosi 70 % do 90 % od ukupnog referentnog opterećenja Q_r . Za sve pneumatike referentno opterećenje Q_r odgovara najvećem indeksu opterećenja (IN) koji označava najveće dozvoljeno opterećenje pneumatika pri najvećoj brzini koja je dozvoljena za taj pneumatik. Pri-



Sl. 2 — Položaj mikrofona pri merenju buke pneumatika:

$h = 0,2$ m za putnička vozila, $h = 0,4$ m za teška vozila

tisak vazduha p_t u svakom pneumaticu ne sme da bude veći od referentnog pritiska p_r u dijapazonu:

$$p_r(Q_r/Q_r)^{1,25} \leq p_t \leq 1,2p_r(Q_r/Q_r)^{1,25}$$

gde je:

— p_r referentni pritisak od 2,5 bara za standardne pneumatike putničkih vozila (za ojačane pneumatike 3 bara),

— referentni pritisak p_r za pneumatike dostavnih vozila odgovara indeksu pritiska na bočnoj strani pneumatika.

Pre ispitivanja pneumatike treba »uhodati« kako bi se ujednačila temperatura. Da bi se to postiglo zahteva se prelazak 100 km u normalnim uslovima. Takođe, pre ispitivanja pneumatike treba montirati u istom, defi-

nisanom smeru okretanja. Pri nailasku prednjeg dela vozila na nailaznu liniju, ručica menjačkog prenosioca se postavlja u neutralni položaj, a motor isključuje.

Merenja se obavljaju četiri puta sa svake strane vozila, pri brzini kretanja koja je veća od referentne brzine ispitivanja, i još najmanje četiri puta brzinom koja je manja od referentne. Probna brzina mora da bude 70 do 90 km/h za pneumatike putničkih vozila i njihove prikolice, sa indeksom opterećenja koji je manji ili jednak vrednosti 121.

Referentna brzina v_{ref} , pri utvrđivanju konačnih rezultata iznosi:

— 80 km/h za pneumatike putničkih vozila i prikolice sa indeksom opterećenja ≤ 121 ;

— 70 km/h za pneumatike dostavnih vozila i prikolice sa indeksom opterećenja > 121 .

Svaki zadovoljavajući izmereni rezultat (v_i — probna brzina i L_i — nivo zvuka na jednoj strani probnog vozila), utvrđuje nivo buke L_R koji stvara pneumatik — podloga, a dobija se regresionom analizom u skladu sa jednačinom:

$$L = L_R + a \log(v/v_{ref})$$

$$L_R = L + av,$$

gde je:

L — srednja vrednost izmerene buke (dB(A),

n — broj merenja,

v — srednja vrednost log brzine,

$$v_i = \log(v/v_{ref}),$$

a — nagib regresione prave u dB(A)/dekadi brzine.

Konačni rezultati se koriguju primenom temperature kompenzacije za referentnu temperaturu površine puta Θ_{ref} u skladu sa izrazom:

$$L_R(\Theta_{ref}) = L_R(\Theta) + K(\Theta - \Theta_{ref}),$$

gde je:

Θ — izmerena temperatura površine puta pri $\Theta_{ref}=20^{\circ}\text{C}$,

K — koeficijent korekcije

$K=0,03 \text{ dB(A)/}^{\circ}\text{C}$ ako je $\Theta > \Theta_{ref}$,

$K=0,06 \text{ dB(A)/}^{\circ}\text{C}$ ako je $\Theta < \Theta_{ref}$.

Temperatura kompenzacije ne primenjuje se za pneumatike dostavnih vozila i njihove prikolice sa indeksom opterećenja > 121 .

Korekcija navedenih parametara definiše se regresionom krivom, pomoću formule:

$$L_p = A_0 + A_1 \cdot T$$

gde je:

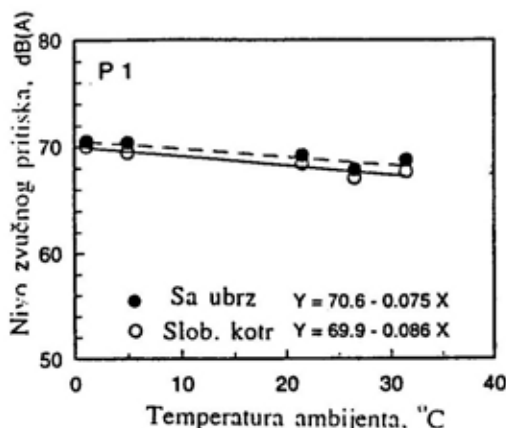
L_p — nivo buke u dB(A),

T — temperatura ambijenta,

A_0, A_1 — koeficijenti regresije.

Na slikama 3 i 4 prikazana je linearna zavisnost nivoa zvučnog pritiska od temperature ambijenta za pneumatike lakih kamiona.

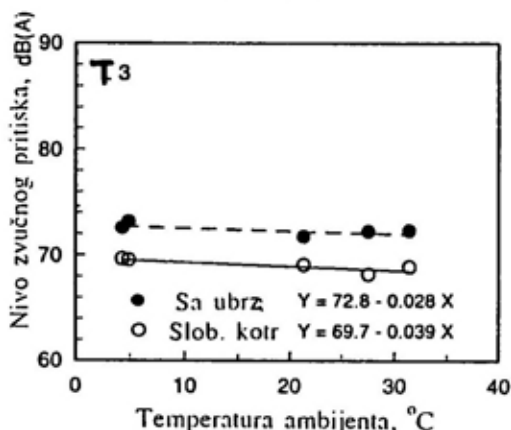
P1
205/65R15 93H



Sl. 3 — Zavisnost nivoa buke i temperature ambijenta za pneumatike putničkog vozila

ska od temperature okoline za pogonski i vođeni točak vozila. Na slici 3 zavisnost je prikazana za pneumatik 205/65 R15 93 H putničkog vozila, a na slici 4 za pneumatik 7.50-R16/14PR lakih kamiona.

T3
7.50-R1614 PR



Sl. 4 — Zavisnost nivoa buke i temperature ambijenta za pneumatike lakih kamiona

Rezultati ispitivanja pokazali su da je prosečna promena nivoa zvučnog pritiska $0,051 \text{ dB(A)/}^{\circ}\text{C}$ kod pogonskog točka i $0,091 \text{ dB(A)/}^{\circ}\text{C}$ kod vođenog točka, što znači da je uticaj temperature manji kod pogonskih točkova.

Rezultati ispitivanja interakcije buke pneumatik — podloga

Po direktivi OICA u Nemačkoj su testirana 143 različita tipa pneumatika putničkih automobila širine od 135 do 255 mm. Pored pneumatika za putnička vozilai ispitivani su i pneumatici za teška vozila. Na rezultate istraživa-

nja uticali su mnogi neistraženi faktori, pa je zbog toga FIGE (Nemačka asocijacija za buku) dobila zadatak od ACEA (Evropsko udruženje proizvođača vozila) da kompletira testove koji bi obuhvatili:

— određivanje korelacije buke po metodi opitnih prikolica i rezultata izmerenih na vozilu;

— uticaj ubrzanja, odnosno obrtnog momenta na buku pneumatika;

— proučavanje uticaja vozila na buku pneumatika.

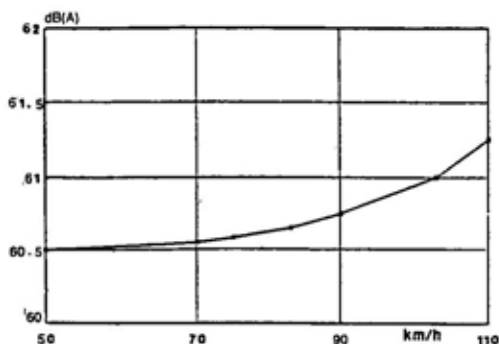
Pored navedenih parametara koji utiču na buku pneumatika, ništa manje nisu značajni: brzina, dezen protektora, uravnoteženost točka, udvojenost točkova i dr. U tom kontekstu obavljena su mnogobrojna ispitivanja, a deo rezultata prikazan je u ovom radu.

Uticaj brzine

Uticaj brzine kotrljanja (merna mesta prema slici 2) na buku pneumatika prikazan je na slici 5. Do brzine oko 70 km/h nivo buke je približno konstantan, a iznad te brzine ima tendenciju porasta.

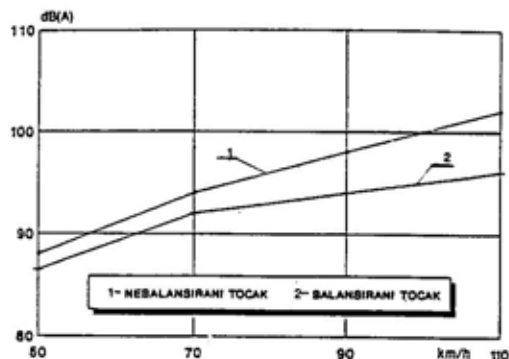
Uticaj uravnoteženosti točka

Uticaj uravnoteženosti točka na nivo buke i njen karakter, različit je i zavisi od položaja mernih mesta (slika 2).



Sl. 5 — Uticaj brzine na buku pneumatika

Najveći nivoi buke su u tačkama 2 i 4 posle ostvarenog kotrljanja uz neznatne razlike u nivou između balansiranih i nebalansiranih točaka, dok su te razlike nešto izraženije u tačkama 1 i 3. Pri brzinama od 110 km/h, razlika može da iznosi 4 do 5 dB(A). Na slici 6 dat je prikaz nivoa buke balansiranih i nebalansiranih točaka (merno mesto 3).



Sl. 6 — Uticaj uravnoteženja točka na buku pneumatika

Nivo buke na mernim mestima 5 i 6 za 3 do 4 dB(A) je niži u odnosu na merna mesta 1 i 3 sa balansiranim točkom, zbog blizine nailazne kontaktne površine pneumatika i podloge (u smeru kretanja), dok je karakter buke nebalansiranih točaka sličan kao i na mestima 1 i 3, zbog povećanog nivoa koji se prostire do zona tačkama 5 i 6.

Uticaj stanja točka (pogonski-gonjeni) na buku pneumatika

Uticaj stanja točka (pogonski-gonjeni) na buku pneumatika prikazan je na slici 7 (merno mesto 3).

Uočava se da je nivo buke pogonskog točka za 1,5 do 2,5 dB(A), iznad buke gonjenog točka.

Razlika nivoa buke pneumatika pogonskog i gonjenog točka veća je pri nižim brzinama kretanja (< 80 km/h) i iznosi 2 do 2,5 dB(A), dok je ta razlika (> 80 km/h) pri višim brzinama nešto manja (1—1,5 dB(A)).

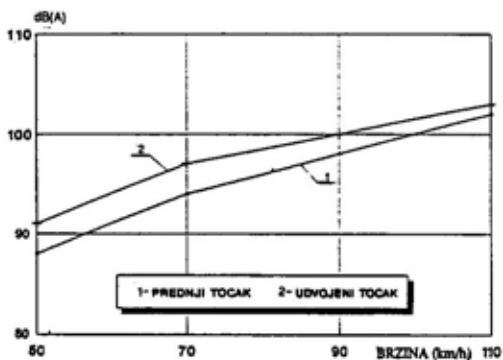


Sl. 7 — Uticaj stanja točka na buku pneumatika

Uticaj udvojenosti točkova

Uticaj udvojenosti točkova na buku kod teških vozila prikazan je na slici 8.

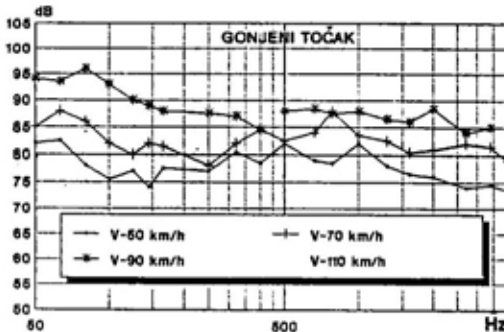
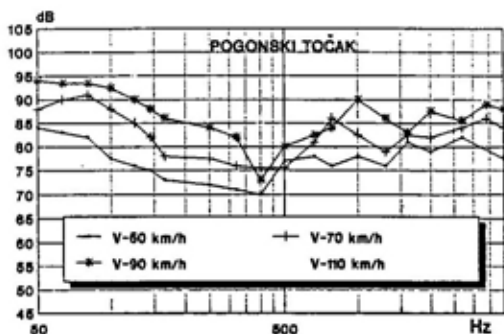
Može se uočiti da je uticaj udvojenih pneumatika na buku veći za oko 2 dB(A) u odnosu na pneumatik prednjeg točka istih dimenzija, pri svim brzinama kretanja.



Sl. 8 — Uticaj udvojenih pneumatika na buku

Frekvencijski spektar buke pneumatika

Frekvencijski spektar buke pneumatika pogonskog i gonjenog točka (merno mesto 4) putničkog vozila prikazan je na slici 9.

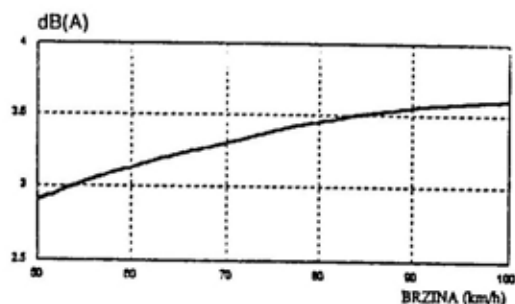


Sl. 9 — Frekvencijski spektar

Korelacija rezultata ispitivanja na vozilu i prikolici

U okviru ispitivanja koja je obavljala FIGA, od ukupno 143 pneumatika izabrana su 24 reprezentativna tipa širine od 155 do 205 mm, radi upoređenja rezultata ispitivanja na vozilu i prikolici. Ispitivanja su vršena pri brzini od 50 do 100 km/h. Radi smanjenja uticaja tipa vozila na ispitivanje korišćena su samo dva vozila (VW golf i opel omega). Razlika rezultata između korišćenih metoda ispitivanja pomoću prikolice i vozila varirala je

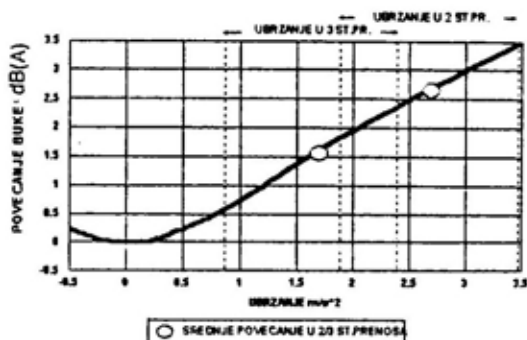
u zavisnosti od brzine.. Tako pri brzini vozila od 80 km/h vrednost je veća u proseku za 3,4 dB(A), a pri 60 km/h za 3,2 dB(A). Na slici 10. dat je prosek razlika buke u zavisnosti od brzine, na stazi definisanoj ISO standardom.



Sl. 10 — Prosečna razlika rezultata ispitivanja sa prikolicom i vozilom u zavisnosti od brzine

Uticaj ubrzanja na buku pneumatika

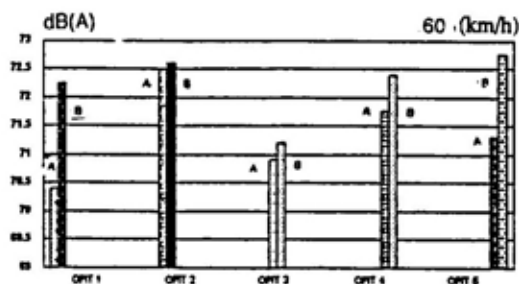
Za ispitivanja uticaja ubrzanja na buku korišćeno je 5 pneumatika širine od 195 do 205 mm, a ispitivanja su vršena na vozilu i prikolici, sa različitim ubrzanjima i silama kočenja. Obe metode ukazale su na to da se buka pneumatika povećava i pri pozitivnom momentu (ubrzanju) i pri negativnom (usporenju-kočenju). U zavisnosti od snage motora vozila pri punom ubrzanju u trećem stepenu prenosa povećanje buke iznosi 0,5 do 2,5 dB(A), a u drugom stepenu prenosa od 2 do 3,5 dB(A). Srednja vrednost buke pneumatika, izmerena u skladu sa EEC 92/97, jeste za 2 dB(A) veća od buke pneumatika pri konstantnoj brzini. Na slici 11 prikazano je povećanje buke pneumatika u zavisnosti od ubrzanja vozila.



Sl. 11 — Uticaj ubrzanja vozila na buku pneumatika

Uticaj konstrukcije karoserije vozila na buku pneumatika

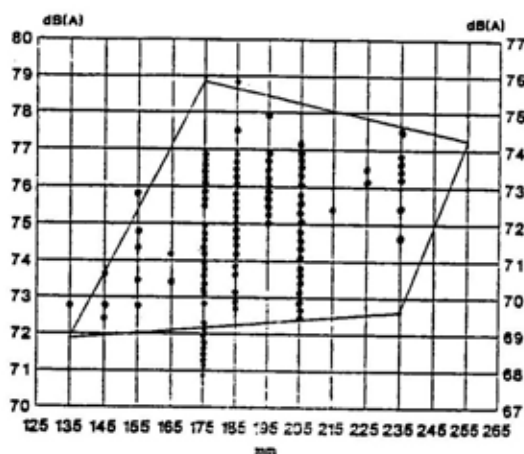
Ispitivanja su obavljena na pet različitim pneumatika širine od 195 do 205 mm, na dva vozila slična po gabaritnim merama i snazi motora (opel omega — vozilo A i mercedes E 230 — vozilo B). Dobijeni rezultati bili su različiti za pojedine pneumatike. Pri brzini od 60 km/h razlike su bile od 0,1 do 1,8 dB(A), a pri 80 km/h od 0,1 do 1,5 dB(A). To potvrđuje da čak i sa sličnim vozilima, zavisno od kombinacije pneumatik-vozilo, postoje razlike buke koje su izvan prihvatljivih granica tolerancije. Međutim za utvrđivanje adekvatnog kriterijuma potrebno je izvršiti više probnih merenja na različitim vozilima. Na slici 12. prikazan je uticaj konstrukcije karoserije na buku pneumatika.



Sl. 12 — Uticaj konstrukcije karoserije vozila na buku pneumatika

Korelacija rezultata ispitivanja i uslova ispitivanja

Ukupni rezultati ispitivanja prikazani su na slici 13, gde se može uočiti njihova disperzija.



Sl. 13 — Buka 143 različita tipa pneumatika u zavisnosti od uslova ispitivanja

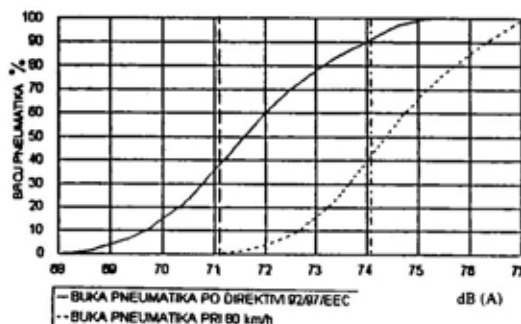
Na levoj ordinanti prikazani su nivoi buke pri brzini od 80 km/h, a na desnoj buka pneumatika prema direktivi 92/97/EEC.

Ove vrednosti dobijene su pri brzini od 60 km/h, i srednjem uticaju obrtnog momenta od 2 dB(A).

U svakoj kategoriji pneumatika postoje vrednosti sa nivoom buke nižim od 71 dB(A). Međutim, njihov broj je vrlo mali, pa treba ispitati koji od njih ispunjavaju zahteve proizvođača vozila po pitanju bezbednosti, komfora, performansi, i dr. Disperzija vrednosti za pojedine kategorije pneumatika je velika i iznosi oko 6 dB(A).

Oko 10 % pneumatika za putničke automobile stvara buku koja ne prelazi 74 dB(A). Približno 60 % pneumatika stvara buku koja prelazi granicu od 71 dB(A), što znači da je njihov udeo u ukupnoj dozvoljenoj buci veći od 50 %.

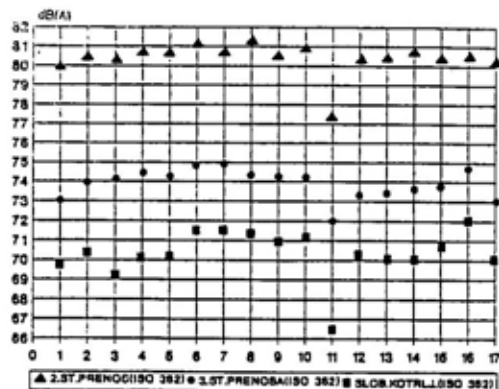
Na slici 14. je prikazan uticaj pojedinih pneumatika na nivo buke.



Sl. 14 — Buka pneumatika u zavisnosti od uslova ispitivanja

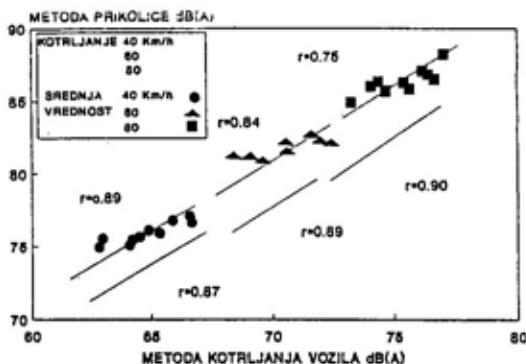
Pored ispitivanja čiji su rezultati prikazani, vršena su i druga slična ispitivanja buke pneumatika.

U Nemačkoj su ispitivani pneumatici 17 različitih proizvođača, na jednom ispitnom vozilu u II i III stepenu prenosa, metodom slobodnog kočenja dobijeni rezultati prikazani su na slici 15.



Sl. 15 — Buka pneumatika u II i III stepenu prenosa i buka slobodnog kretanja: 1 — Conti slick 195/50 R15, 2 — Michelin MXV2 195/50 R15, 3 — Conti CV 51 195/50 R15, 4 — Goodyear NCT2 195/50 R15, 5 — Uniroyal R 440 195/50 R15, 6 — Conti 185/55 R15, 7 — Kleber C 501 V 195/50 R15, 8 — Conti CV 90 195/50 R15, 9 — Pirelli P600 195/50 R15, 10 — Uniroyal R 440 195/50 R15, 11 — Conti slick 195/60 R14, 12 — Conti CV 51 205/50 R15, 13 — Conti CV 90 205/50 R15, 14 — Dunlop D40 205/50 R15, 15 — Conti CZ 91 205/50 R15, 16 — Pirelli P 700 205/50 R15, 17 — Uniroyal R 440 205/50 R15

Korelacija koeficijenta primenom metode kotrljanja i metode opitne prikolice može se izračunati bez obzira na broj mernih mesta i merenja. Jedan takav prikaz rezultata ispitivanja dat je na slici 16.



Sl. 16 — Korelacija između nivoa buke primenom metoda kotrljanja i opitne prikolice:

Zaključak

Nove granice buke, uvedene oktobra 1995. godine, moguće je ostvariti sa pneumaticima koji imaju nizak nivo buke, a čiji je broj danas veoma mali. Ispitivanja koja su do sada obavljena u Evropi, a čiji je deo rezultata prikazan u ovom radu, navode na sledeće konstatacije:

— buka pneumatika raste sa povećanjem brzine,

— buka pneumatika nebalansiranoj točka je veća u odnosu na balansirani,

— buka udvojenih pneumatika je veća od singl-pneumatika,

— buka pneumatika pogonskog točka je veća od buke gonjenog točka,

— povećanje brzine izaziva više nivoa buke sa blagom tendencijom porasta kod pogonskog točka skoro u celokupnom frekventnom domenu,

— buka pneumatika se uvećava i pri ubrzanju i pri usporenju vozila, a njeni nivoi su viši u nižim stepenima prenoša,

— konstrukcija i oblik karoserije utiču na nivo buke pneumatika,

— dezen protektora utiče na nivo buke. Dezen sa poprečnom šarom ima viši nivo buke u odnosu na dezen sa uzdužnom šarom.

Danas oko 60% pneumatika ne zadovoljava limit buke od 74 dB(A), pa je neophodno definisati kvalitet proizvodnje radi zadovoljenja postavljene granice. S obzirom na to da je već konstatovano da buka pneumatika zavisi od tipa vozila, potrebno je da nadležne institucije potpuno definišu ispitno vozilo, kao i metode i uslove ispitivanja koji bi obuhvatali i homologaciju ispitnih poligona. U našoj zemlji je neophodno sa domaćim proizvođačima pneumatika putničkih i teretnih vozila uspostaviti saradnju radi utvrđivanja nivoa buke i iznalaženja mogućnosti zadovoljenja postavljenih limita, odnosno optimizacije pneumatika sa aspekta buke.

Literatura:

- [1] Stav ACEA proizvođača vozila o modifikaciji metoda testiranja buke za vozila 92/97/EEC i direktiva za merenje buke pneumatika 92/93/EEC (decembar 1993).
- [2] Predlog dozvoljenih nivoa buke pneumatika u odnosu na buku koju stvara pneumatik i podloga (izmena direktive 92/92/EEC (novembar 1993).
- [3] EEC type — Approval in respect of the sound level of a type of motor vehicle.
- [4] Acea position paper input for the erga-noise meeting of July 1994. — European commission.

- [5] Petrović, P., Janković, S., Popović, V.: Aktuelni problemi i tendencije razvojnih istraživanja problematike buke motornih vozila sa aspekta zakonske regulative (XV Naučno-stručni skup nauka i motorna vozila — Razvoj automobilske tehnike i okruženje, maj 1995, Beograd).

- [6] Methods of measurement of external noise emitted at tyre-road interface, Trans/SC1/WP29/GRB/R.112, economic commission for Europe.

- [7] Test results of tyre/road noise in Japan; Trans/SC1/WP29/GRB/R.107.
- [8] ECE R.9 i ECE R.9 Rev. 1.
- [9] ECE R.51 i ECE R.51/01.
- [10] TRANS/SC11/WP29/GRB/2.
- [11] Petrović, P., Janković, S., Popović, V.: Aspekt buke motornih vozila u aktivnostima međunarodnih organizacija za standardizaciju, Svet-ski dan standardizacije, 12, 13. X 1995. Beograd, Kvalitet, časopis za unapređenje kvaliteta.
- [12] Petrović, P.: Interakcija pneumatik-podloga sa aspekta buke motornih vozila, XV Jugoslovenska i III Međunarodna konferencija Buka i vibracije u životnoj i radnoj sredini, 11—13. X 1995. Niš.
- [13] Petrović, P.: Istraživanje procesa generisanja strukturne buke dizel motora — Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Beograd, 1996.
- [14] Veselinović, B., Petrović, P., Janković, S., i dr.: Razvoj terenskog automobila Rakovica podpr. Smanjenje buke vozila korišćenjem domaćih materijala. Projekat Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, 1992.

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

SOFTVERSKI RADIO

UDC: 681.324.06:623.61/.62

Rezime:

Digitalna obrada signala, i njena sve šira primena u komunikacijama, dovela je do redefinisavanja arhitekture radio primo-predajnika. Novi trend koji bitno utiče na promene u radio-komunikacijama nazvan je »softverski radio«. Osnova tehnologije softverskog radija jeste potpuna programabilnost svih sklopova uređaja. Komponente kojima se to postiže su: analogno-digitalni i digitalno-analogni konvertori, digitalni procesori signala, digitalni konvertori frekvencije i mikroprocesori opšte namene. U komercijalnim aplikacijama ova tehnologija brzo je našla primenu u mobilnim komunikacijama. Zbog fleksibilnosti koju pruža, koncept softverskog radija našao je široku upotrebu i u vojnim komunikacionim sistemima i sistemima za EI i PED.

Ključne reči: softverski radio, softverski prijemnik, elektronsko izvidanje, radio-komunikacije, digitalna obrada signala, digitalni proces signala.

SOFTWARE RADIO

Summary:

Digital signal processing and its wide application in communication systems redefined radio transceiver design. New direction which considerably affects the field of radio-communication is called »software radio«. The basic nature of the software radio technology is the total programmability of all radio devices. The software radio consists of the following components: analog to digital and digital to analog converters, digital signal processors, digital down converters and general purpose microprocessors. In commercial applications this technology rapidly finds its use in mobile communications. Because of its flexibility the software radio technology is widely applied military communication and electronic warfare systems.

Key words: software radio, software receiver, electronic surveillance, radio communication, digital signal processing, digital signal processor.

Uvod

Koncept softverskog prijemnika i, generalno, softverskog radija počeo se razvijati sredinom sedamdesetih godina u američkim vojnim istraživačkim ustanovama. Naziv »softverski« često se prenaplašeno koristi u komercijalne svrhe. U ovom slučaju termin »sof-

tverski« odražava osnovnu prednost i tehnološke novine koje se primenjuju u prijemnicima. Jedna od najznačajnijih prednosti jeste mogućnost realizacije različitih uređaja i funkcija bez promena hardvera.

Softverski radio nastao je kombinacijom tehnika koje obuhvataju: RF konverziju širokopojasne analogno-

-digitalne (A/D) i digitalno-analogne (D/A) konvertore, digitalnu obradu signala primenom programabilnih procesora signala (DSP) i procesora opšte namene. Ovako procesorski programabilno definisan prijemnik deo je evolucije hardverskih digitalnih sklopova. Softverski kontrolisani digitalni prijemnik generalno ne predstavlja i softverski prijemnik. Ključna razlika je totalna programabilnost softverskog prijemnika koja podrazumeva i modulaciju, mod višestrukog pristupa, i sl. [1].

Fleksibilnost programabilnih implementacija omogućava rapidne promene modulacionih tehnika i upotrebu talasnih oblika kakvi u tradicionalnim analognim tehnikama nisu mogući.

Komunikacija u vojnim sistemima obavlja se na različitim udaljenostima i sa više komandnih nivoa, pa su za njeno uspostavljanje potrebni različiti RF (radiofrekvencijski) opsezi, energetski i spektralno efikasni tipovi modulacija, algoritmi za kodovanje govora, algoritmi za zaštitu predajnog signala i algoritmi za zaštitu same informacije (kriptozaštita). U ovakvim primerima fleksibilnost koncepta softverskog radija ima velikih prednosti.

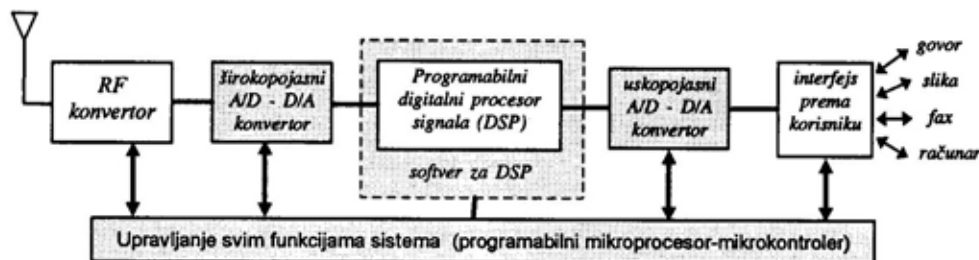
Struktura softverskog radija

Softverski radio čini niz programskih sklopova. Blok-šema na slici 1 prikazuje osnovnu strukturu softver-

skog radija. Dostupne tehnologije dozvoljavaju da se odabiranje obavlja frekvencijom 500 MHz, čime je ulazni RF opseg prijemnika ograničen na ~ 200 MHz. To znači da je za neke RF opsege (KT, VKT) moguće obezbediti A/D i D/A konverziju signala na samoj anteni. Ako se želi prijem na frekvencijama višim od 200 MHz potrebna je konverzija frekvencije analognim sklopovima. Iza širokopojasnih A/D i D/A konvertora sva obrada i kodovanje signala obavlja se primenom digitalnih procesora signala sa algoritama za digitalnu obradu signala.

Korisnik preko odgovarajućeg interfejsa šalje i prima informacije kao što je govor, slika, fax, podaci i sl. Analogni signali u osnovnom opsegu (govor i slika) na prijemu pretvaraju se iz digitalnog oblika pomoću uskopojasnih D/A konvertora, dok se u predaji analogni signali od korisnika prethodno digitalizuju A/D konvertorom, a zatim u DSP prilagođavaju (modulišu, koduju) prenosu radio-kanalom.

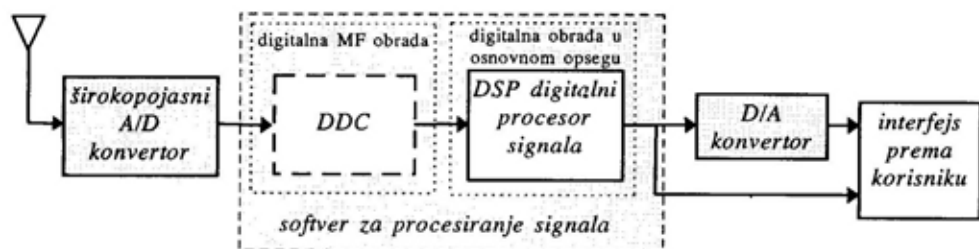
Struktura softverskog prijemnika prikazana je na slici 2. Signal sa antene dovodi se, u opštem slučaju, na širokopojasni A/D konvertor. Iza A/D konvertora sve obrade u prijemniku obavljaju se digitalnom obradom signala na programabilnom hardveru.



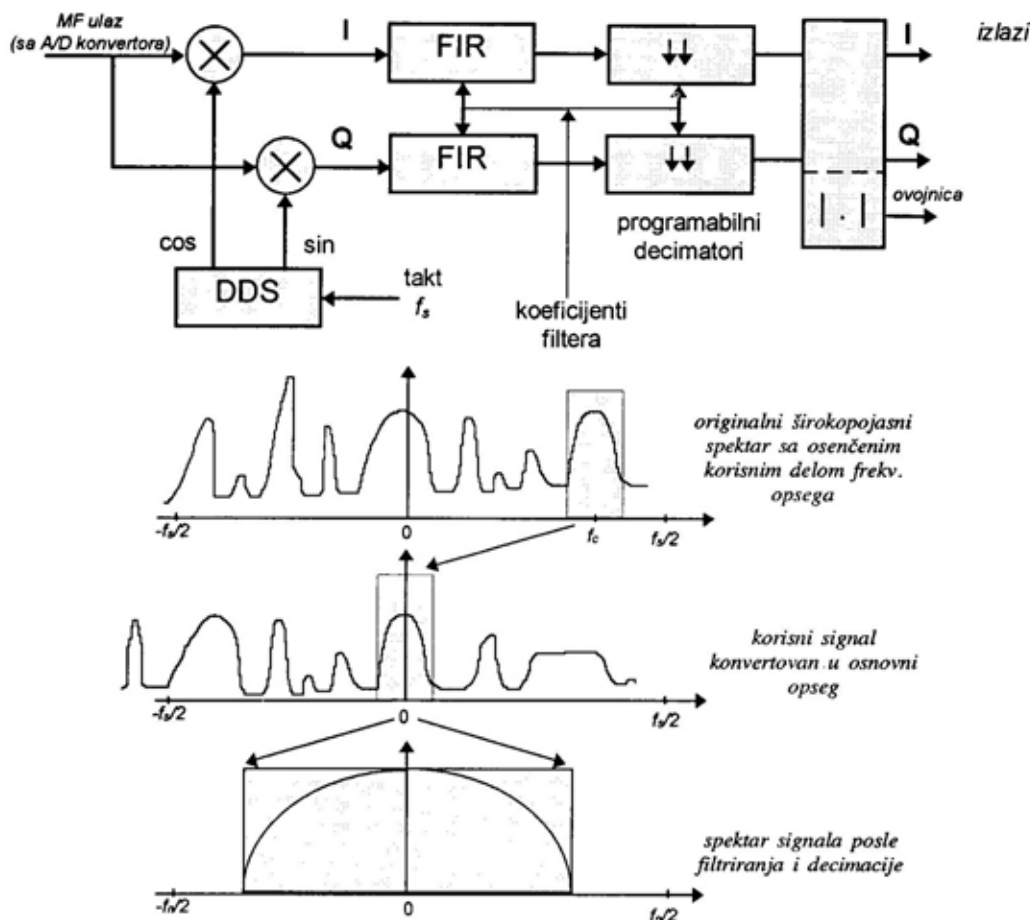
Sl. 1 — Blok-šema softverskog radija

Da bi se prevazišla trenutna tehnološka ograničenja i efikasnije iskoristila raspoloživa procesorska snaga, u prijemnik se iza A/D konvertora dodaju sklopovi za digitalnu obradu MF

(među-frekvencijskih) signala. Jedan od tih sklopova jeste digitalni konvertor frekvencije (DDC — Digital or Decimating Down Converter).



Sl. 2 — Struktura softverskog prijemnika



Sl. 3 — Blok-šema i princip rada digitalnog konvertora frekvencije

Translacija frekvencije, filtriranje i decimacija zahtevaju oko 100 instrukcija procesora po odbirku, što za frekvenciju odabiranja od 30 MHz daje oko 3000 MIPS (miliona instrukcija u sekundi). Ove funkcije zahtevaju značajnu procesorsku snagu, pa se u prvim generacijama softverskog prijemnika predobrada ili obrada MF signala, obavlja primenom DDC čipa (npr. HSP 50016 proizvođača Harris). Suština primene DDC jeste da se potrebna procesorska snaga smanji i svode na meru u kojoj je potrebna samo za obradu signala u osnovnom opsegu frekvencija.

Na slici 3 prikazana je blok-šema i princip rada DDC. RF signal sa A/D konvertora dovodi se na kompleksni množač. Prostoperiodične signale (\sin/\cos) za kvadraturne grane množača generiše direktni digitalni sintezator frekvencije (DDS). Na taj način vrši se translacija željenog segmenta frekvencijskog spektra u osnovni opseg. Primenom niskopropusnih programabilnih filtera, sa konačnim trajanjem impulsnog odziva (FIR) i decimatora, željeni segment frekvencijskog opsega se filtrira, a frekvencija odabiranja se smanjuje ($nf_n = f_s$).

Na svom izlazu DDC daje kompleksan signal u osnovnom opsegu sa n puta manjim brojem odbiraka. Vrednost faktora decimacije n direktno zavisi od odnosa ukupne širine spektra signala na ulazu u A/D konvertor i širine spektra korisnog signala.

Programabilnost svih elemenata DDC (FIR, decimatori, DDS) omogućava realizaciju I/Q demodulatora. Neki proizvođači nude i programabilne demodulatore koji se mogu upotrebiti za MF obradu u softverskom prijemniku umesto DDC.

Digitalna obrada signala u osnovnom opsegu obavlja se primenom digitalnih procesora signala. Procesorska snaga DSP čipova dozvoljava realizaciju vrlo složenih algoritama za obradu signala u vremenskom, frekvencijskom i prostornom domenu.

Digitalni procesori signala

Programabilni procesori signala (DSP) jesu specijalizovani mikroročunari, projektovani za implementaciju računski intenzivnih operacija i funkcija digitalne obrade signala. Sve funkcije DSP čipa odvijaju se pod kontrolom programa, pri čemu su setovi instrukcija prilagođeni realizaciji algoritama za digitalnu obradu signala. Drugim rečima, DSP svojom hardverskom arhitekturom i programskim instrukcijama omogućava implementaciju algoritama, kao što su: digitalno filtriranje (FIR, i IIR), brza Furijeova transformacija (FFT), adaptivna digitalna obrada signala, sinhronizacija frekvencije, simbola i vremenskog slot-a), ekvalizacija, linijsko i kanalsko kodovanje i dekodovanje signala i sl.

Osnovni element hardverske arhitekture svakog DSP jeste brza jedinica za množenje, pa je vreme za izvršenje instrukcije jednako taktu samog DSP. Detaljnije informacije o DSP mogu se naći u [2, 3, 4]. U tabeli 1 prikazan je pregled danas najznačajnijih digitalnih procesora signala.

Jedan od kriterijuma za ocenu snage DSP jeste brzina izvršavanja instrukcije množenja i akumulacije $a = a + b \cdot c$. Optimizacijom ovog tipa instrukcije postiže se brzo računanje odziva FIR filtera.

Primene koncepta softverskog radija u izviđačkim sistemima

U oblasti protivelektronske borbe, a naročito u segmentu koji se bavi izviđanjem komunikacionih sistema, softverski prijemnici našli su široku primenu. Razlog za to je potreba za univerzalnim sistemom za presretanje, detekciju, analizu, vrijeme i eksploataciju različitih signala.

Promene koje se dešavaju u oblasti komunikacionih sistema potencijalnih protivnika teško je pratiti bez odgovarajući tehnički i tehnološki sa-

Pregled najznačajnijih procesora signala

Procesor	Proizvođač	Brzina	Opis
ADSP 21 xx familija ADSP 21062 SHARC ADSP 21065 SHARC	Analog devices Analog devices Analog devices	10,2—33 MIPS' 40 MFLOP; 120 MIPS 180 MFLOP	11 bit, fiksni zarez 32 bit, pokretni zarez, multiproc. 32 bit, pokretni i fik- sni zarez
DSP56000 DSP56100 DSP56300 DSP5600 DSP96002	Motorola Motorola Motorola Motorola Motorola	20 MIPS 30 MIPS 80—100 MIPS 60 MIPS 60 MFLOP; 20 MIPS	24 bita, fiksni zarez 16 bita, fiksni zarez 24 bita, fiksni zarez 16/24 bita fiksni zarez 32 bita, pokretni zarez
DSP32C	AT & T	25 MFLOP; 12,5 MIPS	32 bita, pokretni zarez
DSP16 xx familija DSP16000	Lucient Techni- logies Lucient Techni- logies	26—120 MIPS 200 MIPS	16 bita, fiksni zarez 32 bita, fiksni zarez
TMS320C1 x familija TMS320C2 x familija TMS320C3 x familija TMS320C4 x familija TMS320C5 x familija TMS320C62 x familija TMS320C67 x familija TMS320C80	Texas Instruments Texas Instruments Texas Instruments Texas Instruments Texas Instruments Texas Instruments Texas Instruments Texas Instruments	5 MIPS 10—12 MIPS 40 MFLOP; 20 MIPS 50 MFLOP; 25 MIPS 40—50 MIPS 1,6 GIPS 1 GFLOP; 1,333 GIPS 200 MFLOP	16 bita, fiksni zarez 16 bita, fiksni zarez 32 bita, pokretni zarez 32 bita, pokretni zarez, multiproc. 16 bita, fiksni zarez 32 bita, fiksni zarez, VelocitiTI 32 bita, pokretni zarez, VelocitiTI 32 bita, pokretni zarez, DSP+RISC

vremenih izviđačkih sistema. Uspešno otkrivanje, analiza, praćenje i eksploatacija signala neprekidno zahteva razvoj i nabavku novih ili modifikaciju postojećih izviđačkih prijemnika i analizatora. Koncept softverskog radija dozvoljava znatno brži razvoj i modifikaciju postojećih, a često eliminiše potrebu za nabavkom novih sredstava. Suština je u promeni programa (softvera) koji određuje funkciju prijem-

nika. Na primer, ako je cilj razvoj algoritama za prijem novog tipa modulacije ili kodovanja signala problem se može rešiti na više načina:

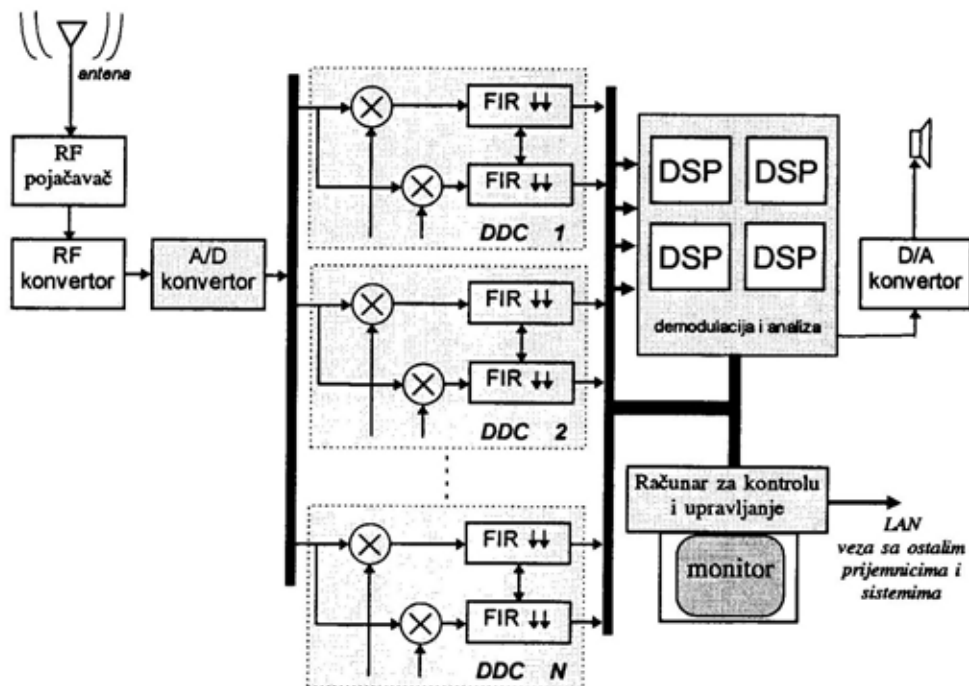
1. razvojem kompletno novog prijemnika,
2. razvojem novog demodulatora, ako postojeći prijemnik omogućava prijem signala odgovarajućeg frekventijskog opsega,
3. primenom digitalne obrade signala na razvojnoj DSP ploči, a zatim učitavanje razvijenog programa u memoriju softverskog prijemnika.

¹ MIPS je oznaka za milion instrukcija u sekundi, dok je MFLOP kod procesora sa pokretnim zarezom oznaka za milion operacija sa pokretnim zarezom (Floating point Operations) u sekundi.

Za prva dva načina potrebno je znatno više vremena, a nivo tehnologije treba da omogući razvoj i izradu hardverskih sklopova. Treći način podrazumeva primenu softverskog prijemnika kao osnove na kojoj se, izmenom softvera, dobijaju nova, za izmenjenu situaciju u elektromagnetskom spektru, pogodna rešenja. Osnovni preduslov za uspešan razvoj trećim načinom jeste znanje iz oblasti digitalne obrade signala. Troškovi opreme i re-promaterijala svedeni su na materijalna sredstva potrebna za nabavku razvojnog okruženja i DSP (razvojne) ploče.

Na slici 4 prikazana je blok-šema višekanalnog izviđačkog prijemnika realizovanog tehnologijama softverskog

radija. RF signal sa antene se pojačava i konvertuje u opseg uslovljen brzinom A/D konvertora,² Širokopojasni signal na izlazu A/D konvertora u digitalnom obliku, preko zajedničke magistrale, vodi se na ulaz banke digitalnih konvertora frekvencije. Svakom DDC računaram se zadaju koeficijenti³ niskopropusnih filtera, faktor decimacije i frekvencija DDS. Time se zadaje segment frekvencija koji se na njihovom izlazu dobija u kompleksnom obliku. Izlazi banke DDC mogu se posmatrati kao niz frekvencijskih kanala koji se paralelno transliraju u osnovni opseg. Dalja obrada odvija se u procesorima signala prema zadatom algoritmu.



Sl. 4 — Blok-šema višekanalnog softverskog izviđačkog prijemnika

² Prema Nikvistovom (Nyquist) kriterijumu frekvencija odabiranja A/D konvertora mora biti najmanje dva puta viša od najviše frekvencijske komponente signala koji se odabira. U praksi se uzima da frekvencija odabiranja bude 2,6 do 5 puta veća od frekvencije signala.

³ Koeficijentima FIR filtera zadaje se njegov impulsni odziv, a time i propusni opseg. Od dužine filtera (broja koeficijenata) zavisi kvalitet karakteristike digitalnog filtera u propusnom i nepropusnom opsegu.

Funkcije softverskog prijemnika mogu biti unapred razvijene prema zadatku i konkretnoj situaciji, i iz računara prosleđene programabilnim sklopovima. Novi algoritmi, još u fazi testiranja, mogu se proveravati u realnim uslovima protivelektronske borbe. Računar, pored upravljanja prijemnikom, obavlja komunikaciju sa drugim sistemima putem modema, lokalne mreže, komunikacionog linka i sl.

Prednosti softverskog prijemnika u odnosu na klasičan superheterodinski izviđački prijemnik su sledeće:

- programabilnost MF filtera; banka fabrički projektovanih MF filtera sada je zamenjena FIR filterom u DDC čiji se koeficijenti mogu jednostavno menjati učitavanjem iz memorije,

- veći broj demodulatorskih funkcija i njihova implementacija u formi programskih dodataka,

- skraćeno vreme od analize do prijema i eksploatacije signala,

- brža implementacija i provera novih algoritama obrade signala,

- povećane mogućnosti automatske identifikacije,

- implementacija funkcija za prepoznavanje modulacije i kodovanja signala,

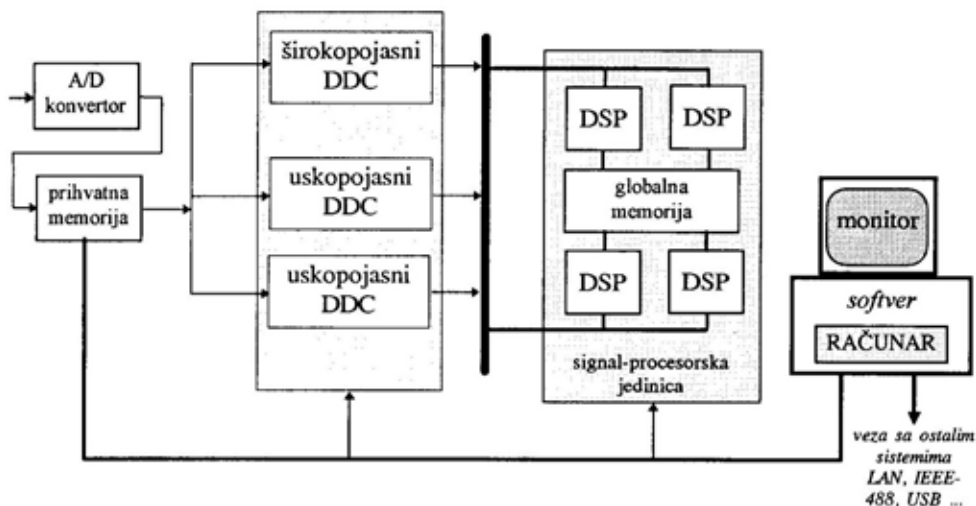
- veći broj analizatorskih funkcija (spektralna analiza, konstelacioni dijagrami) ugrađen je u sam prijemnik,

- bolja veza sa računarom i drugim prijemnicima u sistemu.

Tipični predstavnici softverskih prijemnika, namenjeni za izviđanje komunikacionih sistema, prema dostupnoj literaturi su: TRC-8025 proizvođača THOMSON-CSF, E-2000 LH/VU/LU i E-2010 LH/VU/LU proizvođača AEG, Collins 95S-1A proizvođača Rockwell.

Jedna od čestih aplikacija softverskog izviđačkog prijemnika jeste otkrivanje i praćenje komunikacija sa frekvencijskim skakanjem (FH-frequency hopping). Na slici 5 prikazana je blok-šema takvog softverskog prijemnika.

Signal-procesorska jedinica, sastavljena od više paralelno povezanih DSP, predstavlja glavni blok ovog prijemnika. Jedan od DSP unutar signal-



Sl. 5 — Blok-šema softverskog izviđačkog prijemnika za otkrivanje i praćenje komunikacija sa frekvencijskim skakanjem

-procesorske jedinice određuje amplitudni spektar (FFT) širokopolasnog signala. Upoređenjem spektralnih komponenti između sukcesivnih rezultata analize, drugi DSP određuje frekvenciju na kojoj je došlo do skoka predajnika izviđanog uređaja. Upravljanje sa dva uskopojasna DDC obavlja treći DSP i njihovu frekvenciju podešava prema rezultatima analize drugog procesora. Time je ostvareno praćenje predajnika sa frekvencijskim skakanjem. Podatak o trenutnoj frekvenciji može se proslediti ometaču ili beležiti u memoriju računara.

Da bi se ostvarilo praćenje celokupne komunikacije i omogućila eksploatacija signala, četvrti DSP procenjuje kašnjenje koje nastaje prilikom obrade i vrši korekciju pokazivača trenutnog odbirka unutar prihvatne memorije. Uskopojasni DDC tako dobija odbirke signala od početka emitovanja predajnika na trenutnoj frekvenciji. Ovakav prijemnik ima zadovoljavajuće karakteristike kada se prati jedan predajnik sa frekvencijskim skakanjem. Međutim, kada se u neposrednom okruženju pojavljuje mreža sinhronizovanih FH predajnika javlja se problem identifikacije pojedinačnog skoka. Drugim rečima, prijemnik ne može od više skokova koji se detektuju u jednom trenutku odabrati onaj koji odgovara željenoj stanici. Da bi se i ovaj problem otklonio prethodna šema realizuje se u višekanalnoj varijanti. Time se dobija mogućnost prostorne obrade signala i određivanja pravca izvora zračenja, odnosno, izviđačkom prijemniku se dodaje mogućnost goniometrisanja i prostornog selektovanja (filtriranja) signala.

Primena softverskog prijemnika u sistemima veze

Nekada su vojni radio-uređaji razvijani za period eksploatacije od 30 godina, a funkcije su im bile optimizirane za specifičnu oblast primene. To je primarno bilo uslovljeno spo-

rom evolucijom tehnologije. Današnja komercijalna primena radio-uređaja, pre svega ogromna ekspanzija mobilne telefonije, dovela je do znatnog skraćanja veka komponenti. Takvi trendovi zahtevaju od proizvođača da znatno skрати vreme od puštanja jedne do pojave druge generacije uređaja.

Osnovna dilema koja se danas javlja pri primeni radio-uređaja u vojne svrhe jeste — kako zaštititi komunikaciju od protivelektronskih dejstava i ujedno ostvariti globalnu podršku i kompatibilnost različitih jedinica i snaga. Važno pitanje jeste i kako pratiti rapidne promene u tehnologiji i nauci, a smanjiti budžet na razumnu meru. Pred sličnim dilemama našlo se i američko ministarstvo odbrane pred projektom prvog vojnog softverskog radio-uređaja »Speakeasy«.

Projekat »Speakeasy« započeo je 1990. godine, a prva faza završena je avgusta 1994. [3]. Tada su demonstrirane mogućnosti prvog vojnog softverskog radija. Uređaj je realizovan tako da može emulirati prethodne generacije radio-uređaja: KT modem prema standardu MIL-STD-188-110A, KT frekvencijsko skakanje sa prenosom govora i podataka (STAJ), klasična KT komunikacija (PACER BOUNCE), VKT frekvencijsko skakanje sa prenosom govora i podataka (SINCGARS), UKT frekvencijsko skakanje sa prenosom govora i podataka (HAVE-QUICK I/II).

Druga faza projekta »Speakeasy« započeta je 1995. godine, a predviđeno je da se skup funkcija proširi dodatnim standardima [3], kao što su:

— bežični pristup lokalnoj računarskoj mreži (WLAN) u L-opsegu sa paketskim prenosom podataka;

— prijemnik za globalni pozicioni sistem GPS u L-opsegu;

— povećana brzina prenosa prema standardu SINCGARS SIP u VKT opsegu;

— SATCOM DAMA u UKT opsegu;

— prenosi američkim T1 standardom za digitalni prenos (1,5 Mbit/s);

— celularni mobilni telefonski sistem;

— tehnike LPI (male verovatnoće presretanja).

Još u prvoj generaciji uređaja »Speakeasy« razvijen je programabilni uređaj za zaštitu informacije (INFOSEC), koji čine dva bloka: COMSEC za kriptozastitu poruke i TRANSEC za zaštitu koja se primenjuje u prenosu signala (sekvenca za frekvencijsko skakanje ili sekvenca za širenje spektra faznom modulacijom DS-SS).

Veliki broj radio-uređaja u vojsci ima svoje specifične modulacione postupke. Softverski radio daje mogućnost da se modulacija čuva kao izdvojen programski modul. Planiranjem operacije planira se i skup softverskih modula koji će se u uređajima aktivirati. Program može aktivirati (učitavati, engl. download) korisnik i to za ograničen zajednički skup modova softverskog radija ili ovlašćeno lice za prošireni skup.

Literatura:

- [1] Mitola J.: The Software Radio Architecture, IEEE Communication magazine, May 1995, pp. 26–38.
- [2] Baines R.: The DSP Bottleneck, IEEE Communication magazine, May 1995, pp. 46–54.
- [3] Lackey R. J., Upmal D. W., Speakeasy: The Military Software Radio, IEEE Communication magazine, May 1995, pp. 56–61.

Zaključak

Sa trenutnim nivoom tehnološkog napretka u oblasti A/D i D/A konvertora, i sve većim brzinama digitalnih signal-procesorskih čipova, moguće je znatno unaprediti postojeće vojne radio-uređaje, kao i prijemnike za izviđanje komunikacionih sistema. Životni vek komunikacionog sredstva i izviđačkog prijemnika arhitekturom softverskog radija znatno se povećava, a da bi se ostvarila nova funkcija uređaja potrebna je samo promena programa na postojećem hardveru.

Osnovni preduslov za uspešan razvoj jeste znanje iz oblasti digitalne obrade signala, a vreme od pojave novog algoritma u teoriji do njegove implementacije u uređaju znatno je kraće.

- [4] Kostić Z., Seetharaman S.: Digital Signal Processors in Cellular Radio Communications, IEEE Communication magazine, Decembar 1997, pp. 22–35.
- [5] Worthman E., Digital Radio: implementation and application, RF design, april 1998, pp. 55–65.

Mr Nenad Dodić,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

OCENJIVANJE PARAMETARA SERVOSISTEMA METODOM NAJVEĆE VERODOSTOJNOSTI

UDC: 681.583.2.012

Rezime:

U ovom radu opisano je rešavanje problema ocenjivanja parametara servosistema koji se ne mogu posredno ili neposredno meriti, već ih treba oceniti na osnovu dinamičkog ponašanja sistema. Data je specijalna varijanta metode najveće verodostojnosti, koja je diskretna, rekurentna i iterativna. Metoda se primenjuje na izmerene vremenske serije ulaza i izlaza sistema. U prisustvu šuma daje nepristrasne ocene, praktično minimalne varijanse. Upotreba i efikasnost metode ilustrovani su sa dva primera iz prakse.

Ključne reči: servosistem, identifikacija sistema, ocenjivanje parametara, najveća verodostojnost.

ESTIMATION OF SERVOSYSTEM PARAMETERS USING MAXIMUM LIKELYHOOD METHOD

Summary:

The problem of estimation of servosystem parameters that cannot be measured is solved. Unknown parameters are estimated using system response measurements. A special discrete, recursive and iterative form of maximum likelihood method is presented. The method is applied to measured time series of system input and output. It gives minimum variance unbiased estimates in the presence of noise. The use and efficiency of the given method are illustrated through two practical examples.

Key words: servosystem, system identification, parameter estimation, maximum likelihood.

Uvod

U poslednjih pedesetak godina u svetu tehnike se stari, empirijski pristup projektovanju sistema sve više zamenjuje egzaktnim postupcima: analitičkim, grafičkim, grafoanalitičkim i numeričkim. Već dvadesetak godina se sa pojavom jeftinih, a moćnih personalnih računara, prednost daje numeričkim metodama u tolikoj meri da se čini da će računarski podržano projektovanje, zasnovano na numeričkim metodama i grafičkom prikazivanju

podataka, odneti apsolutnu prevagu nad svim ostalim načinima rada.

Ovakav trend je, osim u oblasti projektovanja novih sistema, izražen i u oblastima analize i ispitivanja postojećih sistema. U ovim oblastima računarska simulacija je moćno oruđe, koje valja koristiti pri radu sa sistemima složene unutrašnje strukture, sistemima sa izraženim nelinearnim ponašanjem, kao i radi provere valjanosti novih konstruktivnih rešenja, pre njihovog fizičkog ostvarenja.

Broj i karakter parametara matematičkog modela zavisi od tipa modela i njegove strukture. Retko se svi parametri sistema mogu izračunati na osnovu tehničkih podataka komponenta sistema ili neposredno ili posredno izmeriti. U tom slučaju, za njihovo određivanje moraju se primeniti posebne metode na izmerene sekvence ulaza i izlaza sistema. One se, obično, nazivaju metode ocenjivanja (estimacije) parametara.

Matematički modeli se ne mogu koristiti u navedenim oblastima ako njihovi parametri nisu poznati. U ovom radu govori se o određivanju (ocenjivanju) parametara koji se ne mogu meriti. Za određivanje parametara koristi se poseban oblik metode najveće verodostojnosti, koju je autor razradio i uspešno koristio u praksi [1]. Ovaj oblik predstavlja modifikaciju metode najveće verodostojnosti date u [2].

Matematički model servosistema

Servosistemi su obično nelinearni i kontinualni. U praksi je uobičajeno da se nelinearnosti linearizuju u okolini posmatrane tačke, tj. da se servosistemi opisuju linearnim kontinualnim matematičkim modelima. Ukoliko se matematički model sistema koristi u procesu digitalnog upravljanja ili u procesu računarske simulacije sistema, onda model može biti i diskretan — takav da je njegov izlaz u diskretnim vremenskim trenucima ($t_k = k\Delta t$, $k=0, 1, \dots$) dovoljno blizak izlazu posmatranog sistema. Naime, računar »vidi« spoljni svet samo u diskretnim vremenskim trenucima i »smatra« da se u međuvremenu ne događa ništa interesantno, tj. ništa što bitno odstupa od »viđenog«. Pravilnim izborom perioda odabiranja Δt treba obezbediti da se to zaista i dešava, tj. da bude zadovoljena poznata Šenonova teorema.

Dakle, ima smisla diskretnim matematičkim modelom opisivati spoljašnju dinamiku sistema, iako je on kontinualan, kao većina tehničkih sistema, ali i skoro svi procesi u prirodi. Kao što će dati primeri pokazati, diskretni modeli mogu poslužiti za određivanje strukturnih parametara kontinualnih sistema. U nastavku se razmatra određivanje parametara sledećeg diskretnog matematičkog modela:

$$y(k) = x_i(k) + \xi(k) \quad (1)$$

$$x_i(k) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} u(k) \quad (2)$$

$$\xi(k) = \frac{D(z^{-1})}{C(z^{-1})} n(k) \quad (3)$$

gde su:

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n} \quad (4)$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m} \quad (5)$$

$$C(z^{-1}) = 1 + c_1 z^{-1} + \dots + c_q z^{-q} \quad (6)$$

$$D(z^{-1}) = 1 + d_1 z^{-1} + \dots + d_r z^{-r} \quad (7)$$

pri tome je $n \geq m$, $r \geq q$, $u(k) = u(k\Delta t)$ — ulaz sistema (u trenutku $t = k\Delta t$) — deterministički izlaz sistema, $\xi(k)$ — aditivni šum izlaza, $y(k)$ — izlaz zagađen šumom. Operator vremenskog pomeranja obeležen je sa z : $z^{-1}x(k) = x(k-1)$, $i=0, 1, \dots$. Promenljiva $n(k)$ je beli Gausov šum. Njegovim filtriranjem (3) dobija se šum izlaza $\xi(k)$ koji predstavlja obojeni gausovski šum, tj. gausovski šum praktično ograničenog frekvencijskog spektra. $\xi(k)$ se može tumačiti kao šum sistema, kao šum merenja ili kao zbir ovih šumova, a u stvari je zastupnik slučajnih procesa, bilo u sistemu, bilo u lancu za merenje ulaza i izlaza sistema.

Model (1—3) obično se zove Boks-Dženkinsov model. Često je interesantan samo deterministički deo modela — jednačina (2), odnosno samo ocena a_i, b_j parametara $a_i, b_j, i=1, 2, \dots, n$,

$j=0, 1, \dots, m$. Ukoliko se sistem posmatra kao stohastički, onda treba odrediti i ocene \hat{c}_i, \hat{d}_j parametara $c_i, d_j, i=1, 2, \dots, q, j=1, 2, \dots, r$ modela šuma (3). Ukoliko se u prisustvu šuma žele dobiti nepristrasne ocene parametara a_i, b_j (tj. ocene čije je matematičko očekivanje jednako stvarnim vrednostima parametara) približno minimalne varijanse, onda je preporučljivo istovremeno ocenjivati i parametre modela determinističkog dela sistema i modela šuma, na način objašnjen u nastavku.

Metoda najveće verodostojnosti

Potrebno je odrediti parametre modela (1—3) tako da izlaz (odziv) tog modela minimalno odstupa od izlaza posmatranog sistema, koristeći izmerene vremenske serije ulaza $u(t)$ i izlaza $y(t)$ na vremenskom intervalu $(0, \Delta t T)$:

$$y(T) = (y(1) \ y(2) \ \dots \ y(T))^T \quad (8)$$

$$u(T) = (u(1) \ u(2) \ \dots \ u(T))^T \quad (9)$$

Vremenske serije predstavljene su kao vektori (matrice-kolone). Sa "T" je označena transpozicija vektora (matrice). Iz jednačine (1—3) sledi takozvani inverzni model šuma:

$$n(k) = \frac{C(z^{-1})}{D(z^{-1})} y(k) - \frac{B(z^{-1})C(z^{-1})}{A(z^{-1})D(z^{-1})} u(k) \quad (10)$$

Neka je $N(T)$ vremenska sekvenca belog šuma, koji u toku merenja ulaza i izlaza napada sistem:

$$N(T) = (n(1) \ n(2) \ \dots \ n(T))^T \quad (11)$$

Inverzni model šuma može se napisati u obliku:

$$N(T) = \frac{C(z^{-1})}{D(z^{-1})} y(T) - \frac{B(z^{-1})C(z^{-1})}{A(z^{-1})D(z^{-1})} u(T) \quad (12)$$

S obzirom na to da je n gausovski beli šum, to je kovarijansna matrica za $N(T)$ jednaka: $V_{NN} = \sigma^2 I$, gde je I jednačina $T \times T$ matrica, a σ^2 je varijansa šuma n . Gustina raspodela verovatnoća $p(N)$ je:

$$p(N) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2} N^T N\right)}{(2\pi)^{T/2} \sqrt{\det V_{NN}}} \quad (13)$$

Logaritmovanjem $p(N)$, s obzirom na (12), dobija se:

$$\ln p(N) = -\frac{T}{2} \ln(2\pi) - \frac{T}{2} \ln \sigma^2 - \frac{1}{2\sigma^2} \left[\frac{C}{D} y - \frac{BC}{AD} u \right]^T \left[\frac{C}{D} y - \frac{BC}{AD} u \right] = L(a, c, \sigma^2) \quad (14)$$

Zbog kraćeg pisanja u prethodnom izrazu izostavljen je argument z^{-1} uz A, B, C, D , kao i argument T uz y i u . Funkcija L naziva se funkcija najveće verodostojnosti; a i c su vektori parametara:

$$a = (a_1 \ \dots \ a_n \ b_0 \ \dots \ b_m)^T$$

$$c = (c_1 \ \dots \ c_q \ d_1 \ \dots \ d_r)^T$$

Ako se u funkciji najveće verodostojnosti vektori parametara zamene njihovim ocenama, tj. umesto a, c koriste \hat{a}, \hat{c} :

$$\hat{a} = (\hat{a}_1 \ \dots \ \hat{a}_n \ \hat{b}_0 \ \dots \ \hat{b}_m)^T$$

$$\hat{c} = (\hat{c}_1 \ \dots \ \hat{c}_q \ \hat{d}_1 \ \dots \ \hat{d}_r)^T$$

dobija se $L(\hat{a}, \hat{c}, \sigma^2)$. Ako je \hat{c} poznato i fiksno, funkcija $L(\hat{a}, \hat{c}, \sigma^2)$ imaće najveću vrednost kada je $\hat{a} = a$, što znači da se maksimizacijom $L(\hat{a}, \hat{c}, \sigma^2)$ po \hat{a} , tj. iz uslova:

$$\frac{\partial L(\hat{a}, \hat{c}, \sigma^2)}{\partial \hat{a}} = 0 \quad (15)$$

dobija uslovno optimalna ocena (ona bi zaista bila optimalna kada bi bilo $v=c$). Neka je \hat{a} poznato. Maksimizacijom $L(\hat{a}, \hat{c}, \hat{\sigma}^2)$ po \hat{c} , tj. iz uslova:

$$\frac{\partial L(\hat{a}, \hat{c}, \hat{\sigma}^2)}{\partial \hat{c}} = 0 \quad (16)$$

dobija se uslovno optimalna ocena \hat{c} (ona bi zaista bila optimalna kada bi bilo $\hat{a}=a$). Rešenje izraza (15) po \hat{a} je [1]:

$$\hat{a} = \left\{ \sum_{k=1}^T \hat{x}_i^*(k) [z^*(k)]^T \right\}^{-1} \left[\sum_{k=1}^T \hat{x}_i^*(k) y(k) \right] \quad (17)$$

gde su:

$$\hat{x}_i^*(k) = \begin{bmatrix} -\hat{x}_i^*(k-1) \\ -\hat{x}_i^*(k-2) \\ \vdots \\ -\hat{x}_i^*(k-n) \\ u^*(k) \\ \vdots \\ u^*(k-m) \end{bmatrix} \quad z^*(k) = \begin{bmatrix} -y^*(k-1) \\ -y^*(k-2) \\ \vdots \\ -y^*(k-n) \\ u^*(k) \\ \vdots \\ u^*(k-m) \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\hat{x}_i^*(k) = \frac{\hat{B}(z^{-1})}{\hat{A}(z^{-1})} u^*(k) \quad (19)$$

$$u^*(k) = \frac{\hat{C}(z^{-1})}{\hat{A}(z^{-1})D(z^{-1})} u(k) \quad (20)$$

$$y^*(k) = \frac{\hat{C}(z^{-1})}{\hat{A}(z^{-1})D(z^{-1})} y(k) \quad (21)$$

$$\hat{A}(z^{-1}) = 1 + \hat{a}_1 z^{-1} + \dots + \hat{a}_n z^{-n} \quad (22)$$

$$\hat{B}(z^{-1}) = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 z^{-1} + \dots + \hat{b}_m z^{-m} \quad (23)$$

$$\hat{C}(z^{-1}) = 1 + \hat{c}_1 z^{-1} + \dots + \hat{c}_q z^{-q} \quad (24)$$

$$\hat{D}(z^{-1}) = 1 + \hat{d}_1 z^{-1} + \dots + \hat{d}_r z^{-r} \quad (25)$$

" -1 " označava inverziju matrice. Rešenje izraza (16) po \hat{c} je [1]:

$$\hat{c} = \left\{ \sum_{k=1}^T \hat{m}(k) [\hat{n}(k)]^T \right\}^{-1} \left[\sum_{k=1}^T \hat{m}(k) \hat{\xi}(k) \right] \quad (26)$$

gde su:

$$\hat{n}(k) = \begin{bmatrix} -\hat{\xi}^*(k-1) \\ -\hat{\xi}^*(k-2) \\ \vdots \\ -\hat{\xi}^*(k-q) \\ \hat{n}(k) \\ \vdots \\ \hat{n}(k-r) \end{bmatrix} \quad \hat{m}(k) = \begin{bmatrix} -\hat{\xi}^*(k-1) \\ -\hat{\xi}^*(k-2) \\ \vdots \\ -\hat{\xi}^*(k-q) \\ \hat{n}^*(k) \\ \vdots \\ \hat{n}^*(k-r) \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$\hat{\xi}^*(k) = \frac{1}{\hat{D}(z^{-1})} \hat{\xi}(k) \quad (28)$$

$$\hat{n}^*(k) = \frac{1}{\hat{D}(z^{-1})} \hat{n}(k) \quad (29)$$

U prethodnim izrazima pojavljuju se ocene $\hat{\xi}$, \hat{n} umesto ξ , n , zato što stvarne vrednosti ovih šumova nisu poznate, niti se šumovi mogu izmeriti, \hat{n} se dobija korišćenjem inverznog modela šuma (10), s tim što se umesto vrednosti nepoznatih parametara koriste njihove ocene. Izraz (17) ima sledeći rekurentni ekvivalent [1]:

$$\hat{a}_k = \hat{a}_{k-1} - K_k \{ [z^*(k)]^T \hat{a}_{k-1} - y^*(k) \} \quad (30)$$

$$H_k = H_{k-1} - K_k [z^*(k)]^T H_{k-1} \quad (31)$$

$$K_k = H_{k-1} \hat{x}_i^*(k) \{ \hat{\sigma}^2 + [z^*(k)]^T H_{k-1} \hat{x}_i^*(k) \}^{-1} \quad (32)$$

Izraz (26) ima sledeći rekurentni ekvivalent:

$$\hat{c}_k = \hat{c}_{k-1} - K_k \{ [n(k)]^T \hat{c}_{k-1} - \hat{\xi}(k) \} \quad (33)$$

$$H_k^n = H_{k-1}^n - K_k^n [n(k)]^T H_{k-1}^n \quad (34)$$

$$K_k^n = H_{k-1}^n m(k) [\sigma^2 + n^T(k) H_{k-1}^n m(k)]^{-1} \quad (35)$$

$\hat{\sigma}^2$ je ocena varijanse σ^2 belog šuma n .

Da bi se dobile ocene \hat{a} , \hat{c} parametara modela sistema (1—3) koje su nepristrasne i imaju približno minimalnu varijansu, potrebno je simultano i iterativno računati izraze (17) i (26), odnosno (30—35), polazeći od nekih usvojenih početnih vrednosti za \hat{a} , \hat{c} , a ukoliko se koriste izrazi (32—37), moraju se usvojiti i početna ocena varijanse $\hat{\sigma}^2$ i početne matrice H i H^n .

Mada na prvi pogled korišćenje izraza (17) i (26) izgleda jednostavnije i pouzdanije od korišćenja (30—35) (ne koriste se početne vrednosti za $\hat{\sigma}^2$, H i H^n , koriste se dva umesto šest izraza), preporučuje se korišćenje izraza (30—35) iz sledećih razloga:

— izbegava se inverzija matrice, koja po pravilu izaziva numeričke probleme,

— manji je broj računskih operacija,

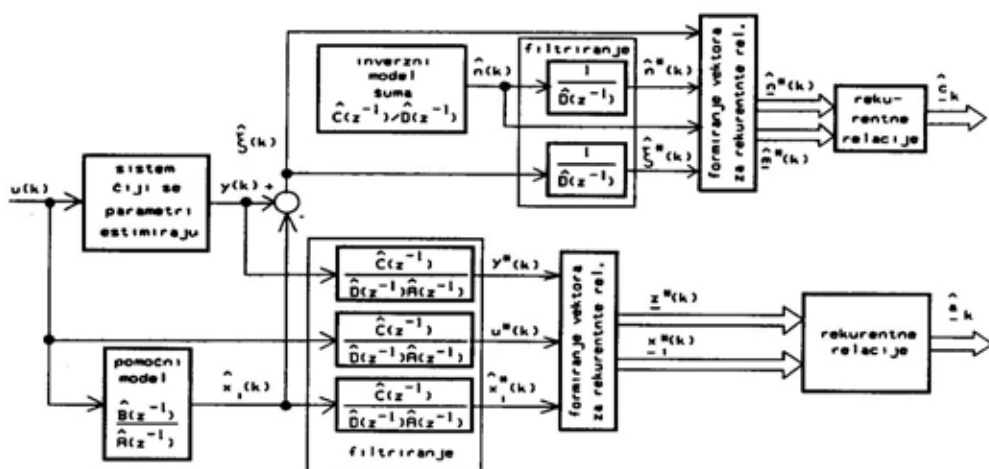
— manjom modifikacijom metode, ako se koristi (30—35), postupak određivanja nepoznatih parametara može se odvijati u realnom vremenu, bez potrebe memorisanja $y(T)$, $u(T)$.

Postupak određivanja parametara

Na slici 1 prikazan je blok-dijagram postupka određivanja parametara modela (1—3) servosistema, korišćenjem rekurentnih relacija (30—35). Prikazani postupak se ponavlja za $k=1, 2, \dots, T$. Kada se dođe do $k=T$, završena je jedna iteracija.

Da bi postupak određivanja parametara otpočeo, potrebno je obezbediti početne ocene parametara \hat{a}_i , \hat{b}_j ,

odnosno \hat{a} , korišćenjem nekog jednostavnog postupka, npr. metodom instrumentalnih promenljivih [2], [1], metodom Čidambare [3] ili, ako je sistem niskog reda, jednostavno probanjem:



Sl. 1 — Metoda najveće verodostojnosti

pretpostave se vrednosti parametara, pa se onda za te parametre i izmerenu seriju ulaza $u(T)$ izračuna odziv modela sistema $\hat{x}_i(T) = [\hat{B}(z^{-1})/\hat{A}(z^{-1})]u(T)$ i uporedi sa izmerenim odzivom $y(T)$ — postupak se ponavlja za različite vrednosti parametara, sve dok se ne postigne zadovoljavajuća sličnost između izračunatog i izmerenog odziva. Potrebno je još usvojiti početnu vrednost ocene varijanse σ^2 u skladu sa šumom, uočenom u izmerenom odzivu $y(T)$. Izbor početne σ^2 nije kritičan — može se usvojiti vrednost $\sigma^2 = 1 \cdot 10^{-5} |y|_{\max}$, gde je $|y|_{\max}$ maksimalna izmerena vrednost izlaza. Početne vrednosti $\hat{c} = 0$, $H = H_n = 10^9 I$, gde je I jedinična matrica, po pravilu daju dobre rezultate. Broj iteracija N_{it} treba unapred usvojiti (npr. $N_{it} = 6$).

Nakon toga sledi postupak:

— u trenutku $k=0$ vektori $\hat{z}^*(0)$, $\hat{x}_i^*(0)$, $\hat{n}(0)$, $\hat{m}(0)$ se popunjavaju nul-tim elementima;

— u trenucima $k=1, 2, \dots, n+r+q$ se računanjem izraza (19—21), (36—39), (28) i (29) vrši inicijalizacija (popunjavanje nenultim elementima)

vektora \hat{z}^* , \hat{x}_i^* , \hat{n} , \hat{m} , korišćenjem:

$$\hat{n}(k) = \frac{\hat{C}(z^{-1})}{\hat{D}(z^{-1})} y(k) - \frac{\hat{B}(z^{-1})\hat{C}(z^{-1})}{\hat{A}(z^{-1})\hat{D}(z^{-1})} u(k) \quad (36)$$

$$\hat{x}_i(k) = \frac{\hat{B}(z^{-1})}{\hat{A}(z^{-1})} u(k) \quad (37)$$

$$\hat{x}_i^*(k) = \frac{\hat{C}(z^{-1})}{\hat{D}(z^{-1})\hat{A}(z^{-1})} \hat{x}_i(k) \quad (38)$$

$$\hat{\xi}(k) = y(k) - \hat{x}_i(k) \quad (39)$$

— u trenucima $k=n+r+q+1, \dots, T$ izračunavaju se \hat{z}^* , \hat{x}_i^* , \hat{n} , \hat{m}

korišćenjem izraza (19—21), (36—39), (28), (29) i računaju rekurentne relacije (30—35). Ukoliko je $k=T/N_{it}$, memorišu se vrednosti matrica H i H^n ;

— tačke 1, 2 i 3 predstavljaju jednu iteraciju. Nakon završene iteracije, u trenutku $k=T$, vrši se smena $\hat{a} \leftarrow \hat{a}_T$, $\hat{c} \leftarrow \hat{c}_T$. U narednoj iteraciji počinje se sa onim vrednostima matrica H i H^n , koje su memorisane u trenutku $k=T/N_{it}$. Tačke 1, 2, 3 se ponavlja, osim ukoliko se radi o zadnjoj iteraciji. U tom slučaju je postupak određivanja parametara završen.

Pri računanju \hat{z}^* , \hat{x}_i^* , \hat{n} , \hat{m} u tačkama 2 i 3 koriste se početne ocene parametara \hat{a} , \hat{c} , a ne \hat{a}_k , \hat{c}_k dobijene korišćenjem rekurentnih relacija (30—35).

Primeri

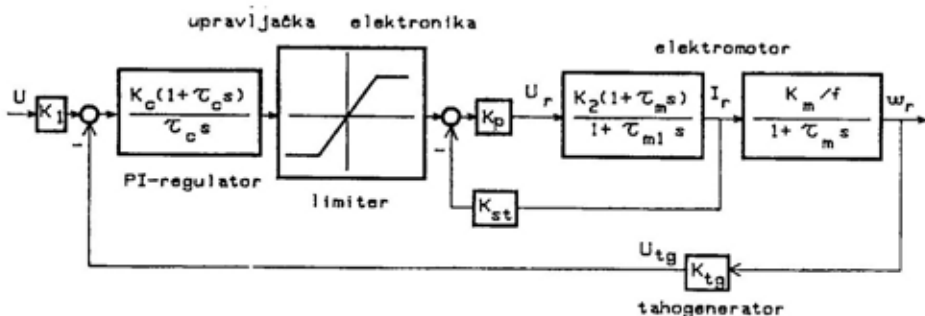
Električni servosistem

Treba odrediti linearnu diferencijalnu jednačinu drugog reda koja verno odlikava spoljašnju dinamiku električnog servosistema za rotaciju protivavionskog topa, čija je struktura poznata. Blok-dijagram servosistema prikazan je na slici 2. Parametri elektromotora i spoljnog opterećenja nisu poznati. Diferencijalna jednačina servosistema ima oblik:

$$p^2 U_{tg}(t) + \alpha_1 p U_{tg}(t) + \alpha_0 U_{tg}(t) = \beta_0 U(t) + \beta_1 p U(t) \quad (40)$$

gde je p operator diferenciranja: $p^i x = d^i x / dt^i$, $i=1, 2, \dots$. Izvodi u (40) zamenjuju se konačnim razlikama [4], odnosno operator p se zamenjuje operatorom z : $p = (1 - z^{-1})/\Delta t$. Dobija se jednačina:

$$U_{tg}(k) + a_1 U_{tg}(k-1) + a_2 U_{tg}(k-2) = b_0 U(k) + b_1 U(k-1) \quad (41)$$



Sl. 2 — Blok-dijagram električnog servosistema

čije parametre treba odrediti tako da odziv modela (41), pri dejstvu proizvoljnog ulaza, bude što bliži odzivu pomenutog servosistema. U radu [3] date su pretpostavke za merenje odziva servosistema, radi određivanja njegovih parametara. U skladu s tim izmereno je 19 odziva servosistema na obojeni šum (filtrirani beli šum) frekventnog opsega od 0 do 23 rad/s, maksimalne amplitude 3 volta, sa periodom odabiranja $\Delta t = 0,005$ s i u trajanju $T\Delta t = 5$ s, tj. u 1000 tačaka. Jedna vremenska serija ulaza prikazana je na slici 3, a odgovarajući odziv na slici 4 (označeno sa » U_{tg} «). Izmerena je i frekventna karakteristika — Bodeov di-

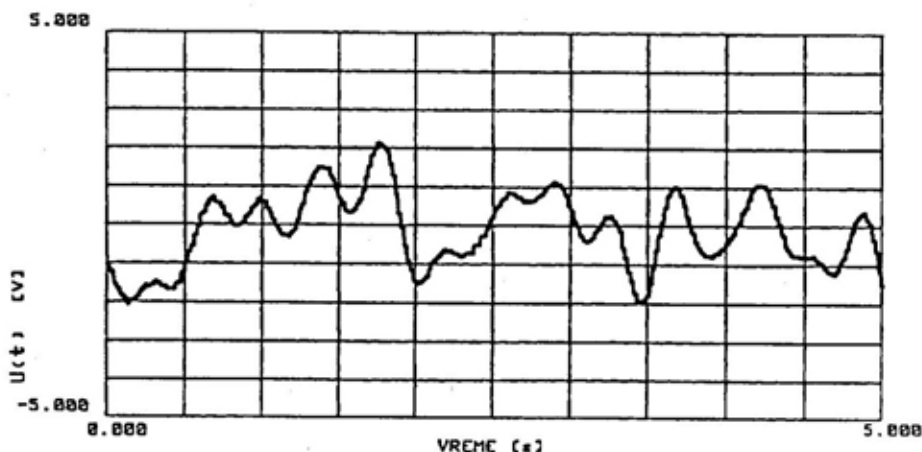
jagram na slici 5 (označeno sa »mereno«), kao i nekoliko odskočnih odziva — jedan od njih prikazan je na slici 6 (oznaka » U_{tg} «).

Kao polazni parametri za metodu najveće verodostojnosti usvajaju se parametri modela (40):

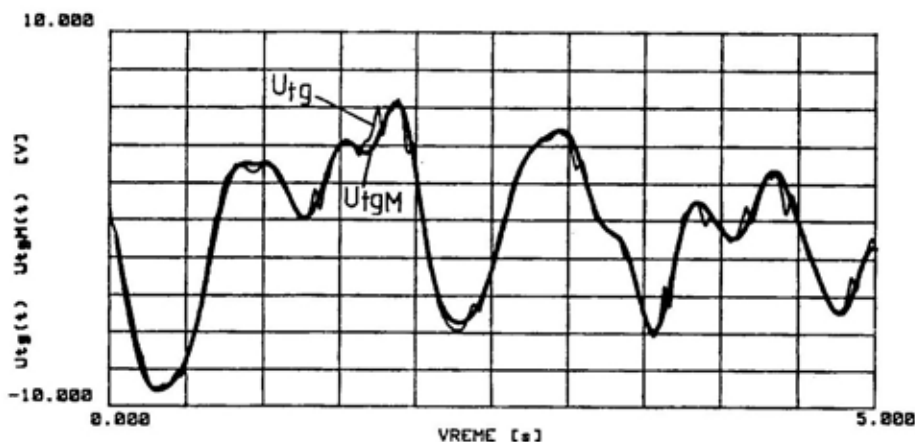
$\hat{\alpha}_0 = 63,80$; $\hat{\alpha}_1 = 7,57$; $\hat{\beta}_0 = 241,10$; $\hat{\beta}_1 = 4,10$
dobijeni metodom Čidambare [3], odnosno odgovarajući parametri modela (41):

$\hat{a}_1 = 1,9605$; $\hat{a}_2 = 0,9620$;

$\hat{b}_0 = -0,0256$; $\hat{b}_1 = -0,0197$



Sl. 3 — Ulaz električnog servosistema



Sl. 4 — Odziv električnog servosistema

Usvaja se model šuma drugog reda ($q=2, r=1$) sa nultim početnim ocenama parametara. Za početnu ocenu varijanse šuma usvaja se $\hat{\sigma}^2=0,0015 \text{ V}^2$. Postupak određivanja parametara servosistema, opisan u prethodnim poglavljima, ponovljen je na svih devetnaest odziva na šum. Dobijene ocene \hat{a}_i, \hat{b}_j konvertovane su u $\hat{\alpha}_i, \hat{\beta}_j$. Srednje vrednosti i standardna odstupanja ovih ocena su:

$$\overline{\hat{\alpha}_0} = 50,6503 \quad \overline{\hat{\alpha}_1} = 6,39853 \quad (42)$$

$$\sigma_{\hat{\alpha}_0} = 3,0133 \quad \sigma_{\hat{\alpha}_1} = 0,24224 \quad (43)$$

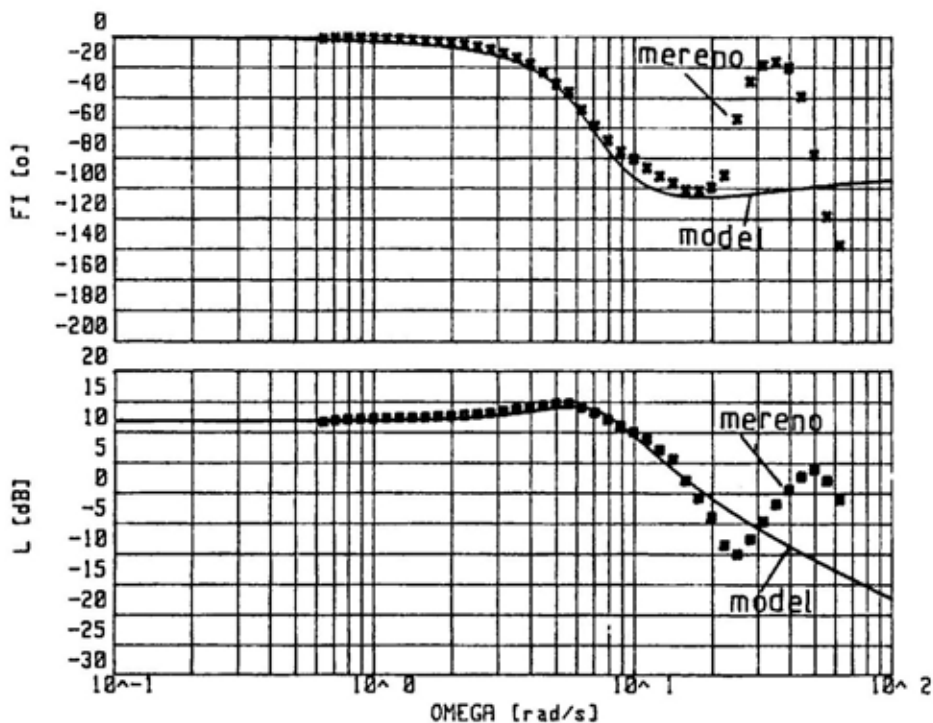
$$\overline{\hat{\beta}_0} = 194,805 \quad \overline{\hat{\beta}_1} = 13,2426 \quad (44)$$

$$\sigma_{\hat{\beta}_0} = 12,674 \quad \sigma_{\hat{\beta}_1} = 1,7056 \quad (45)$$

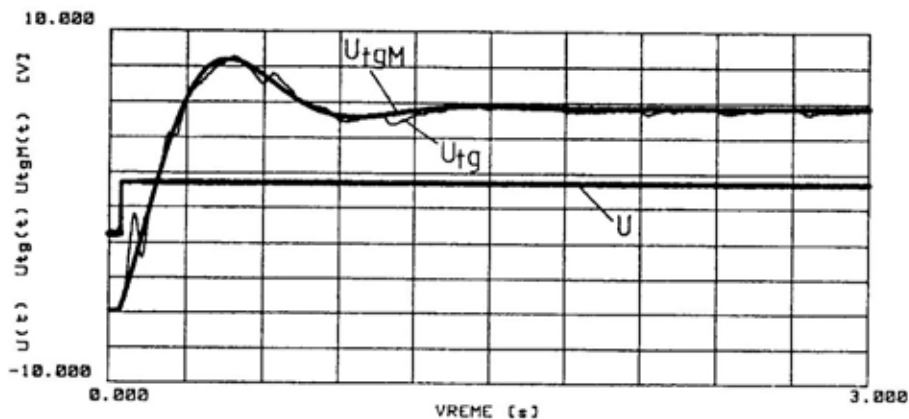
Na slikama 4 i 6 prikazani su vremenski odzivi modela (40) sa parametrima (42), (44) — oznaka » U_{tgM} «, zajedno sa izmerenim odzivima servosistema (oznaka » U_{tg} «). Na slici 5 prikazana je frekventna karakteristika istog modela (oznaka »model«), zajedno sa

izmerenom frekventnom karakteristikom (»mereno«). Očigledno je veliko slaganje sa odgovarajućim izmerenim veličinama. Razlika je jedino u »testerastim« nepravilnim oscilacijama u izmerenim odzivima i skoku frekventne karakteristike na učestanosti od 50 rad/s koji su posledica mrtvog hoda reduktora i nepravilnosti u izradi zubaca zupčanika. Ove pojave su pri određivanju parametara razmatrane kao šum sistema. Takođe, uočljivo je da ocene parametara dobijene metodom najveće verodostojnosti imaju mala rasturanja (43), (45).

U radovima [3] i [5] prikazani su rezultati određivanja parametara modela (40) servosistema posmatranog u ovom primeru metodom Chidambare i metodom aproksimacije frekventne karakteristike kompleksnom racionalnom funkcijom, a u radu [5] prikazani su isti rezultati dobijeni metodama najmanjih kvadrata i instrumentalnih promenljivih. Poređenjem rezultata može se zaključiti da opisana varijanta metode najveće verodostojnosti daje tačnije rezultate od navedenih metoda.



Sl. 5 — Frekventna karakteristika električnog servosistema



Sl. 6 — Odskočni odziv električnog servosistema

Moment inercije obrtne platforme

Treba odrediti moment inercije J_p obrtne platforme borbenog sredstva, koju pokreće jednosmerni elektromo-

tor upravljen strujom u rotoru, sa stalnim magnetom u pobudnom kolu. Diferencijalna jednačina ponašanja motora je:

$$\tau_m p \omega_m(t) + \omega_m(t) = K i_m(t) \quad (46)$$

gde je ω_m ugaona brzina motora, a i_m struja u rotoru. Ukupni moment inercija pokretnih delova sveden na vratilo motora je [6]:

$$J_{mu} = \frac{\tau_m K_m}{K} = J_m + J_{rm} + \frac{J_p}{i_r^2} \quad (47)$$

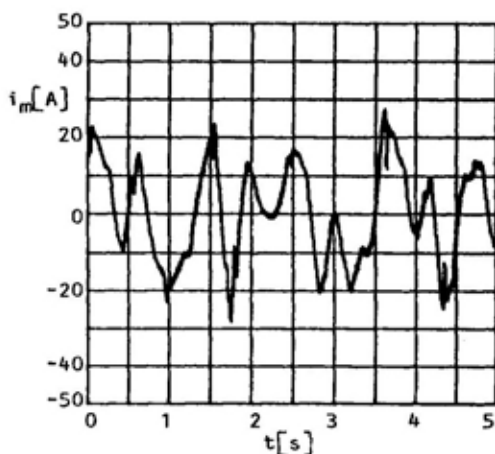
Poznate su sledeće vrednosti: moment inercije motora $J_m = 0,016 \text{ kgm}^2$, moment inercije reduktora sveden na vratilo motora $J_{rm} = 0,0268 \text{ kgm}^2$, prenosni odnos reduktora $i_r = 211,51$ i elektromehanička konstanta motora $K_m = 0,549 \text{ Nm/A}$. Da bi se iz (47) odredio moment inercije J_p , treba znati vrednosti parametara τ_m/K modela (46). Smenom operatora $p = (1 - z^{-1})/\Delta t$ u (46), dobija se:

$$(1 + a_1 z^{-1}) \omega_m(k) = b_0 i_m(k) \quad (48)$$

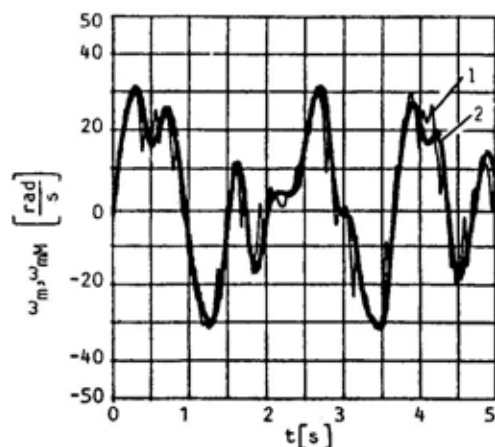
pri čemu važi veza:

$$t_m = -\frac{a_1 \Delta t}{a_1 + 1}, \quad K = \frac{b_0}{a_1 + 1} \quad (49)$$

Na ulaz elektronike motora doveden je odskočni test-signal i izmerene su vremenske serije struje i ugaone brzine motora. Na osnovu njih grubo su određeni vremenska konstanta i pojačanje motora $\tau_m \approx 0,7 \text{ s}$, $K \approx 6,0 \text{ rad/(sA)}$, a na osnovu njih početne ocene $\hat{a}_1 = -0,99291$, $\hat{b}_0 = 0,04255$ za metodu najveće verodostojnosti, koja je primenjena na 18 odziva motora na pseudoslučajnu pobudu, merenih sa periodom $\Delta t = 0,005 \text{ s}$. Na slici 7 prikazana je izmerena struja u rotoru, a na slici 8 (oznaka »1«) izmerena ugaona brzina motora. Usvojen je model šuma drugog reda ($q=2, r=1$) sa nultim početnim ocenama parametara. Dobijene su sledeće srednje vrednosti i standardna odstupanja parametara modela (48):



Sl. 7 — Ulaz elektromotora



Sl. 8 — Odziv elektromotora

$$\bar{a}_1 = -0,991249, \quad \bar{b}_0 = 0,0454709 \quad (50)$$

$$\sigma_{a1} = 0,001572, \quad \sigma_{b0} = 0,0031568$$

Srednje vrednosti i standardna odstupanja ocena parametara motora su:

$$\bar{\tau}_m = 0,533677 \text{ s}, \quad \bar{K} = 5,85042 \text{ rad/(sA)}$$

$$\sigma_{\tau_m} = 0,090835 \text{ s}, \quad \sigma_K = 0,108364 \text{ rad/(sA)}$$

Srednja vrednost i standardno odstupanje ocene momenta inercije platforme su:

$$\bar{J}_p = 1856,0 \text{ kgm}^2, \quad \sigma_{J_p} = 183 \text{ kgm}^2$$

što se dobro slaže s vrednošću $J_p = 1838 \text{ kgm}^2$ dobijenom merenjem slobodnih oscilacija platforme povezane oprugom s krutim osloncem. Na slici 8 prikazani su odzivi motora (oznaka »1«) i modela (48) sa vrednostima parametara (50) — oznaka »2«, na ulaz sa slike 7.

Zaključak

Iz prikazanih primera vidi se da se predložena varijanta metode najveće verodostojnosti može uspešno koristiti za određivanje parametara referentnih modela tipa »crne kutije«, kao i za određivanje strukturnih parametara različitih tipova servosistema. Metoda daje nepristrasne ocene parametara servosistema, koje su praktično minimalne varijanse, čak i u prisustvu

osetnih šumova sistema i šumova merenja. Naravno, matematička očekivanja ovih šumova moraju biti jednaka nuli, što se podrazumeva kod praktično svih metoda ocenjivanja nepoznatih parametara. Ukoliko to nije slučaj, u sistemu ili procesu merenja postoji takozvani prednapon (ofset), koji se može otkloniti podešavanjem sistema ili obradom izmerenih vremenskih serija. Nedostatak ove metode jeste da zahteva početne ocene parametara ispitivanog servosistema, koje se moraju obezbediti nekom jednostavnijom metodom ili postupkom. To je cena kojom se plaća visoka tačnost metode. Sa matematičkog stanovišta metoda je relativno složena, ali je pogodna za programiranje i njena realizacija na savremenim personalnim računarima ne predstavlja poseban problem.

Literatura:

- [1] Dodić, N.: Estimacija parametara jednog elektrohidrauličnog servosistema za pokretanje platforme borbenog sredstva — magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [2] Young, P.: Recursive Estimation and Time Series Analysis, Springer-Verlag, Berlin, 1984.
- [3] Dodić, N.: Savremeni pristup estimaciji parametara servosistema, Vojnotehnički glasnik, br. 6, 1993, str. 609—620.
- [4] Simonović, V.: Numeričke metode, Mašinski fakultet, Beograd, 1979.
- [5] Dodić, N.: Estimacija parametara servosistema u sistemima za upravljanje vatrom klasične PVO — elaborat, VTI VJ, reg. br. VTI-02-0083, Beograd, 1991.
- [6] Jezdimirović, M., Dodić, N.: Određivanje momenta inercije obrtne platforme borbenog sredstva, Naučno-tehnički pregled, god. XLI, 1991, br. 10, str. 3—12.
- [7] Dodić, N.: Diferenciranje signala metodom najmanjih kvadrata, Vojnotehnički glasnik, br. 2, 1994, str. 153—158.

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

KARAKTERISTIKE DELOVA OD KOMPOZITNIH MATERIJALA DOBIJENIH ZAVARIVANJEM EKSPLOZIJOM

UDC: 621.791.1.052

Rezime:

Poslednjih dvadeset godina proizvodnja plakiranih ploča je komercijalizovana i neprestano se povećavala. Tokom tog perioda razjašnjeni su parametri značajni za dobijanje spojeva velikog integriteta većine kombinacija metala i legura, što je dovelo i do objašnjenja mehanizma zavarivanja.

Ključne reči: zavarivanje eksplozijom, plakiranje, metalne ploče, proizvodnja.

CHARACTERISTICS OF ELEMENTS OF COMPOSITE MATERIALS OBTAINED BY EXPLOSIVE WELDING

Summary:

Over the last twenty years the production of clad plate was exploited commercially and it continued to increase. During this period, important parameters for producing high integrity welds between most combinations of metals and alloys appear to have been well established although the welding mechanism itself has yet to be elucidated.

Key words: explosive welding, cladding, metal plates, production.

Uvod

Energija eksplozije primenjuje se za dobijanje kompozitnih materijala različitih kombinacija skoro 30 godina. Najpre se eksplozija koristila za ostvarenje bimetalnih spojeva metala u vazduhoplovnoj industriji i svemirskoj tehnici (otporni na visoke pritiske, temperature i ekstremna opterećenja). Dijapazon spojeva kasnije se povećavao u zavisnosti od toga gde su se koristili — u hemijskoj i petrohemijskoj industriji, elektrotehnici ili za specifične namene.

Kompozitni materijali sa metalnom osnovom mogu se dobiti na različite načine, od kojih je zavarivanje eksplozijom jedan od najekonomični-

jih. Na taj način moguće je spojiti i one metale koji se drugim tehnologijama ne mogu spojiti ili je to tehnički i tehnološki veoma otežano, a samim tim i neracionalno. Energija eksplozije pruža mogućnost ostvarenja visokih dinamičkih pritisaka (reda Mbar) u izuzetno kratkom vremenskom intervalu (reda μ s). Međutim kod konkretnih kombinacija metala u spoju (npr. aluminijum ili titan sa čelikom) dolazi do neregularnih procesa, otežavanja ili odsutnosti zavarivanja, defekata strukture i sl. Zato je razmatranje uslova i pojedinih svojstava kompozitnih materijala dobijenih eksplozijom veoma interesantno i obimno područje istraživanja.

Primena kompozitnih materijala u konstrukcijama zahteva ispunjenje postavljenih zahteva za dugoročan rad u različitim režimima. Kompozitni materijali, kombinovani na različite načine, ispunjavaju mnogobrojne uslove ukoliko se poznaju svojstva osnovnih materijala.

Analiza karakteristika kompozitnih materijala

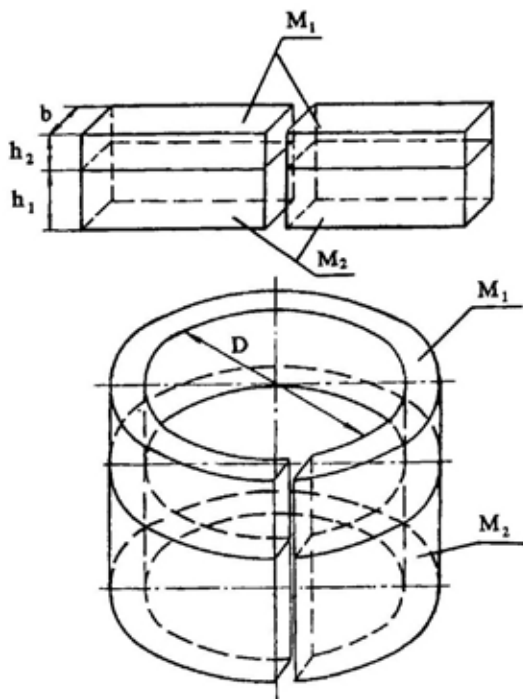
Povećanje kapaciteta konstrukcija od različitih metala i legura, uz istovremeno povećanje njihovih tehničkih karakteristika i eksploatacione pouzdanosti, može se obezbediti procesom zavarivanja bimetalnih i kompozitnih ravnih ili cilindričnih konfiguracija eksplozijom [1, 2]. Prema spoju materijala moguće je, uslovno, izdvojiti dve grupe kombinovanih konstrukcija:

— sa spojevima međusobno »dobro« zavarljivih metala M_1 i M_2 (npr. čelici jedne strukturne klase, ali različitog legiranja),

— sa spojevima međusobno »loše« zavarljivih ili uopšte nezavarljivih metala i legura (čelik sa Al, Ti, Mg).

Zahtevani kvalitet spojeva prve grupe (spojevi od niskougljeničnih i hromolibden čelika, austenitnih čelika koji imaju veći procenat nikla, sa nerđajućim čelikom i dr.), obezbeđuje se konstrukciono-tehnološkim, metalurškim i drugim sredstvima, uz primenu odgovarajućih preporuka [3]. Projektovanje i izrada zavarenih spojeva druge vrste po pravilu zahteva rešavanje principijelno novih naučnih i tehnoloških zadataka. Ne pretendujući da se iscrpno analiziraju, u ovom radu će biti razmotreni samo osnovni zadaci koji nastaju pri konstrukciji ravnih ili cilindričnih spojeva velikih gabarita, izrađenih od dva ili više bime-

talnih (kompozitnih) slojeva naknadnim spajanjem istorodnih metala $M_1 + M_1$ i $M_2 + M_2$. (slika 1).

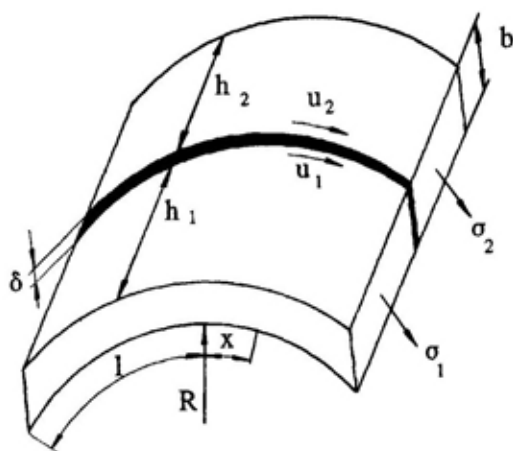


Sl. 1 — Sema sučeonog spajanja bimetalnih ravnih i cilindričnih elemenata

Za ostvarivanje prelaza zadatog radijusa potrebno je razraditi metodologiju procene maksimalnih deformacija bimetalnih pojaseva, radi sprečavanja njihove destrukcije po granici $M_1 - M_2$ u procesu spajanja, valjanja ili presovanja. Radi obezbeđenja eksploatacione pouzdanosti prelaza potrebno je ostvariti racionalnu konstrukciju bimetalnog spoja na osnovu određivanja bezopasnih temperaturno-vremenskih uslova zagrevanja granice spoja $M_1 - M_2$.

Takođe, za određivanje nosećih sposobnosti mehanički heterogenog spoja sa mekim međuslojem potrebno je razraditi bar približnu metodologiju procene njihove čvrstoće.

Za rešenje zadatka o maksimalno dozvoljenom radijusu prevoja bimetalnih traka poslužiće šema prikazana na slici 2.



Sl. 2 — Šema savijanja bimetalne ploče

Usvajanjem oznaka sa slike, ugao smicanje određuje se preko izraza:

$$\Gamma = \frac{u_1 - u_2}{\delta} \quad (1)$$

a veličina temperaturnog napreznja

$$\tau = G\Gamma = G \frac{u_1 - u_2}{\delta} \quad (2)$$

gde je G modul smicanja zone spoja.

Procenjuje se raspodela temperaturnih napreznja, koristeći princip nezavisnosti dejstva i uz pretpostavku da je $u_2 = 0$. Tada se dobija da je

$$\tau_1 = \frac{G}{\delta} u_1 \quad (3)$$

$$\tau = \tau_1 - \tau_2 \quad (4)$$

Uzimajući u obzir uzajamnost veze smicajnih (τ) i normalnih napreznja (σ), kao i uslove ravnoteže elementarnog dela dx sa slike 2, određuje se da je $bhd\sigma = b\tau dx$, iz čega proizlazi da je

$$\frac{d\sigma}{dx} = \frac{\tau}{h} \quad (5)$$

Primenom linearnog zakona ojačanja [5], dobija se da je

$$\sigma = \left(1 - \frac{E_T}{E}\right) \sigma_T + E_T \epsilon \quad (6)$$

gde su E_T , σ_T — modul i granica tečenja materijala.

Diferenciranjem jednačine (6) po x i uvrštavanjem u izraz (5) dobija se

$$E_{T1} \frac{d^2 u_1}{dx^2} = \frac{G}{h\sigma} u_1 \quad (7)$$

Uvođenjem da je

$$\lambda^2 = \frac{G}{\delta h E} \quad (8)$$

dobija se da je

$$\frac{d^2 u}{dx^2} - \lambda^2 u = 0 \quad (9)$$

Rešenje ove jednačine ima oblik

$$u_1 = A \operatorname{sh} \lambda x + B \operatorname{ch} \lambda x \quad (10)$$

Konstante A i B određuju se iz sledećih graničnih uslova:

$$- x = 0, \sigma = 0$$

$$- x = 1, \sigma = \sigma_1.$$

Ako se pretpostavi da je $u_1 = 0$, nalazi se rešenje za u_2 i τ_2 . Opšte rešenje ima oblik

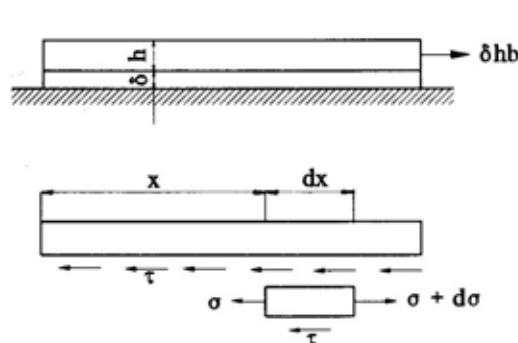
$$\tau = \tau_1 - \tau_2 = \frac{\sigma_1 h}{l} \frac{\lambda_1 l}{\operatorname{sh} \lambda_1 l} \operatorname{ch} \lambda_1 x - \frac{\sigma_2 h}{l} \frac{\lambda_2 l}{\operatorname{sh} \lambda_2 l} \operatorname{ch} \lambda_2 x \quad (11)$$

Izraz (11) se može uprostiti razmatranjem dva krajnja slučaja:

I — λ veliko ($\lambda \gg 1$). U tom slučaju tangencijalno napreznje se povećava

od sredine pojasa ka krajevima po zakonu hiperboličkog kosinusa (slika 3), a maksimalna veličina dostiže se pri $x=1$:

$$\tau_{\max} = h(\sigma_1 \lambda_1 - \sigma_2 \lambda_2) \quad (12)$$



Sl. 3 — Uslovi ravnoteže elementa dx

Pri većim λ , $ch\lambda l = sh\lambda l$, i kada je $hl \approx 1$, dobija se da je $\tau_{\max} = \sigma_1 - \sigma_2 \leq \leq \sigma_m$ ($G \approx E$, $h^2 \approx \delta h$).

Primenom linearnog zakona ojačanja i uvažavajući da je $\epsilon = b/2R$ (slika 2), dobija se proračunska formula za dozvoljeni radijus prevoja:

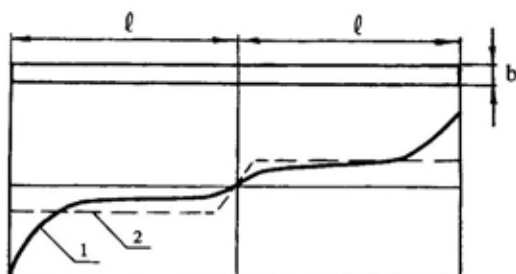
$$R \geq \frac{bE_{T1} \left(1 - \frac{E_{T2}}{E_{T1}}\right)}{2 \left[\sigma_m - \sigma_T \left(\frac{E_{T2}}{E_2} - \frac{E_{T1}}{E_1} \right) \right]} \quad (13)$$

Kao primer razmatrana je bimetalna ploča titan-čelik, sa sledećim karakteristikama: $\delta = 5$ mm, $E_{T1} = 0,07 E_1$, $E_1, E_2 = 2 \cdot 10^5$ MPa, $\sigma_m = 200$ MPa, $E_{T2}/E_{T1} = 0,5$. Proračunom po izrazu (13) dobija se da je radijus prevoja $R \geq 88$ mm. Izvršeni eksperimenti potvrdili su zadovoljavajuću konvergenciju proračunskih i eksperimentalnih vrednosti R.

II — λ malo. U tom slučaju $sh\lambda_1 l \approx \approx \lambda_1 l$, $sh\lambda_2 l \approx \lambda_2 l$, $ch\lambda x \approx 1$, pa se dobija da je:

$$\tau = \frac{h}{l} (\sigma_1 - \sigma_2) \quad (14)$$

Može se primetiti da je tangencijalno naprezanje manje i ravnomerno je raspoređeno u zoni spoja (slika 4).



Sl. 4 — Raspodela tangencijalnih naprezanja po dužini ploče:
1 — λ veliko, 2 — λ malo

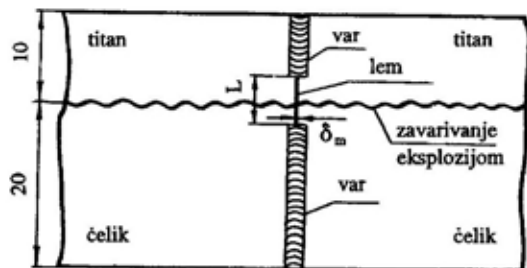
Proračunska formula za radijus prevoja tada ima oblik:

$$R \geq \frac{bhE_T}{2l\sigma_m} \quad (15)$$

Visokotemperaturna zagrevanja mogu smanjiti čvrstoću i pogoršati strukturu eksplozijom zavarenih spojeva druge grupe [6, 7]. Za eliminisanje pregrevanja biraju se temperaturno-vremenski uslovi zagrevanja, tako da se moraju nalaziti u bezopasnoj zoni. Naveden je primer sučeljenog spoja od eksplozijom zavarenih bimetalnih ploča titan — čelik.

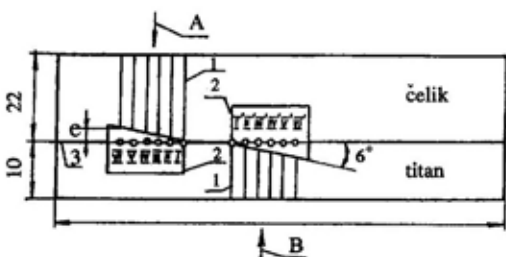
Konstatovano je da se konvencionalno zavarivanje ne ostvaruje, a kontaktno zavarivanje istorodnih metala titan-čeličnih pojaseva preseka $2 \cdot (10 + 20)$ mm obezbeđivalo je kvalitetno formiranje spoja iza granica nekih zona, bliže granici prekida raznorodnih metala. U toj zoni primećuje se intenzivno mešanje titana sa čelikom, koje se, po pravilu, sprovodi ispljusivanjem produkata uzajamnog dejstva i stvaranjem defektnih zona nepravilnih koncentričnih oblika u vidu krugog rastopa tvrdoće $H_{30} = 950 - 1000$, sa lunckerima i mikroprskotinama. Da bi se

taj defekt izbegao i realizovao spoj jednake čvrstoće, prvobitno se izvršilo zavarivanje titana i nerđajućeg čelika u »sigurnoj« zoni, a zatim njihovo lemljenje srebrnim lemom u »opasnoj« zoni, koja se nalazi blizu granice raznorodnog spoja (slika 5).



Sl. 5 — Sema sučeonog spajanja titana i čelika

Veličine tih zona određene su eksperimentima u kojima su, pri zavarivanju na optimalnim režimima, delovi bimetalnog uzorka od čelika i titana generisali prekid strujnog luka, saglasno slici 6, uz istovremenu registraciju temperature i vremena zagrevanja granice spoja titan — čelik na dvanaesto-kanalnom pisaču. Na svakom uzorku izvršeno je merenje u 6 prolaza, tako da su tačke od granice prekida metala naizmenično rasle od 0 do 2,5 mm, sa intervalom 0,5 mm. Posle zavarivanja spoj titan — čelik podvrg-

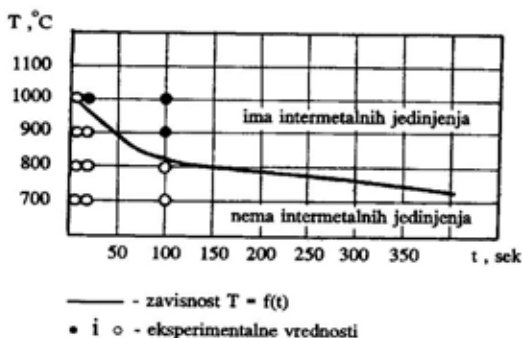


Sl. 6 — Sema određivanja temperature pri zavarivanju bimetalna titan-čelik:

1 — šav, 2 — ploča od bakra, 3 — granica prekida titana sa čelikom

nut je metalografskim ispitivanjima i ispitivanjima na kidanje. Dobijeni rezultati su ukazali na to da se struktura zavarenog bimetala ne pogoršava i ne smanjuje početna čvrstoća.

Kao rezultat objašnjenja eksperimentalnih podataka, navedenih na slici 7, konstatovano je da se pri zadatoj geometriji uzoraka i izabranom režimu zavarivanja kvalitet spoja titan — čelik zadržava na početnom nivou ukoliko prekidi elektronskog luka na strani čelika nisu manji od 2 mm, a na strani titana — ne manji od 1,5 mm. Pri tome je utvrđeno da maksimalna temperatura na granici čelik — titan ne prelazi 800°C u intervalu od 0,05 s, što je dozvoljeno prema temperaturno-vremenskim uslovima formiranja intermetala.

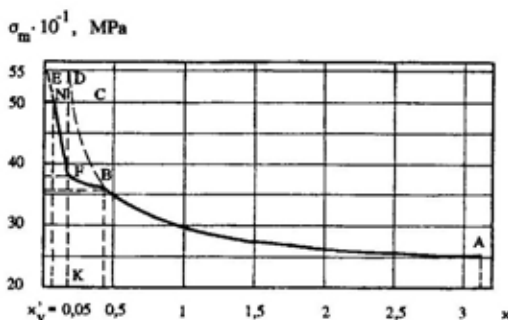


Sl. 7 — Temperaturno-vremenska zavisnost obrazovanja intermetala u spoju titan-čelik

Realizacija hermetičnosti i jednake čvrstoće bimetalnog spoja obezbeđuje se naknadnom obradom »opasne« zone srebrnim lemom po ivicama.

Zbog različitih proračunskih modela i složenog naponsko-deformacionog stanja, za sada nema mogućnosti za objašnjenje metodologije teoretske procene čvrstoće kompozicija od raznorodnih metala (slika 5). Zbog toga je pokušano da se iskoristi grafoanalitički model CPI, predložen u [8] za procenu čvrstoće u praksi važnih spojeva titan — čelik, koji posle zavarivanja imaju čvrstoću na kidanje

350—400 MPa. Parametri vara su: debljina mekog međusloja — δ_m , širina — b i dužina — l . Opterećenje je usmereno po normali prema varu. Kao



Sl. 8 — Zavisnost čvrstoće δ_m spoja titan-čelik od relativne debljine mekog međusloja (x)

rezultat proračuna i dobijanja dijagrama (slika 8) konstatovano je da je pri $\sigma_m=250$ MPa spoj titana i čelika određen njihovom čvrstoćom.

Zaključak

U analizi pouzdanosti i kvaliteta konstrukcije potrebno je izvršiti detaljnu proveru njenog kapaciteta, tj. mogućnosti da ispunjava konkretne zahteve u određenom vremenskom ili radnom režimu. Nepovoljni radni re-

žimi (udarna opterećenja, povećano habanje, visoki pritisci i temperature, koroziono delovanje), neregularna stanja i pojave, otkazi i sl. samo su neki od činilaca koji utiču na smanjenje planiranog kapaciteta konstrukcije. Zato se primena novih tehnologija pokazala svrsishodnom.

Jedna od takvih metoda i tehnologija jeste zavarivanje eksplozijom, kojim je moguće zavariti skoro sve postojeće kombinacije metala i legura, uz mnogo manje troškove, postizanje zahtevanog kvaliteta spoja, kao i zadovoljavajućih mehaničkih i drugih svojstava. Bimetalne i višeslojne kombinacije ispunjavaju stroge zahteve pouzdanosti i kvaliteta, tako da je primena zavarivanja eksplozijom u dobijanju bimetala tipa čelik-titan, na primer, koji se višestruko primenjuje u industriji i tehnici, više nego izvesna, a tehnički i ekonomski opravdana.

Za određivanje deformacione sposobnosti bimetala zavarenog eksplozijom, u radu je razrađen proračunski metod procene graničnog radijusa prevoja, uz uvažavanje čvrstoće spoja, geometrijskih veličina i mehaničkih svojstava spojenih metala. Dokazana je konstrukciona i racionalna povezanost tehnoloških operacija dobijanja bimetalnog sučeonog spoja kompozicije titan — čelik eksplozijom, koji poseduje hermetičnost i čvrstoću jednaku osnovnim materijalima.

Literatura:

- [1] Bakšl, O. A., Sedjih, V. S., Trjakov, Ju. P.: O racionalnom projektovanju svarnih sudov i trub iz raznorodnih materijalov, Svaročnoe proizvodstvo, 1973, № 9, str. 3—6.
- [2] Lisuh, G. P., Kazak, N. N., Trjakov, Ju. P.: Rabotospobnost bimetalličeskikh stalooaluminievjkh peredodnikov polučeniĥ s varkoĥ vzrivom, Svaročnoe proizvodstvo, 1970, № 10, str. 20—22.
- [3] Zemzin, V. N.: Svarnie soedinjenija raznorodnih staleĥ, Moskva, Mašinostroenie, 1975.
- [4] Ržanjicin, A. R.: Stroiteljnaja mehanika, Moskva, Viššaja škola, 1982.
- [5] Malinin, N. N.: Prikladnaja teorija plastičnosti i polzucesti, Moskva, Mašinostroenie, 1975.
- [6] Bakuma, S. F., Belousov, V. P., Sedjih, V. S., Trjakov, Ju. P.: Polučenie listovjkh kompozicij s pomoću s varki vzrivom i promežutočnoĥi prokatki, Cvetnie metalli, 1972, № 2, str. 58—62.
- [7] Sahnovskaja, E. B., Sedjih, V. S., Trjakov, Ju. P.: Svoistva soedineniĥ austenitnoi stali s aluminievim splavami pri s varke vzrivom, Svaročnoe proizvodstvo, 1971, № 7, str. 34—38.
- [8] Bakšl, O. A., Piksaev, B. P., Kuljnevich, T. V.: Ocenka pročnosti svarnih soedineniĥ iz termopročnajemjkh staleĥ, Voprosi svaročnogo proizvodstva, Celjabinsk, 1988.

Mr Milorad Opsenica,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

MERENJE PARAMETARA VOJNOG KOLONSKOG TOKA

UDC: 656.1.052.1/3:623

Rezime:

Kroz zapovest za kretanje eksplicitno se definišu sledeći parametri: deonična brzina i odstojanje među vozilima. Za vreme kretanja vojne motorizovane kolone mrežom, očekuju se odstupanja između zadatih i ostvarenih parametara. U radu su predstavljeni rezultati merenja stvarnih parametara vojnog kolonskog toka.

Ključne reči: vojni kolonski tok, parametri toka, brzina, interval sleđenja.

MEASURING MILITARY QUEUE FLOW PARAMETERS

Summary:

A movement order explicitly defines the following parameters: section speed and spacing. During a military queue motorized drive at road network, some deviations between determined and realized parameters are expected. Measuring results of real military queue flow parameters are presented in the paper.

Key words: military queue flow, flow parameters, speed, headway.

Uvod

Osnovni parametri saobraćajnog toka su, prema teoriji prostorna brzina, gustina i protok. Pomoću njih se opisuje stanje saobraćajnog toka, odnosno, posmatrano sa stanovišta odvijanja vojnog kolonskog saobraćaja, to su pokazatelji kvaliteta organizacije i realizacije kretanja u koloni. Pri planiranju i organizovanju vojnog kolonskog kretanja, na osnovu raspoloživih podataka o stanju putne mreže, opštih saobraćajnih uslova i zadatka koji treba da izvrši vojna jedinica (kolona) i njenog stanja, kroz forme zapovesti za kretanje, unapred se okvirno definišu parametri toka koji u toku realizacije kretanja usled mnoštva određe-

nih faktora iz okruženja manje-više odstupaju od zadatih vrednosti. Radi toga je pogodno, u toku izvršavanja konkretnih zadataka, odnosno kretanja kolone izmeriti parametre njenog toka kao stvarne pokazatelje veličine odstupanja zadatih i ostvarenih vrednosti.

Cilj merenja parametara vojnog kolonskog toka jeste saznanje o stvarnim parametrima toka vojne motorizovane kolone koja izvršava zadatak kretanja putnom mrežom. Dobijeni podaci se sistematizuju, obrađuju i, u pogodnoj formi, upoređuju sa veličinama koje su normativno regulisane (predviđene deonične brzine, odstojanja među vozilima u koloni, itd.) čime se dolazi do saznanja o odstupanjima

planskih i ostvarenih parametara kretanja, što je od posebnog značaja za obogaćivanje i unapređenje stručnog i praktičnog rada u jedinicama saobraćajne službe, a posebno u automobilskim jedinicama. Osim toga, stiže se uvid u ostvarene parametre vojnog kolonskog saobraćajnog toka koji je u interaktivnom odnosu sa ostalim saobraćajnim tokovima na putnoj mreži, što na određen način predstavlja teorijski doprinos izučavanju kretanja kolone, kao specifičnog oblika organizovanog (tj. prinudno formiranog) saobraćajnog toka.

Opis osnovnih parametara saobraćajnog toka

Protok vozila

Protok vozila predstavlja broj vozila koji prođe posmatrani presek saobraćajnice u jedinici vremena. Sa aspekta realnih saobraćajnih tokova, zaviso od načina posmatranja u odnosu na prostor, razlikuje se:

— protok vozila na preseku (odseka ili deonice) puta,

— protok vozila na odseku ili deonici puta.

Protok vozila na preseku ostvaruje se na posmatranom preseku puta u jedinici vremena. Osnovna jedinica za iskazivanje protoka vozila je broj vozila na jedan čas (voz/h).

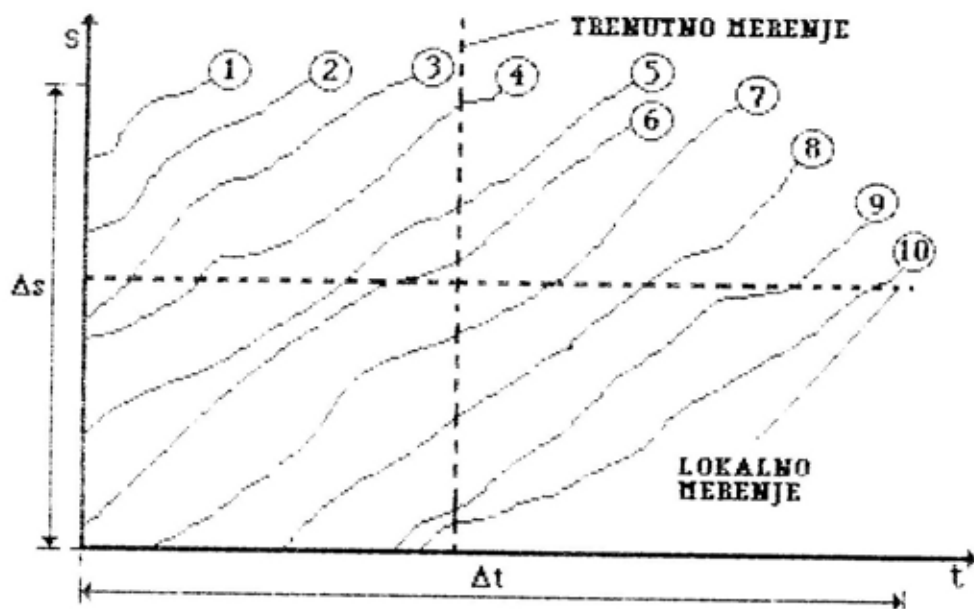
Brzina saobraćajnog toka

Brzina saobraćajnog toka predstavlja srednju brzinu svih vozila u posmatranom toku. Zavisno od načina posmatranja protoka u odnosu na prostor i vreme, u teoriji saobraćajnog toka figurišu dva pojma za definisanje brzine saobraćajnog toka, kao odgovarajuće srednje vrednosti brzina svih vozila posmatranog toka, i to:

— srednja prostorna brzina toka,

— srednja vremenska brzina toka.

Srednja prostorna brzina toka vezana je za odsek prostorno, a vremen-



Sl. 1 — Lokalno i trenutno merenje

ski za trenutak, dok je srednja vremenska brzina toka vezana prostorno za presek na odseku, a vremenski za period posmatranja.

Merenje brzina vozila na posmatranom preseku puta, kao i utvrđivanje srednje vremenske brzine saobraćajnog toka na osnovu takvog merenja, naziva se lokalno merenje ili posmatranje.

Radi ilustracije razlika u načinu posmatranja parametara saobraćajnog toka sa aspekta prostora i vremena, na slici 1 dat je odgovarajući prikaz lokalnog, odnosno trenutnog merenja. Na slici su prikazane trajektorije kretanja vozila na odseku Δs u periodu vremena Δt .

Osnovna jedinica za iskazivanje brzine saobraćajnog toka je broj kilometara na čas (km/h), ili se često koristi i broj metara u sekundi (m/s). Teorijska uopštavanja fundamentalnih relacija u teoriji saobraćajnog toka zasnivaju se na srednjoj prostornoj brzini toka. Merenje srednje prostorne brzine saobraćajnog toka je komplikovano (potrebna foto-oprema, helikopter, savremena elektronska oprema i sl.) što još uvek predstavlja složen i skup postupak.

U vezi s tim nameće se potreba iznalaženja jednostavnijih i jeftinijih načina određivanja (približne) vrednosti srednje prostorne brzine saobraćajnog toka. Jedan od načina je utvrđivanje srednje prostorne brzine toka na osnovu lokalnog merenja, odnosno pomoću vrednosti srednje vremenske brzine. Srednja vremenska brzina meri se jednostavno, pomoću mernog uređaja — radara koji se postavlja na određenom preseku puta. Po ovom postupku srednja prostorna brzina računa se kao harmonijska sredina izmerenih vrednosti srednje vremenske brzine.

Gustina saobraćajnog toka

Gustina saobraćajnog toka predstavlja broj vozila na jedinicu dužine saobraćajnice. Pojam gustine toka prostorno je vezan za odsek ili deonicu, a vremenski za trenutno stanje. Osnovna jedinica za iskazivanje gustine saobraćajnog toka je broj vozila po jednom kilometru (voz/km).

Postupak utvrđivanja gustine toka jednako je komplikovan kao i utvrđivanje srednje prostorne brzine, pa se pribegava utvrđivanju približne vrednosti gustine pomoću parametara dobijenih lokalnim merenjem. Jedan od načina je lokalno utvrđivanje vrednosti vremenskih, odnosno prostornih intervala sleđenja među vozilima u saobraćajnom toku.

Interval sleđenja

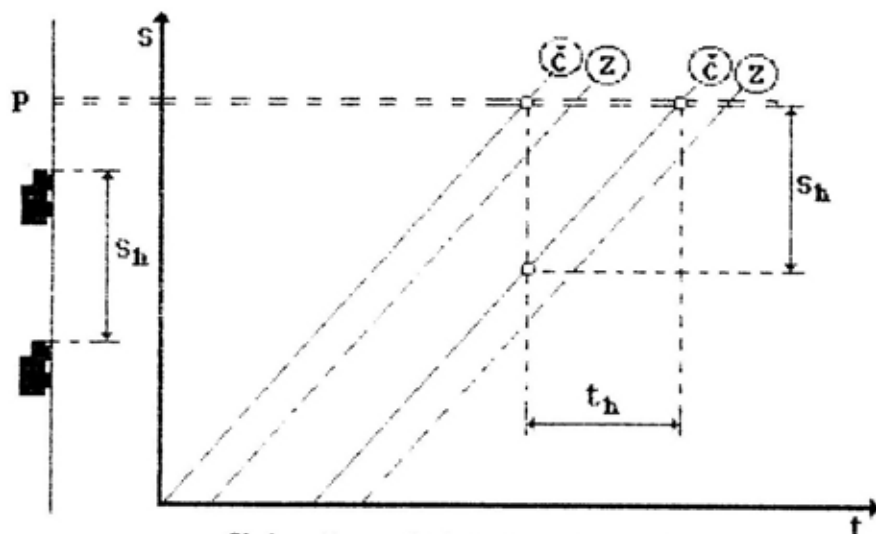
Vremenski interval sleđenja vozila u saobraćajnom toku predstavlja vreme između prolaska čela dva uzastopna vozila kroz zamišljeni presek posmatranog odseka puta. Ima poseban značaj pri opisivanju uslova odvijanja saobraćaja na putevima, ne samo kao osnovni pokazatelj za teorijska uopštavanja međuzavisnosti u saobraćajnom toku, nego i u praksi kao važan indikator kvaliteta saobraćajnog toka.

Prostorni interval sleđenja (rastojanje sleđenja) predstavlja prostorni razmak između čela dva uzastopna vozila u saobraćajnom toku.

Na slici 2 prikazana je ilustracija vremenskog (t_{hi}), odnosno prostornog (S_{hi}) intervala sleđenja među vozilima.

U saobraćajnom toku mogu se uočiti:

— intervali (rastojanja) među pojedinim vozilima u toku (t_{hi} , S_{hi}),



Sl. 2 — Intervali sleđenja među vozilima

— srednja vrednost ($t_{h sr}$, $S_{h sr}$), na posmatranom preseku u vremenu T za N vozila.

Merna jedinica za vremenski interval sleđenja je sekunda (s), a za prostorni interval sleđenja metar (m).

Analogno uslovima utvrđivanja brzine i gustine saobraćajnog toka očito je jednostavnije utvrđivanje vrednosti vremenskog intervala sleđenja lokalnim merenjem.

Međuzavisnost parametara

Osnovni analitički obrazac kojim se formuliše relacija između protoka (q), gustine saobraćajnog toka (g) i srednje prostorne brzine (V_s) glasi [2]:

$$q = g V_s \text{ (voz/h)} \quad (1)$$

Zavisnost između gustine saobraćajnog toka (g) i prostornog intervala sleđenja među vozilima (S_h) data je prema sledećem:

$$g = 1000/S_h \text{ (voz/km)} \quad (2)$$

Zavisnost između prostornog, vremenskog intervala sleđenja i srednje prostorne brzine je:

$$S_h = V_s t_h / 3,6 \text{ (m)} \quad (3)$$

Sukcesivne zamene iz obrazaca (1, 2 i 3) daju zavisnost između protoka i vremenskog intervala sleđenja:

$$q = 3600/t_h \text{ (voz/h)} \quad (4)$$

Organizovanjem lokalnog merenja kojim bi se utvrđivale vrednosti vremenskih intervala sleđenja među vozilima i njihovih trenutnih brzina na određenom preseku može se doći i do ostalih osnovnih parametara toka čije je merenje skupo i komplikovano. Tako dobijene vrednosti su približne, ali veoma korisne za ocenu kvaliteta saobraćajnog toka.

Pri organizovanju kretanja vojnih kolona, raspolaganje vrednostima osnovnih parametara toka veoma je važno, kako za fazu pripreme i planiranja, tako i pri samoj organizaciji i realizaciji kretanja radi preduzimanja adekvatnih mera radi što urednijeg i bezbednijeg kretanja vojnih učesnika.

Opisivanje osnovnih parametara saobraćajnog toka pomoću raspodela verovatnoća slučajnih promenljivih

Pod uticajem mnogobrojnih faktora koji imaju obeležja slučajno promenljivih u prostoru i vremenu, i osnovne veličine saobraćajnog toka imaju karakter promenljivih vrednosti. To znači da se određene vrednosti osnovnih veličina saobraćajnog toka, posmatrane na određenom preseku puta, pojavljuju sa određenom verovatnoćom.

Osnovni parametri saobraćajnog toka imaju karakter diskretne ili neprekidne promenljive. Prema tome, osnovne veličine saobraćajnog toka, koje predstavljaju diskretne slučajne promenljive, podležu određenom zakonu raspodele verovatnoća, dok osnovne veličine saobraćajnog toka, koje imaju karakter neprekidne slučajne promenljive, imaju određenu gustinu raspodele verovatnoća.

Opisivanje nekog od osnovnih parametara saobraćajnog toka (u konkretnom slučaju radi se o vremenskim intervalima sleđenja) nekom od poznatih raspodela daje, na određen način, predstavu o preovlađujućim uslovima u saobraćajnom toku na posmatranom odseku puta.

Posebnu pogodnost predstavlja činjenica da je za testiranje raspodela verovatnoća dovoljno obaviti merenja manjeg obima, a što ovaj način opisivanja čini praktičnim.

Poznato je da vremenski interval sleđenja vozila u toku može sa pozitivnom verovatnoćom da uzme proizvoljnu brojnu vrednost, pa je neprekidna slučajna promenljiva. Vremenski intervali sleđenja vozila u saobraćajnom toku karakterišu se određenim gustinama raspodele verovatnoća. U slučaju kada je protok vozila raspoređen po Puasonovoj raspodeli pokazuje se da su vremenski intervali sleđenja raspoređeni po eksponencijalnoj raspodeli verovatnoća.

Utvrđeno je da Puasonova raspodela protoka vozila na preseku puta važi u slučajevima kada nema značajnijeg ometanja vozila u toku. Ta činjenica je uzeta u obzir pri odabiru merenih mesta na maršruti.

Verovatnoća da se za vreme t na preseku pojavi x vozila je:

$$p_x(t) = (\lambda t)^x e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Parametar λ predstavlja vrednost tzv. sekundnog protoka, odnosno srednju vrednost izmerenih vrednosti protoka izraženu u broju vozila po sekundi.

Za $x=0$ (slučaj kada za vreme t ne prođe ni jedno vozilo) dobija se:

$$p_0(t) = e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Radi se o verovatnoći da vremenski interval sleđenja među vozilima (t_h) bude najmanje t . Dakle:

$$p(t_h \geq t) = p_0(t) = e^{-\lambda t} \quad (7)$$

Funkcija raspodele vremenskih intervala sleđenja $F(t)$ je:

$$F(t) = P(t_h < t) = 1 - P(t_h \geq t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (8)$$

Time je gustina raspodele verovatnoća vremenskih intervala sleđenja:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (9)$$

S obzirom na to da je matematičko očekivanje eksponencijalne raspodele ($1/\lambda$), srednja vrednost vremenskog intervala sleđenja je:

$$t_{h sr} = 1/\lambda \quad (10)$$

Srednja vrednost vremenskog intervala sleđenja jednostavno se dobija iz izmerenih podataka primenom određenog statističkog postupka. To je osnovni parametar za pretpostavljenu eksponencijalnu raspodelu.

Kako je ovde reč o merenju parametara toka vezanih za vojni kolonski tok treba istaći specifičnost strukture

kolone koja je na određen način definisana zadatom vrednošću prostornog intervala sleđenja među vozilima. Naime, u praksi je uobičajen postupak da se pri izdavanju zapovesti za kretanje, pored ostalih važnih elemenata, daje i vrednost minimalnog rastojanja sleđenja među vozilima, a time se za određenu brzinu kretanja definiše i minimalna vrednost vremenskog intervala sleđenja koju vojni vozač ne bi smeo da ostvari zbog bezbednosnih razloga.

Uvođenje minimalnog vremenskog intervala sleđenja ($t_{h \min} = \tau$) u opisivanje vremenskih intervala sleđenja predstavlja pomerenu eksponencijalnu raspodelu.

Funkcija raspodele intervala sleđenja u ovom slučaju glasi:

$$F(t_h) = 1 - e^{-[(t_h - \tau)/(t_{hsr} - \tau)]} \quad (11)$$

Gustina raspodele verovatnoća izračunava se na sledeći način:

$$f(t_h) = 0 \text{ za } t_h < \tau$$

$$f(t_h) = [1/(t_{hsr} - \tau)] e^{-[(t_h - \tau)/(t_{hsr} - \tau)]}$$

za $t_h \geq \tau$ (12)

Izmerene (empirijske) vrednosti vremenskih intervala sleđenja (t_{hi}) klasiraju se u razrede prema uobičajenim statističkim normama, zavisno od veličine uzorka, pa se za svaki razred utvrdi empirijska frekvencija (f_{ei}). Na osnovu toga računa se srednja vrednost vremenskog intervala sleđenja (t_{hsr}), čija recipročna vrednost predstavlja parametar pretpostavljene teorijske raspodele, odnosno tzv. sekundni protok:

$$\lambda = 1/t_{hsr} \text{ (voz./s)}$$

Odgovarajuće teorijske frekvencije pojave intervala sleđenja ($t_h > t$) biće:

$$f_{ti} = f_{ei}^{-\lambda t} \quad (13)$$

Ovako dobijene podatke o teorijskim frekvencijama potrebno je uporediti sa izmerenim vrednostima pri-

menom odgovarajućeg testa da bi se utvrdilo da li je uzorak verna slika osnovnog skupa iz kojega je uzet. Jedan od načina utvrđivanja podudarnosti teorijskih i empirijskih vrednosti jeste primena Hi-kvadrat testa (χ^2 -test). Pomenute dve frekvencije se ne moraju podudarati. Tada treba ustanoviti da li su te razlike prevelike i bitne kako bi se moglo smatrati da se posmatrana varijabla pokorava pretpostavljenoj raspodeli.

Veličina χ^2 definiše se na sledeći način:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k (f_{ei} - f_{ti})^2 / f_{ti}$$

Veličina k predstavlja broj klasa podataka koje se mogu redukovati prema utvrđenim pravilima statističkih postupaka. U odgovarajućoj tabeli [5] date su tablične vrednosti χ^2 sa kojima je potrebno uporediti izračunate vrednosti vodeći računa o pravilnom odabiru stepena slobode, što zavisi od broja klasa i broja parametara pretpostavljene raspodele. Prema uobičajenoj konvenciji smatra se da je hipoteza o podudarnosti teorijskih i empirijskih vrednosti prihvatljiva ukoliko izračunata vrednost ne premašuje tabličnu.

Realizacija merenja

Merenje parametara toka realizovano je tako što su se u stvarnim uslovima angažovanja vojnih motorizovanih kolona merili pojedini parametri toka, a ostali (koji se izvode) naknadno su proračunavani.

Mereni su parametri toka više jedinica — kolona sa različitim brojem vozila. Homogenost pojedinih kolona sa aspekta strukture vozila bila je izrazita (većina vozila je iste marke i tipa, odnosno istih ili veoma sličnih dinamičkih karakteristika).

Na izabranim tačkama na maršrutu, u skladu sa dinamikom prolaska pojedinih kolona, mereni su sledeći parametri:

— vremena nailaska čela i začelja kolone na datu tačku,
 — trenutne brzine kretanja čelnog i začelnog vozila iz kolone,

Tabela 1

Karakteristike mernih mesta

Mesto	Kovanluk (benz. pumpa)	Nagib	+ 1%
		Broj traka	2
Datum	03. 06. 1997.	Širina kolovoza	6,5 m
Vreme	08.06 — 08.12	Prav put	—
Vidljivost	dobra	Zastor	asfalt dobar
Mesto	Počekovina	Nagib	0%
		Broj traka	2
Datum	03. 06. 1997.	Širina kolovoza	6 m
Vreme	09.09 — 09.15	Prav put	—
Vidljivost	dobra	Zastor	asfalt dobar
Mesto	Koševi (obilaznica)	Nagib	4%
		Broj traka	2
Datum	03. 06. 1997.	Širina kolovoza	5,5 m
Vreme	9.50 — 10.00	Krivina	R > 15 m
Vidljivost	dobra	Zastor	asfalt loš
Mesto	Lazarica	Nagib	— 1%
		Broj traka	2
Datum	03. 06. 1997.	Širina kolovoza	6 m
Vreme	10.28 — 10.36	Prav put	—
Vidljivost	dobra	Zastor	asfalt loš
Mesto	*Paraćin (goblje)	Nagib	+ 2%
		Broj traka	2
Datum	03. 06. 1997.	Širina kolovoza	5,5 m
Vreme	12.15 — 12.20	Krivina	R > 15 m
Vidljivost	dobra	Zastor	asfalt loš
Mesto	Kruševac (pruž. prelaz)	Nagib	0%
		Broj traka	2
Datum	03. 06. 1997.	Širina kolovoza	7 m
Vreme	14.05 — 14.09	Put u pravcu	—
Vidljivost	dobra	Zastor	asfalt loš

— vremenski interval sleđenja me-
đu vozilima u koloni.

Na osnovu podataka dobijenih o-
vim merenjem moguće je izvesti osta-
le parametre toka kao što su prostor-
na brzina kretanja, prosečna gustina
toka, odnosno prosečno odstojanje me-
đu vozilima u koloni, protok i sl.

Za merenje trenutne brzine kreta-
nja vozila korišćen je ručni radar ZMH
0201 — »Iskra«, a za merenje vremen-
skih podataka hronometar-štoperica.
Merenje je obavljala ekipa koja je is-
tovremeno snimala sve tri vrste poda-
taka i beležila ih u unapred pripreml-
jene obrasce.

Za ovo merenje bilo je potrebno:

— putničko vozilo sa dobrim dina-
mičkim svojstvima i ispravnim poka-
zivačem pređene kilometraže.

— ručni radar (priključuje se na
akumulator vozila),

— digitalna štoperica,

— potrebni obrasci,

— pribor za saobraćajno izviđa-
nje,

— četiri lica (dva lica za merenje
brzine, a dva za merenje vremenskih
intervala sleđenja).

Priborom za saobraćajno izviđa-
nje utvrđivane su karakteristike mer-

nih mesta važne za analizu dobijenih
podataka. Izboru mernih mesta pret-
hodilo je saobraćajno izviđanje pre-
viđene maršrute, određivanje mernih
mesta i plan posedanja mernih mesta.

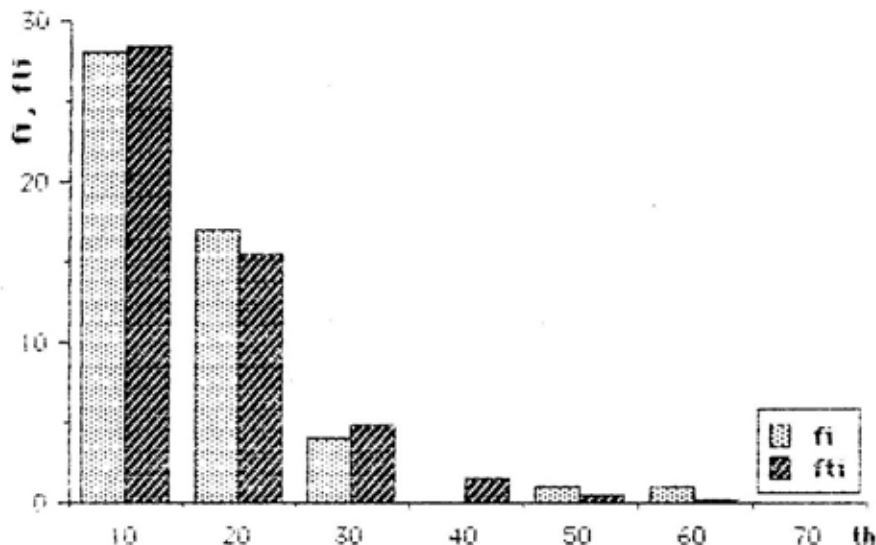
Izbor mernih mesta izvršen je ta-
ko da se zadovolji što veća različitost
u pogledu osnovnih karakteristika pu-
ta i saobraćaja (da bude zastupljen ra-
van deo puta, put na pravcu, krivina,
uspon, spust, itd.).

U skladu sa uslovima različitosti
mernih mesta i dinamike realizacije
kretanja na vežbi izvršeno je 6 snima-
nja prema pregledu karakteristika
mernih mesta, datom u tabeli 1.

Rezultati merenja

a) Merno mesto br. 1 — Kovanluk
(benzinska pumpa)

U koloni se nalazilo 51 vozilo, pla-
nirana deonična brzina iznosila je 45
km/h, a odstojanje među vozilima da-
to je u rasponu od 50 do 100 m. Na os-
novu zabeleženih brzina čelnog i začel-
nog vozila proračunata je srednja vred-
nost trenutne brzine od 47,6 km/h. Na
slici 3 dat je histogram izmerenih i te-



Sl. 3 — Histogram frekvencija — merno mesto br. 1, Kovanluk

orijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.

Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je pomerena eksponencijalna raspodela sa pomakom od $t_{h \min} = 3$ s), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R=0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 2). Pomak od 3 sekunde određen je tako što među svim empirijskim vrednostima vremenskog intervala sleđenja nije zabeležena ni jedna vrednost manja od 3 sekunde.

*b) Merno mesto br. 2 —
Počekovina*

U koloni se nalazilo 23 vozila, planirana deonična brzina je bila 45 km/h, a odstojanje među vozilima dato je u

rasponu od 50 do 100 m. Na osnovu zabeleženih brzina čelnog i začelnog vozila proračunata je srednja vrednost trenutne brzine od 51,4 km/h.

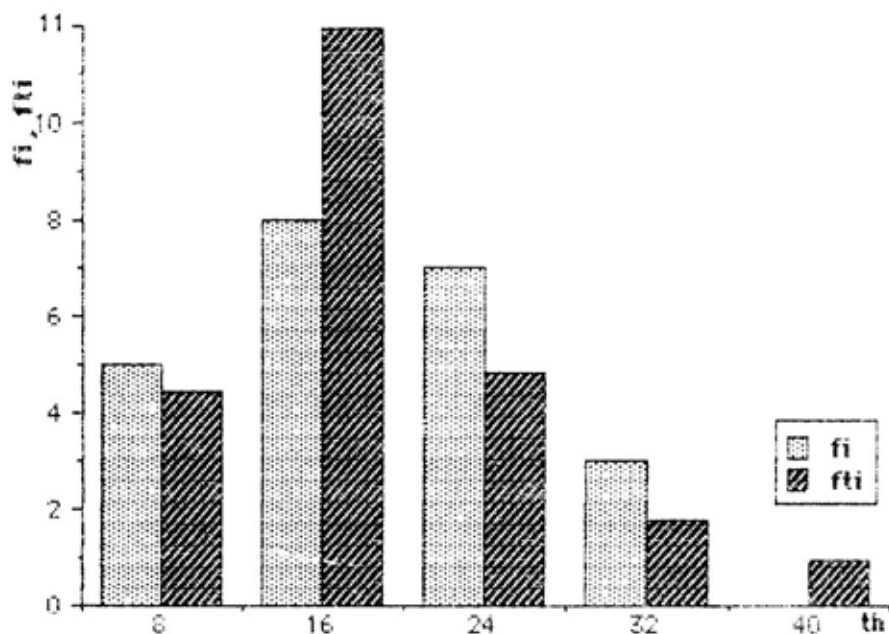
Na slici 4 prikazan je histogram izmerenih i teorijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.

Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je pomerena eksponencijalna raspodela sa pomakom od $t_{h \min} = 6$ s), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R=0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 3). Pomak od 6 sekundi određen je tako što među svim empirijskim vrednostima vremenskog intervala sleđenja nije zabeležena ni jedna vrednost manja od 6 sekundi.

Tabela 2

Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, Kovanluk

Merno mesto		Raspodela	
Kovanluk (benz. pumpa) $t_h = 11,67$ s		Pomerena eksponencijalna $t_{h \min} = 3$ s	
Klasa (t_h)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ii})	$\frac{(f_i - f_{ii})^2}{f_{ii}}$
0—10	28	28,25	0,002
10—20	17	15,57	0,130
20—30	4	4,91	0,194
30—40	0	1,55	
40—50	1	0,49	
50—60	1	0,15	
> 60	0	0,08	
	$\Sigma = 51$	$\Sigma = 51$	$\chi^2 = 0,33$



Sl. 4 — Histogram frekvencija — merno mesto br. 2, Počekovina

Tabela 3

Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, Počekovina

Merno mesto		Raspodela	
Počekovina $\bar{t}_s = 14,80$ s		Pomerena eksponecijalna $t_{\text{min}} = 6$ s	
Klasa (t_h)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ti})	$\frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}}$
0—8	5	4,65	0,03
8—16	8	10,94	0,79
16—24	7	4,40	0,91
24—32	3	1,77	
> 32	0	1,23	
	$\Sigma = 23$	$\Sigma = 23$	$\chi^2 = 1,73$

c) *Merno mesto br. 3 — Koševi (obilaznica)*

U koloni se nalazilo 30 vozila, planirana deonična brzina bila je 50 km/h, a odstojanje među vozilima dato je u rasponu od 50 do 100 m. Na osnovu zabeleženih brzina čelnog i začelnog vozila proračunata je srednja vrednost trenutne brzine od 47,2 km/h.

Na slici 5 prikazan je histogram izmerenih i teorijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.

Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je eksponencijalna raspodela), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R=0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 4).

d) *Merno mesto br. 4 — Lazarica*

U koloni se nalazilo 33 vozila, planirana deonična brzina bila je 45 km/h, a odstojanje među vozilima dato je u rasponu od 50 do 100 m. Na osnovu zabeleženih brzina čelnog i začelnog vozila proračunata je srednja vrednost trenutne brzine od 50,4 km/h. Na slici

6 prikazan je histogram izmerenih i teorijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.

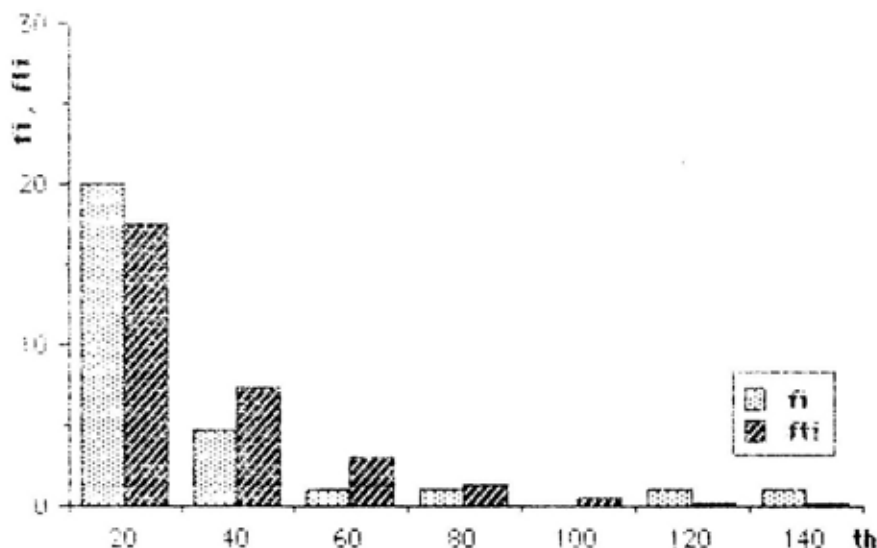
Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je pomerena eksponencijalna raspodela sa pomakom od $t_{h\ min}=3$ s), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R=0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 5).

Pomak od 3 sekunde određen je tako što među svim empirijskim vrednostima vremenskog intervala sleđenja nije zabeležena ni jedna vrednost manja od 3 sekunde.

e) *Merno mesto br. 5 — Paraćin (groblje)*

U koloni je bilo 32 vozila, planirana deonična brzina iznosila je 40 km/h, a odstojanje među vozilima dato je u rasponu od 50 do 100 m. Na osnovu zabeleženih brzina čelnog i začelnog vozila proračunata je srednja vrednost trenutne brzine od 43,3 km/h.

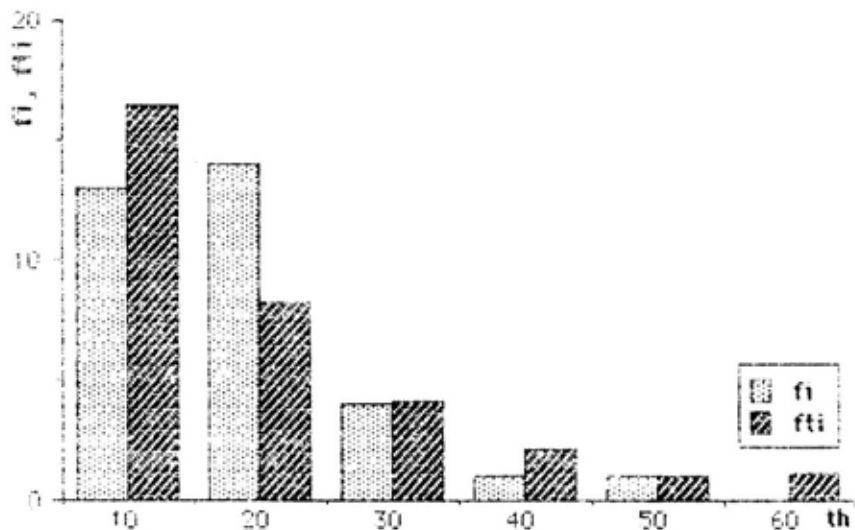
Na slici 7 prikazan je histogram izmerenih i teorijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.



Sl. 5 — Histogram frekvencija — merno mesto br. 3, Koševi

Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, Koševi

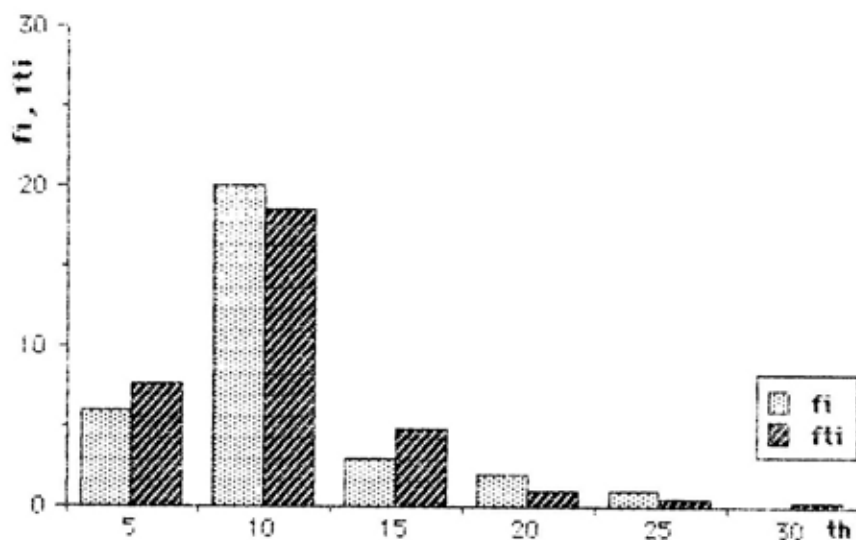
Merno mesto		Raspodela	
Koševi $\bar{t}_k = 22,66$ s		Eksponecijalna	
Klasa (t_k)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ti})	$\frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}}$
0—20	20	17,58	0,33
20—40	5	7,27	0,71
40—60	2	3,01	0,004
60—80	1	1,25	
80—100	0	0,52	
100—120	1	0,21	
> 120	1	0,16	
	$\Sigma = 30$	$\Sigma = 30$	$\chi^2 = 1,04$



Sl. 6 — Histogram frekvencija — merno mesto br. 4, Lazarica

Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, Lazarica

Merno mesto		Raspodela	
Lazarica $t_h = 14,50$ s		Pomerena eksponencijalna $t_{hmin} = 3$ s	
Klasa (t_h)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ti})	$\frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}}$
0—10	13	15,04	0,27
10—20	14	10,43	1,22
20—30	4	4,37	0,31
30—40	1	1,83	
40—50	1	0,76	
> 50	0	0,57	
	$\Sigma = 33$	$\Sigma = 33$	$\chi^2 = 1,80$



Sl. 7 — Histogram frekvencija — merno mesto br. 5, Paraćin (grobje)

Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je pomerena eksponencijalna raspodela sa pomakom od $t_{h \min} = 4$ s), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R=0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 6). Pomak od 4 sekunde određen je tako što među svim empirijskim vrednostima vremenskog intervala sleđenja nije zabeležena ni jedna vrednost manja od 4 sekunde.

f) Merno mesto br. 6 — Kruševac (pružni prelaz)

U koloni je bilo 24 vozila, planirana deonična brzina iznosila je 40 km/h, a odstojanje među vozilima dato je u

rasponu od 50 do 100 m. Na osnovu zabeleženih brzina čelnog i začelnog vozila proračunata je srednja vrednost trenutne brzine od 42,8 km/h.

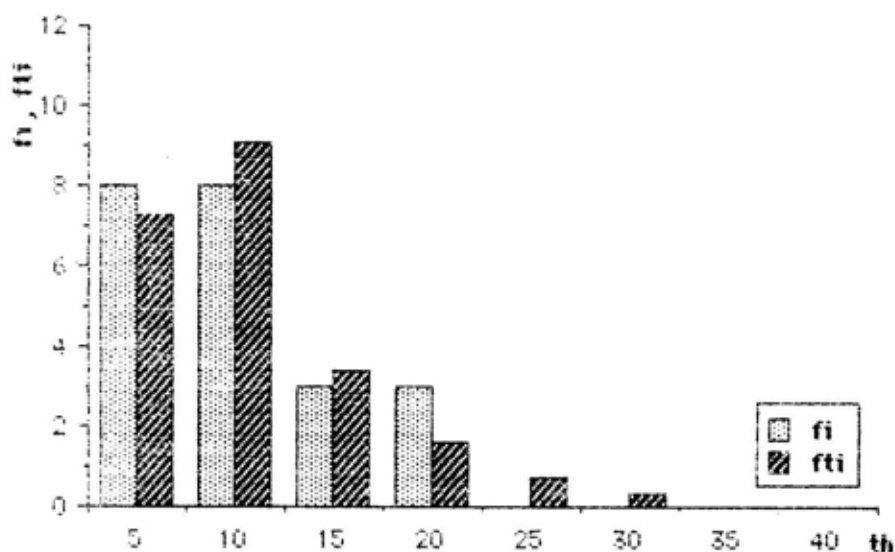
Na slici 8 prikazan je histogram izmerenih i teorijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.

Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je pomerena eksponencijalna raspodela sa pomakom od $t_{h \min} = 3$ s), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R=0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 7). Pomak od 3 sekunde određen je tako što među svim empirijskim vrednostima vremenskog intervala sleđenja nije zabeležena ni jedna vrednost manja od 3 sekunde.

Tabela 6

Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, Paraćin (groblje)

Merno mesto		Raspodela	
Paraćin (groblje) $t_h = 7,88$ s		Pomerena eksponencijalna $t_{h \min} = 4$ s	
Klasa (t_h)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ti})	$\frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}}$
0—5	6	7,27	0,22
5—10	20	17,91	0,24
10—15	3	4,93	0,098
15—20	2	1,36	
20—25	1	0,38	
> 25	0	0,15	
	$\Sigma = 32$	$\Sigma = 32$	$\chi^2 = 0,56$



Sl. 8 — Histogram frekvencija — merno mesto br. 6, Kruševac (pruga)

Tabela 7
Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, Kruševac (pruga)

Merno mesto		Raspodela	
Kruševac (pruga) $\bar{t}_n = 8,45$ s		Pomerena eksponencijalna $t_{\min} = 3$ s	
Klasa (t_h)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ti})	$\frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}}$
0—5	8	6,75	0,231
5—10	8	9,15	0,145
10—15	3	3,65	0,0016
15—20	3	1,46	
> 20	0	0,99	
	$\Sigma = 22$	$\Sigma = 22$	$\chi^2 = 0,38$

Zbirni pregled

Ukupno je opservirano 193 vozila. Na slici 9 prikazan je histogram izmirenih i teorijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.

Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je pomerna eksponencijalna raspodela sa pomakom od $t_{h \min} = 3$ s), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R = 0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 8). Pomak od 3 sekunde određen je tako što među svim empirijskim vrednostima vremenskog intervala sleđenja nije zabeležena ni jedna vrednost manja od 3 sekunde.

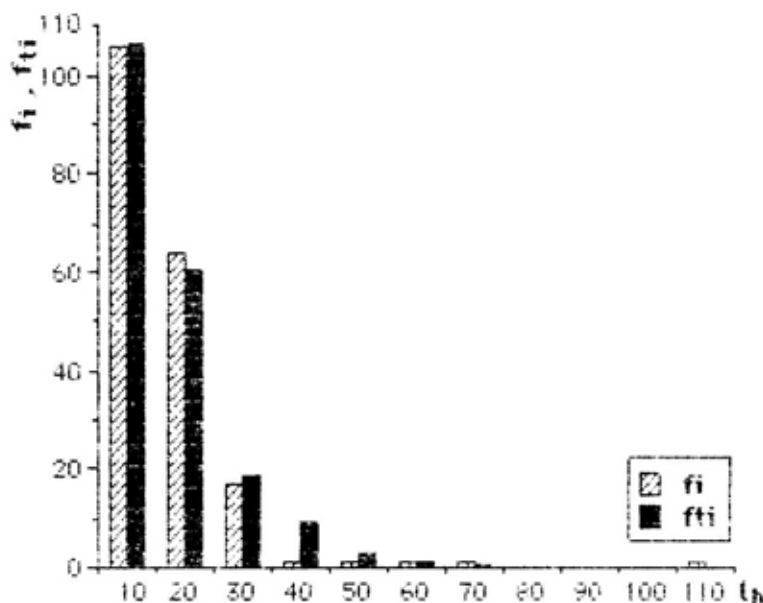
U tabeli 9 prikazan je pregled pripadajućih vrednosti zbira χ^2 karakterističnih za određeno merno mesto, odnosno, primenjenu teorijsku pretpostavljenu raspodelu vremenskih intervala sleđenja. Za tri klase podataka (u svim parcijalnim proračunima) i jedan nepoznat parametar raspodele (srednja vrednost sekundarnog protoka) i

uz rizik od $R = 0,05$ tablična vrednost $\chi^2 = 3,841$. Prema tome, mogu se prihvatiti hipoteze o pretpostavljenim teorijskim raspodelama vezanim za određena merna mesta, jer su sve dobijene vrednosti χ^2 manje od tablične vrednosti.

Ostali (izvedeni) parametri

Na osnovu zabeleženih srednjih vrednosti vremenskih intervala sleđenja među vozilima, prosečne brzine kretanja pojedine kolonske formacije i broja vozila u pojedinoj formaciji (i njihovih dimenzionih karakteristika) moguće je proračunati prosečne vrednosti sledećih parametara:

- vremensku dubinu kolone D_k (min),
- dužinu kolonske formacije D_k (km),
- odstojanje među vozilima l_k (m),
- gustinu vojnog kolonskog toka g (voz/km),



Sl. 9 — Histogram frekvencija — zbirni pregled

Tabela 8

Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, zbirni pregled

Zbirni proračun		Pomerena eksponencijalna $t_{\text{min}} = 3 \text{ s}$	
$\bar{t}_s = 11,67 \text{ s}$			
Klasa (t_k)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ii})	$\frac{(f_i - f_{ii})^2}{f_{ii}}$
0—10	106	106,91	0,008
10—20	64	58,91	0,440
20—30	17	18,59	0,140
30—40	1	5,86	0,780
40—50	1	1,85	
50—60	1	0,58	
> 60	3	0,30	
	$\Sigma = 193$	$\Sigma = 193$	$\chi^2 = 1,36$

Tabela 9

Pregled zbira χ^2 po mernim mestima

Merno mesto	Raspodela	χ^2
Kovanluk (benz. pum.)	Pomerena eksponencijalna (3 s)	0,33
Počekovina	Pomerena eksponencijalna (6 s)	1,73
Lazarica	Pomerena eksponencijalna (3 s)	1,80
Koševi	Eksponencijalna	1,04
Paraćin (groblje)	Pomerena eksponencijalna (4 s)	0,56
Kruševac (pruga)	Pomerena eksponencijalna (3 s)	0,38
ZBIRNO	Pomerena eksponencijalna (3 s)	1,36

— protok vojnog kolonskog toka q (voz/h).

U tabeli 10 dat je pregled pripadajućih parametara vojnog kolonskog toka prema mernim mestima i prosečne

vrednosti koje su dobijene primenom odgovarajućih težinskih koeficijenata (zbog različite brojnosti uzorka, zavisno od broja vozila po pojedinoj formaciji).

Tabela 10

Pregled parametara toka po mernim mestima

Merno mesto	N	V	t_h	D_1	D_2	l_i	g	q
		$\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$	(s)	(min)	(km)	(m)	$\left(\frac{\text{voz.}}{\text{km}}\right)$	$\left(\frac{\text{voz.}}{\text{h}}\right)$
Kovanluk (ben. pumpa)	51	47,6	11,67	10,21	8,10	154	6,49	309
Počekovina	23	51,4	14,80	5,39	4,62	201	4,97	256
Lazarica	33	50,4	14,50	7,97	6,69	203	4,93	248
Koševi	30	47,2	22,66	14,66	11,53	385	2,60	123
Kruševac (pruga)	24	42,8	8,45	3,53	2,51	105	9,53	408
Paraćin (groblje)	32	43,3	7,88	4,20	3,03	95	10,56	457
Prosečne vrednosti	32	47,2	12,78	6,9	5,43	168	5,95	281

Zaključak

Sprovedenim merenjem parametara vojnog kolonskog toka došlo se do veoma interesantnih i korisnih saznanja u domenu planiranja i organizovanja vojnog saobraćaja.

Pre svega, pokazalo se da ostvareni parametri kretanja u toku realizacije praktičnih zadataka, u realnim saobraćajnim uslovima, pokazuju određena odstupanja od zadatah, odnosno planiranih parametara.

Naime, prema uslovima zapovesti za kretanje kolone (relativno fiksno zadata brzina kretanja pojedine kolonske formacije, kao i odstojanje među vozilima) može se očekivati da će vremenski intervali sleđenja među vozilima biti ravnomerno raspoređeni. Međutim, na svim mernim mestima, kao i pri zbirnom sagledavanju stanja, poka-

zalo se da su vremenski intervali sleđenja među vozilima u vojnoj motorizovanoj koloni eksponencijalno raspoređeni, odnosno da se vojni kolonski tok u realnim saobraćajnim uslovima pokorava Puasonovoj raspodeli.

Interesantno je da su vremenski intervali sleđenja među vozilima gotovo na svim mernim mestima raspoređeni po pomenjenoj eksponencijalnoj raspodeli sa određenim pomakom zavisnim od lokalnih uslova saobraćaja, ali koji ni u jednom slučaju nije poprimio vrednost manju od 3 sekunde. Ova činjenica na određen način ukazuje na produženo dejstvo elemenata iz zapovesti za kretanje kojima je definisana donja granica potrebnog prostornog odstojanja među vozilima iz kolonske formacije. Treba istaći da su vremenski intervali sleđenja mereni samo među vojnim vozilima iz kolona,

a ne i između vojnih i ostalih vozila u toku. To ukazuje na činjenicu da vojni vozač na određen način »zanemaruje« prisustvo ostalih učesnika u toku, odnosno zadato odstojanje procenjuje i održava u odnosu na prethodno vojno vozilo iz kolone. Bez obzira na to očito je da učešće ostalih vozila i njihov privremeni boravak u koloni znatno remeti stanje ravnomernosti kretanja, jer su vojni vozači prinuđeni da se povinuju zakonitostima kretanja ukupnog toka.

Imajući u vidu da posmatrana vozila nisu bila opterećena (merenje je sprovedeno pri kretanju praznih vozila), karakteristike putnih i saobraćajnih uslova na većini mernih mesta nisu imale značajniji odraz na ostvarene parametre, odnosno, iz dobijenih podataka ne proizilazi značajniji korelativni odnos. Od toga jedino u određenoj meri odstupaju podaci sa mernog mesta br. 3 — Koševi (obilaznica), gde je zabeležena relativno velika vrednost prosečnog vremenskog intervala sledenja ($t_h = 22,66$ s), kao i značajno rasipanje ($s = 26,7$ s). To se može objasniti činjenicom da je merno mesto odabrano neposredno iza uključenja na obilaznicu, kada je vojna kolonska formacija bila još pod jakim uticajem lokalnih uslova (pojedinačno uključenje vo-

zila iz kolone bez primenjenih mera regulacije).

Dobijeni rezultati pokazali su da između planiranih i ostvarenih brzina kretanja nije bilo značajnijeg odstupanja (prosečna planirana brzina bila je 44,2 km/h, a prosečna ostvarena brzina 47,2 km/h), dok je ostvareno prosečno odstojanje među vozilima znatno veće od predviđenog (prosek je bio 168 m u odnosu na zadati raspon od 50 do 100 m). To se objašnjava činjenicom da vojni vozač relativno lako može pratiti, odnosno korigovati brzinu kretanja svog vozila (praćenjem brzinomera), dok odstojanje do prethodnog vozila iz kolone mora subjektivno procenjivati, ali i prilagođavati ostalim učesnicima u toku.

Uz dužan oprez prema dobijenim rezultatima, usled malobrojnosti uzorka, rezultati do kojih se došlo mogu biti korisni realizatorima vojne kolone. Primera radi, za homogenu formaciju od 32 tipična vojna vozila u koloni, dobijene su prosečne vrednosti pojedinih parametara (poslednja kolona iz tabele 10), koji su vrlo značajni za organizaciju kretanja vojne motorizovane kolone, kao i za specijalizovane organe za regulisanje i kontrolu vojnog saobraćaja.

Literatura:

- [1] Elaborat ZTV Timok-97, VTA VJ, Smer SbSl, Beograd, 1997.
- [2] Kuzović LJ.: Teorija saobraćajnog toka, IRO Građevinska knjiga, Beograd, 1987.
- [3] Opsenica, M.: Poremećaji civilnog saobraćajnog toka učešćem vojne motorizovane kolone u njemu, seminarski rad PDS, CVTS KoV, Zagreb, 1988.
- [4] Jovanović, G.: Putni saobraćaj, lekcija, CVTS KoV, Zagreb, 1988.
- [5] Vukadinović, S.: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1980.



prikazi iz inostranih časopisa

MODERNIZACIJA SISTEMA PVO-KUB*

Projektovanje samohodnog raketnog sistema PVO »KUB« (srs PVO) počelo je 1958. godine, a u naoružanje SSSR-a, uveden je 1966. godine. Serijska proizvodnja započela je 1967. godine, a od 1971. izvozna varijanta pod nazivom »KVADRAT«, krenula je u niz stranih zemalja.

Namena, karakteristike, iskustvo

Po svojoj konstrukciji i borbenim mogućnostima, srs PVO »KUB« bio je, u to vreme, jedan od najefikasnijih u svetu. Za sistem su razvijena dva osnovna borbena sredstva: samohodna radarska stanica za osmatranje i navođenje (RStON), koja daje potrebnu informaciju za navođenje raketa i samohodno lansirno oruđe (SLO) sa tri rakete. Upravljanje raketom ostvaruje se pomoću radarske glave samonavođenja (RGS) rakete, na osnovu signala neprekidnog zračenja posebnog radarskog predajnika RStON-a.

* Prema podacima iz časopisa VOENNIJ PARAD, maj—jun 2(26) 1998.

Raketna baterija KUB sastoji se od jednog RStON i četiri SLO, što čini neophodni borbeni komplet (12 raketa) za sukcesivno dejstvo po više ciljeva.

Radi skraćanja vremena za prelazak iz marševskog u borbeni položaj kod sistema KUB primenjen je sistem uzajamne orijentacije borbenih sredstava i prenosa podataka o cilju na rakete.

Gusenični transporteri raketnog sistema PVO KUB, po prohodnosti, brzini i dinamičkim karakteristikama ravni su tenku, što omogućava raketnom sistemu da se pridruži borbenim porcima jedinica KoV, pa prema tome i tenkovskim i mehanizovanim kolonama.

Raketni sistem PVO KUB namenjen je za borbu protiv sredstava za napad iz vazdušnog prostora, čija je brzina ispod 600 m/s, na daljinama do 20 km, u bilo kom pravcu, u opsegu visine od 0,2 do 7 km. Vreme gotovosti je manje od 5 minuta, a može da se prevozi svim vrstama transportnih sredstava, uključujući i vazдушna.

Upotreba ovog sistema pokazala je celishodnost i mogućnost bitnog poboljšanja njegovih karakteristika. Po zahtevu Ministarstva odbrane, spro-

veden je niz modernizacija raketnog sistema KUB, prvenstveno radi povećanja zone dejstva, dejstva protiv novih vrsta sredstava za napad iz vazdušnog prostora, povećanja zaštite od ometanja i povećanja pouzdanosti. Tako je granica zone uništenja povećana sa 20 na 24 km, gornja granica po visini podignuta na 14 umesto 7 km, a donja spuštena na 30 do 50 m umesto 100 do 200 m. Bliža granica zone uništenja ciljeva skraćena je na 3 do 4 km umesto 6 do 8 km. Pored toga, povećana je mogućnost borbe sa ciljevima čije opterećenje u manevrima iznosi 7 do 8 g.

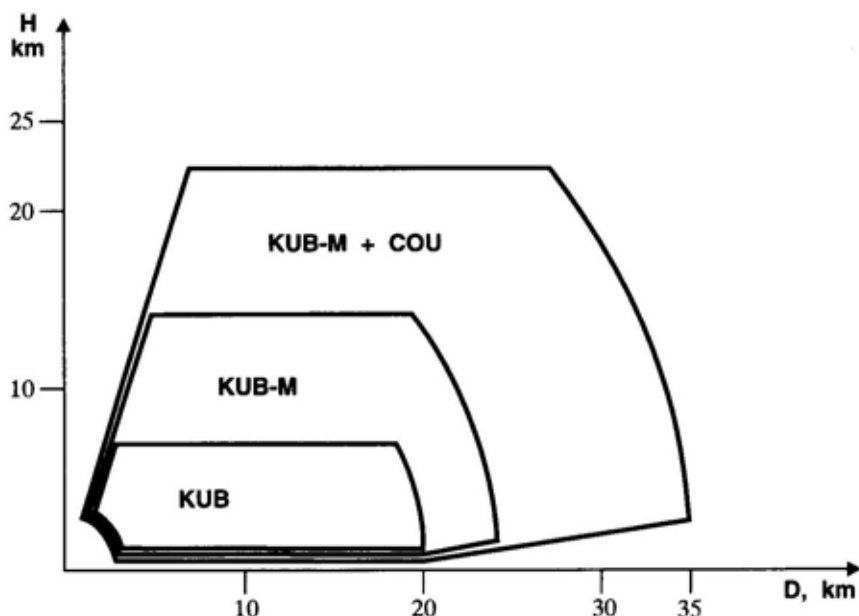
U RStON je, kao rezervno sredstvo za praćenje ciljeva, uveden televizijsko-optički nišan. Time je povećana otpornost na smetnje i zaštita sistema KUB od uništenja protivradarskim raketama.

U vreme serijske proizvodnje (1967—1983. godine) proizvedeno je više od 500 sistema KUB za potrebe armije SSSR-a, od čega je deo prodat u

22 zemlje. Sistem je stalno modifikovan i modernizovan, a samo u periodu 1969—1971. godine usvojene su dve modifikacije.

Pravci modernizacije

Raketni sistem PVO KUB uspešno se i sada koristi. Kontrolne provere pokazale su da resurs ovog sistema omogućava korišćenje još najmanje 10 godina. U vezi sa tim poslednjih godina je, na osnovu inostranih zahteva, izvedena još jedna modernizacija. Ona je obuhvatila razvoj novog digitalnog sistema za selekciju pokretnih ciljeva (SPC). Stari sistem, realizovan na potencijaloskopima, bio je veoma složen, zahtevao je brojna podešavanja i bio je jedan od najnepouzdanijih sistema RStON. Digitalni SPC, realizovan na savremenoj mikroelektronskoj tehnologiji, ima bolje karakteristike, kako u prigušenju signala od nepokretnih objekata, tako i u izdvajanju korisnog



Zone uništenja ciljeva

signala. Osim toga, ne zahteva podešavanje, a ima i veću pouzdanost.

Drugi pravac modernizacije bio je projektovanje predajnika signala neprekidnog zračenja sa širim radnim opsegom, u kojem je razmešteno 12 učestanosti za »obasjavanje« cilja (umesto 6). To omogućuje da, pri masovnim naletima, istovremeno dejstvuje 12 raketnih sistema PVO KUB, a povećava se i zaštita kanala radio-upravljanja raketom od smetnji.

Treći pravac modernizacije je formiranje sistema objektivne kontrole SLO, kao i podataka koje mu šalje RStON, i podataka koji se šalju na raketu pre lansiranja. Sve informacije se zapisuju na disketi i mogu se lako dešifrovati. Pored toga, projektovan je sistem kontrole celokupnog trakta »obasjavanja« cilja kanalom neprekidnog zračenja, zbog čega je kontrolna glava za samonavođenje sa potrebnom mernom i registracionom opremom smeštena u specijalnom furgonu postavljenom na automobilskoj šasiji. I, na kraju, četvrti pravac je razvoj radnih mesta za proveru i remont blokova predajnog uređaja, sistema SPC, sinhronizacije, itd., što je već uspešno realizovano.

Od KUB-a do BUK-a

Osim pomenutih »malih« modernizacija, od 1969. godine otpočelo je šire istraživanje novih principa razvoja raketnih sistema PVO druge generacije. Istraživane su razne vrste radarskih signala, prvenstveno njihova otpornost na smetnje i ekonomičnost s obzirom na način obrade signala. Analizirane su metode dejstva jednim sistemom na više ciljeva, uz prethodnu analizu opasnosti koja od njih pretili. Razmotreni su i načini optimizacije sistema radio-upravljanja raketom. Paralelno je razvijana i nova tehnološka osnova, kao što su visokofrekventni elementi predajnika i prijemnika, kvarcni i elektromehanički filteri i minijaturni digitalni uređaji.

Kao rezultat tih istraživanja i iskustava iz upotrebe sistema KUB, proizašli su tehnički zahtevi za projektovanje novog raketnog sistema PVO BUK, koji je usvojen u naoružanje armije SSSR-a 1979, a 1983. godine i modernizovana verzija BUK-M1. To su sistemi koji su po nizu parametara jedinstveni u svetu. U razvoju ovog sistema učestvovalo je oko 40000 stručnjaka i desetine preduzeća. Iskustvo iz primene KUB-a u zaštiti asuanske hidrocentrale u Egiptu pokazalo je da je bolje ako svako lansirno oruđe ima svoj autonomni radar i može da dejstvuje na više ciljeva. Tako je, kao osnovno borbeno sredstvo sistema BUK, razvijeno samohodno vatreno oruđe (SVO). Na samohodnoj šasiji postavljen je lafet, pokretan u azimutalnoj ravni, na kojem su smešteni autonomni radar, televizijsko-optički sistem i lansirno oruđe sa raketama. Radar SVO obezbeđuje otkrivanje ciljeva u sektoru 120° po azimutu i 7° do 8° po elevaciji na daljinama do 100 km. Radar koristi sledeće vrste radarskih signala: kvazikontinualni signal, impulsi signal sa linearnom frekventnom modulacijom, impulsi signal koji se komprimuje na prijemu, linearnofrekventno modulirani signal sa digitalnom selekcijom pokretnih ciljeva, kontinualni i kvazikontinualni signal za obezbeđenje rada glave za samonavođenje rakete. Uvođenje kvazikontinualnog signala u kanal osmatranja omogućilo je praktično potpuno isključivanje uticaja pasivnih smetnji i odraza od nepokretnih objekata na rad radara. Režim linearnofrekventno moduliranog signala, osim povećanja otpornosti na ometanje, obezbeđuje jednoznačno određivanje daljine i brzine cilja. Uvođenje kvazikontinualnog signala u kanal obasjavanja cilja, kao i specifična trajektorija poletanja rakete, omogućili su bitno povećanje zaštite od visokopotencijalnih retranslacionih smetnji u opsegu Doplerovih frekvencija.

SVO je projektovano u savremenoj tehnologiji, što je obezbedilo znatno povećanje njegove pouzdanosti i veća rada. Primena digitalnog računara za obradu informacija kod SVO omogućila je bitno pojednostavljenje rada operatora i smanjenje posluge na tri lica, umesto četiri kod RStON-a. Istovremeno, poboljšani su uslovi rada posluge. Smanjeni su šum i vibracije, ugrađen je sistem za antiradijacionu i protivhemijsku zaštitu i ugrađeni rashladni uređaji.

Elementi BUK-a u modernizaciji KUB-a

Razrađene su dve varijante SVO — SVO 9A38 sa unificiranim lansirnim oruđem, koje koristi tri rakete koje koristi i KUB, ali i tri nove rakete projektovane za BUK i SVO 9A310 koje ima lansirno oruđe sa četiri rakete za BUK. Te rakete, bez obzira na to što imaju veću ubojitost i domet nego rakete sistema KUB, manjih su dimenzija, što je omogućilo da se smesti više raketa.

Pri projektovanju SVO 9A38 polazilo se od mogućnosti njegovog uvođenja u sastav KUB-a. Zbog toga su u njega ugrađeni uređaji za sinhronu vezu i uzajamnu orijentaciju koji se koriste kod samohodnog lansirnog oruđa 2P25 sistema KUB.

Uvođenje SVO u raketni sistem KUB, umesto samohodnog lansirnog oruđa 2P25, opravdano je iz više razloga. Broj vatrenih kanala povećava se za dva puta pri ceni SVO koja čini samo 20 do 30% cene KUB-a, bitno se povećava zaštita od smetnji i zaštita od protivradarskih raketa, a primena novih raketa koje koristi BUK, omogućava dejstvo na više vrsta ciljeva i povećanje zone uništenja. Postoji mogućnost da se, pri samostalnom radu

SVO, ono izvodi na najopasnije pravce, uz definisanu zonu odgovornosti.

Uvođenjem u SVO sistema za raspoznavanje ciljeva na osnovu analize spektra reflektovanog signala, SVO je u stanju da dejstvuje veoma efikasno ne samo na aerodinamičke, nego i više vrsta balističkih ciljeva, kao i helikoptera. Poslednje modifikacije izvedene kod SVO 9A310M1 omogućuju i dejstvo po radio-contrastnim ciljevima na vodi i kopnu. Zona uništenja ciljeva (efektivne refleksne površine veće od 1 m²) SVO raketom sistema BUK je:

— po visini — od 15 m do 22 km (umesto 25 m i 14 km kod KUB-a);

— po daljini — od 3 do 35 km pri brzini od 830 m/s (umesto 4—24 km pri brzini od 600 m/s kod KUB-a).

Sistem KUB-M4

Raketni sistem PVO KUB sa SVO 9A38 prošao je sva neophodna ispitivanja i usvojen je u naoružanje Ruske armije pod oznakom KUB-M4. U principu, u sastav KUB-a mogu se uvesti i dva, tri ili četiri SVO. Međutim, to nije ekonomično sa stanovišta propusne moći RStON-a. Celishodnije je dodati KUB-u, zajedno sa SVO, lansirna oruđa razvijena za BUK. Lansirno oruđe ima 8 raketa, od kojih se četiri nalaze na lansirnom oruđu u potpunosti gotovosti, a četiri u transportnom položaju. Lansirno oruđe ima dizalicu za pretpovar raketa na SVO. Pri radu sa SVO lansirno oruđe ne predstavlja samo dopunsko lansirno oruđe već i rezervni komplet raketa.

Uvođenje SVO u raketni sistem KUB traži male dorade, a novi kvalitet koji mu daje SVO predstavlja ponovno rođenje KUB-a.

S. Pokorni

PERSPEKTIVE RAZVOJA RAKETA VAZDUH — VAZDUH*

Osnovni zadatak lovačke avijacije jeste ostvarenje prevlasti u vazдушnom prostoru, tj. lišavanje protivnika mogućnosti da primeni svoju avijaciju u određenom rejonu i u određenom vremenu. U pokazatelje efikasnosti, koji se koriste za ocenu kvaliteta u rešavanju borbenog zadatka, spadaju: verovatnoća pobeđe suparničkih lovaca u vazдушnom boju jedan na jedan, matematičko očekivanje gubitaka strana u grupnom boju, itd. Ti pokazatelji u znatnoj meri zavise od letno-taktičkih karakteristika (LTK) raketa. Kako raketa predstavlja celinu uništavajućeg sredstva, i dinamičkog sistema koje to sredstvo dovodi do cilja, njene karakteristike moraju da sadrže sposobnost izvršenja manevra i nanošenje zahtevane štete cilju. Zato se kao osnovne LTK smatraju verovatnoća pogađanja cilja i razmere zone moguće primene.

U tabeli su prikazane oblasti uslova primene letećih aparata koji se intenzivno usavršavaju i postaju, kako nosači vođenog raketnog naoružanja, tako i vazdušni ciljevi za protivnika.

Vrsta letilice	Brzina leta (M)	Visina leta (km)
Masovna avijacija	0,35—2,35	
Helikopteri	0—0,3	4
Avioni velikih brzina	do 3	do 25
Hiperzvučni avioni	do 4	do 30
Avioni do 2005. godine	do 6	preko 35

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, juli—avgust, 1998.

Osnovni problemi koji utiču na borbenu efikasnost avio-sistema

Izrada rakete za teškovidljive avione

Osnovne tendencije razvoja raketa ove klase su:

— širenje oblasti primene po strukturi avionosača;

— primena po ciljevima izrađenim na osnovu tehnologije »stelt«;

— smanjenje nivoa sopstvene uočljivosti;

— smanjenje čeonog otpora aviona sa raketama.

Prema raspoloživim podacima, eksperimentalna američka raketa »HEV-DEŠ-2« odgovara navedenim tendencijama razvoja. Visoka eksploataciona univerzalnost rakete (razmeštene unutar tela nosača ili spolja) postiže se na račun asimetrične konfiguracije tela (oblik ravnokrakog trougla) sa ravnom površinom ispod planera.

Raketa HEV-DEŠ-2 je u početku bila namenjena za naoružavanje perspektivnih »stelt« aviona i zamenu raketa AMRAAM (SAD). Asimetrična konfiguracija obezbeđuje raketi:

— razmeštaj kako unutar tela nosača, tako i jednako dobro sa spoljne strane aviona;

— manevrisanje s opterećenjem do 50 jedinica pri obrtajima pod uglom.

Raketa ima sledeće karakteristike:

— startna masa 180 kg;

— čeonni otpor ne veći od 1% od čeonog otpora osnovnog aviona F-15;

— vreme skupljanja i rasklapanja upravljačkih delova — 75 mls.

Pojava rakete HEV-DEŠ-2 navela je ruske proizvođače na kritičku ocenu novih tehničkih rešenja koja su primenjena na toj raketi, a posebno odustajanje od tradicionalne osnosimetrične kompozicije rakete s okruglim telom i tradicionalnih metoda upravljanja u Dekartovom sistemu koordinata.

Odbrana repa aviona-nosača rakete

Ovaj problem je razmatran više puta ali se do sada nije došlo do pravo rešenja. Osnovna prepreka na avionu bila je odsustvo radara za osmatranje unazad. Ipak, ona je danas na nizu savremenih aviona otklonjena.

U principu, moguće su sledeće varijante izrade rakete za odbranu repa:

— raketa ravnog starta (ugao napada pri lansiranju jednak nuli) koja koristi putanju minimalnog radijusa uz zaokret vektora brzine za 180° , tzv. sveusmerenost;

— raketa obratnog starta (ugao napada pri lansiranju iznosi 180°), čija se dopunska brzina stvara na račun rada njenog motora i po predznaku je suprotna brzini nosača, što dovodi do neophodnog prelaza rakete kroz nulu apsolutne brzine.

Izgradnja rakete modularne konstrukcije

Raznovrsnost zahteva koji se postavljaju pred perspektivne rakete, kao i suštinska zavisnost od uslova vazdušnog boja dovodi neminovno do primene modularne konstrukcije koja koristi: zamenljive glave za samonavođenje raznih tipova (radarske-aktivne, polu-aktivne, pasivne, toplotne i dr.), kao i zamenljive motore raznih tipova. Iskustvo korišćenja modularnog principa na raketi R-27 pokazalo se pozitivnim.

Kako navedeno rešenje povećava gipkost konstrukcije i stepen njene adaptacije prema uslovima primene, u tom slučaju se stvara mogućnost upravljanja sastavom borbenog kompleta aviosistema, kako u granicama jednog nosača, tako i za grupu nosača.

Povećanje visine borbene upotrebe

Savremene rakete srednjeg (RSD) i velikog (RVD) dometa sposobne su da obezbede maksimalnu visinu borbene

upotrebe veličine 25 do 30 km, što se smatra dovoljnim. Povećanje te visine u savremenim konstrukcijama raketa susreće se sa aerodinamičkim poteškoćama (ograničenje po raspoloživim opterećenjima), kao i obezbeđenja zahtevane tačnosti navođenja (ograničenja po visini za rakete sa RGS povezane su s pelengacionim greškama).

Danas se pojavljuje neophodnost korišćenja raketa ove klase za uništenje visinskih hiperzvučnih ciljeva, kao i ciljeva tipa balističkih raketa i njihovih bojnih glava. Zato je neophodno povećanje visine primene rakete posmatrane klase iznad 100 km. Rakete koje obezbeđuju takvu visinu moraju biti dvostepene, pri čemu drugi stepen mora koristiti gasnodinamički način stvaranja potisnih sila.

Povećanje dometa

Problem povećanja dometa raketa velikog i supervelikog dometa, u odnosu na do sada postignute domete, povezan je sa usavršavanjem balističke rakete sistema za upravljanje, koji se može obezbediti na račun korišćenja kombinovanih sistema upravljanja sa inerciono-korigovanim, poluaktivnim i aktivnim radarskim samonavođenjem.

Rezultati modelovanja vazdušnog boja lovaca s raketama RVV-AE (Rusija) i AMRAAM pokazuju da prednost aerobalističkih karakteristika raketa stvara i znatnu prednost lovca koji nosi tu raketu (porast verovatnoće pobeđe). Nivo aerobalističkih karakteristika određuje se celokupnim uticajem balističkog koeficijenta i energijom rakete.

Za izgradnju RSD i RVD sa granično visokim aerobalističkim karakteristikama, pri strogim ograničenjima za startnu masu i gabarite, neophodno je koristiti nova tehnička rešenja, kao što su:

— opremanje perspektivnih raketa kombinovanim raketno-pravolinijskim motorima (KRPD);

— izgradnja konstrukcije dvostepenih raketa s odgovarajućim startnim ubrzivačem.

Radovi, koji se odnose na prvo usmerenje, sprovode se i u Rusiji i na Zapadu. Prednost tog tipa motora po specifičnom impulsu nad motorom RDTT omogućava suštinsko povećanje maksimalne balističke daljine leta i lansiranja. Ocene pokazuju da su maksimalni dometi u prednjoj polusferi za raketu sa KRPD 1,5 puta veći nego za raketu sa RDTT.

Povećanje manevarske sposobnosti rakete

Za perspektivne rakete povećani su zahtevi za sposobnost manevarisanja. Tako raspoloživa opterećenja sada iznose 40 do 50 jedinica, a uglovi balansiranja pri napadu veličine 40—45°. Takvo povećanje uglova balansiranja dovodi do nepovoljnog uticaja nelinejskih aerodinamičkih karakteristika rakete i unakrsnih veza među kanalima, što otežava aerodinamičko projektovanje raketa tog tipa u odnosu na rakete prethodne generacije. Zajedno sa tim, danas su u dovoljnoj meri razrađene i proverene laboratorijske metode kompenzacije navedenih nedostataka.

Algoritamsko obezbeđenje sistema za upravljanje

Sistem za upravljanje (SU) savremenih raketa, počev od raketa četvrte generacije, koristi ugrađene računare, koji im daju nov kvalitet, kao što je: povećanje dometa (do nekoliko stotina km), potpuna ili delimična autonomnost i višekanalnost (mogućnost istovremenog gađanja više ciljeva).

Zajedno sa tim, povećanje dometa iziskuje korišćenje kombinovanih SU, koji na različitim intervalima ko-

riste različite principe navođenja. Danas su poznati SU koji imaju tri režima: inercioni sa korekcijom koju obavlja nosač, poluaktivno samonavođenje, aktivno samonavođenje.

Postojanje dugotrajnog inercionog intervala, koji zahvata 60 do 70% vremena leta rakete zahteva stvaranje visokotačne inercione osnove na telu rakete, koja se realizuje inercionim sistemom upravljanja (ISU). U takvom sistemu ugrađeni računar, koji ulazi u ISU, izvršava funkcije centralnog računara rakete. Uporedo sa njim koriste se računari glave za samonavođenje i računari nosača. Izrada SU na bazi tri računara, koji su primenjeni na nizu raketa četvrte generacije, smatra se danas korisnim.

U vezi sa tim, pošto svaki podsystem SU radi sa različitim davačima (radari nosača, poluaktivni i aktivni kanali glava za samonavođenje), javljaju se problemi u izradi univerzalnog sistema algoritama.

Ocena efektivne površine rasturanja (EPR)

Ocena EPR raketa pojavila se u vezi sa neophodnošću smanjenja njene uočljivosti. Taj problem se javio i pri izradi tradicionalnih raketa. Pri razradi rakete RVV-AZ korišćeni su rešetkasti upravljači, čija je osnovna prednost mala vrednost šarnirnog momenta. Tako se za raketu mase 170 kg može obezbediti šarnirni moment veličine 14,7—19,6 Nm (1,5—2,0 kgm). Osim toga, rešetkasti upravljači se lako sklapaju, što zajedno sa krilom vrlo malog izduženja omogućava mali poprečni gabarit rakete u transportnom položaju. Merenja su pokazala da se u složenom položaju upravljačkih elemenata povećava njihov čeonii otpor, kao i EPR.

Prema urađenim analizama razvoj perspektivnih raketa zahteva usavršavanje pripadajuće aparature u sledećim pravcima:

— uključivanje u SU radio-visinometra, što je posebno važno u sniženju minimalne visine primene;

— razrada višerežimskih glava za samonavođenje u centimetarskim i milimetarskim talasnim područjima, kao i kombinovane GSN sa odbacujućim omotačem;

— razrada antenskih sistema sa niskim nivoom bočnih listića i kros-polarizacija, dvodijapazonskih i komfor-nih nepokretnih antena;

— razrada širokopojasnih, otpornih na toplotu radio-omotača s malim upijanjem i malim pelengacionim greškama;

— stvaranje ugrađenih računara s brzinom rada do 106 op/s;

— stvaranje malogabaritne TGS na bazi matričnog fotoprijemnika sa brzim sistemom hlađenja;

— razrada besplatformskih inercionih sistema na bazi laserskih žiro-metara i akcelerometara povećane tačnosti;

— stvaranje NDC na bazi radarskih i laserskih modula;

— razrada izvora za napajanje i provodnika koji obezbeđuju povećano vreme rada.

Zbog velikog broja uzajamnih veza između rakete i nosača, zadatak objektivne ocene borbene mogućnosti rakete i određivanje optimalnih parametara oblika postao je veoma složen. Za njegovo rešenje neophodan je kompleksan pristup, koji omogućava blagovremeno uzimanje u obzir protivrečnih zahteva i davanje višeg nivoa hijerarhije parametrima sistema.

M. Krbavac

T-90S — NOVA GENERACIJA RUSKIH TENKOVA*

Ruski tenk T-90S izrađen je na osnovu detaljnog izučavanja i osmišljavanja taktike i strategije primene tenkova u realnim uslovima savremenog boja, uvažavajući dugogodišnje iskustvo eksploatacije tenkova T-72 u raznim zemljama sveta, kao i rezultate intenzivnih dugogodišnjih ispitivanja u najsurovijim uslovima.

Tenk T-90S ima, tradicionalno za ruske tenkove, malu masu, male gabarite, moćno naoružanje i visoku pokretljivost. Borbena masa je 46,5 t, a posadu čine tri člana.

Tenk je zadržao karakteristike dosadašnje ruske izrade — klasičnu šemu kompozicije po kojoj je osnovno naoružanje razmešteno u obrtnoj kupoli, motor i transmisiju u zadnjem delu oklopnog tela, a posada odvojeno: komandir i nišandžija u borbenom odeljku a vozač u upravnom odeljku.

Osnovno naoružanje tenka T-90S čini glatkocevni top kalibra 125 mm povećane tačnosti, sa ugrađenim sistemom ratifikacije i brzokidajućom cevi. Top je stabilizovan u dve ravni, a puni se automatskim mehanizmom, pri čemu je u kompletu smešteno 22 projektila.

Primena automata za punjenje omogućava postizanje visoke brzine gađanja (7 do 8 projektila u minuti), po čemu se ovaj tenk ističe. Visok nivo vatrene moći postignut je ugradnjom topa poboljšane balistike, povećane tačnosti i daljine gađanja (uključujući i reaktivne projektele), povećane energije municije i visokih karakteristika sistema za upravljanje vatrom i smanjenja vremena za pripremu prvog opaljenja.

Mogućnosti tenkovskog topa u borbi sa zemaljskim oklopnim i niskotećim ciljevima proširene su prime-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart—april 1998.

nom sistema vođenog oružja, pri čemu se, vođena laserskim snopom, kumulativna raketa dovodi u kanal cevi automatom za punjenje i lansira iz cevi topa.

U borbeni komplet tenka spadaju: protivoklopni potkalibarni, kumulativni i trenutnofugasni projektili sa razdvojenim punjenjem, kao i projektil sa vođenom raketom.



Tenk T-90S

Kao pomoćno oružje koristi sa topom spregnuti mitraljez 7,62 mm i PA mitraljez 12,7 mm zatvorenog tipa.

U tenku je tradicionalno ugrađen dizel motor, čije su osnovne prednosti, u odnosu na gasno-turbinski motor, posebno u uslovima žarke klime i peščanih zemljišta, sledeće:

— neznanat pad snage pri visokim temperaturama okoline;

— mogućnost visokog stepena prečišćavanja vazduha i visoka pouzdanost u uslovima velike prašnjavosti;

— potrošnja goriva manja 1,8 do 2 puta.

Ekonomičan motor tenka T-90S obezbeđuje eksploatacionu brzinu kretanja do 60 km/h i autonomnost do 550 km bez popune gorivom. Praktično, svaki sklop ili sistem poseduju no-

vi kvalitet. To se posebno odnosi na sistem za upravljanje vatrom, koji obezbeđuje efikasnu i preciznu vatru na velikim rastojanjima artiljerijskim projektilima i vođenim projektilom iz cevi topa, iz pokreta i sa mesta, po pokretnim i nepokretnim ciljevima, danju ili noću, kao i iz spregnutog mitraljeza. Sistem obezbeđuje:

— povećanje daljine efikasnog gađanja;

— za komandira — stabilizovano osmatranje, uvećanje vidne daljine i daljine gađanja noću, dvojno upravljanje vatrom, iz topa i mitraljeza;

— za nišandžiju — uvećanje vidne daljine noću, zahvaljujući ugradnji termovizijskog nišana.

Tenk sadrži:

— sistem oružja s laserskim kanalom vođenja. On omogućava otvaranje vatre vođenom raketom kroz cev topa iz mesta i pokreta, po nepokretnim i pokretnim ciljevima na rastojanjima od 100 do 5000 m, uništenje savremenih tenkova mnogo ranije nego što se oni približe na rastojanja efikasnog dejstva vatrom iz sopstvenog oružja;

— optičko-elektronski sistem za neutralisanje, koji obezbeđuje zaštitu tenka od uništenja protivničkim vođenim projektilima s poluautomatskim sistemom navođenja;

— sistem automatskog kružnog osmatranja, otkrivanja i zaštite tenka od protivničkih projektila, vođenih laserski samonavođenim glavama. On obezbeđuje automatsko stvaranje smetnji sistemima za upravljanje protivtenkovskim sredstvima sa laserskim daljinomerima i pokazivačima cilja;

— zatvoreni PA mitraljez, koji komandiru omogućava da otvara preciznu vatru po vazдушnim ciljevima, korišćenjem komandi za daljinsko upravljanje, a u stabilizovanom režimu i po zemaljskim ciljevima, ostajući pri tome pod sigurnom zaštitom oklopa;

— ugrađenu dinamičku zaštitu, efikasnu protiv protivoklopnih potkalibarnih i kumulativnih projektila. Ugrađena dinamička zaštita i višeslojni oklop daju tenku dodatne mogućnosti opstanka u ekstremnim borbenim uslovima;

— turbo-dizel motor snage 736 kW (1000 KS) koji je znatno povećao karakteristike pokretljivosti i manevarske sposobnosti tenka na bojištu;

— uređaj za kondicioniranje vazduha, koji obezbeđuje povoljne mikroklimatske uslove za posadu.

Realizacija niza konstrukcionih zahvata i mera uz primenu savremenih tehnologija stvorila je nove mogućnosti za vođenje efikasnih borbenih dejstava, povećala eksploatacionu pouzdanost i manevarsku sposobnost i omogućila da se postigne kompleksno povećanje borbenih i tehničkih karakteristika za 1,5 puta u odnosu na poznati tenk T-72S.

Bez obzira na ugradnju agregata i sistema koji povećavaju borbene i eksploatacione pokazatelje tenku T-90S, njegovi gabariti su ostali približno isti kao i na tenku T-72S. Masa se povećala samo za 2 t, ali i dalje je manja za 8,1 do 8,7 t od mase tenkova LEKLERK i LEOPARD-2, za 10,7 t od tenka M1A1 ABRAMS i za 16 t od ČE-LENDŽERA.

Na tenku T-90S realizovani su:

— automatski sistem zaštite posade od oružja za masovno uništenje;

— mere za protivminsku zaštitu;

— automatski brzodejstvujući sistem za gašenje požara;

— sredstva veze nove generacije;

— kompleks konstrukcionih i tehnoloških mera koje umanjuju verovatnoću otkrivanja i uništenja tenka.

Visoki nivo borbenih svojstava tenka doveo je do uslozavanja njegove konstrukcije. Reklo bi se, da će to neminovno izazvati dodatne teškoće u eksploataciji, povećanju vremena pri-

preme tenka za borbu i potrebu korišćenja dodatne opreme. Međutim, to je izbegnuto zahvaljujući primeni niza originalnih konstrukcionih rešenja.

Za tenk T-90S karakteristični su:

— optimalna prilagođenost za vođenje borbenih dejstava u ekstremnim situacijama;

— izuzetna pouzdanost svih sklopova i agregata, mehanizama i kompleta;

— odlična pokretljivost i manevarska sposobnost, bez obzira na uslove na putu, uključujući i veliku prašnjavost.

Tenk T-90S može savladivati vodenu prepreku dubine do 5 m uz nastavak borbenih dejstava posle savlađivanja bez zaustavljanja.

Bez pripreme može savladivati:

— vodene prepreke dubine do 1,2 m;

— rov širine do 2,8 m;

— vertikalni zid do 0,8 m;

— uspone i nagibe do 30°.

Tenk T-90S ima ugrađenu opremu za samoukopavanje, vešanje delova za razminiranje i može se transportovati svim vidovima transporta. Efikasnost upotrebe tenka T-90S znatno se povećava uz sadejstvo sa visokomanevarskim oklopnim vozilima inžinjerijskog i tehničkog obezbeđenja.

Planiranje operacija, obuka ličnog sastava i eksploatacija suštinski se pojednostavljuju ukoliko vozila imaju jedinstvenu bazu. GPO »Uralvagonzavod« stvorio je familiju inžinjerijskih vozila na bazi tenka T-90S koja su sačuvala pokretljivost, pouzdanost i visoke karakteristike zaštite posade baznog tenka, što omogućava njihovo korišćenje bez ikakvih ograničenja u sastavu tenkovskih jedinica. Tu spadaju: višenamensko oklopno remontno-evakuaciono vozilo BREM-1, inžinjerijsko vozilo za rušenje IMR-2MA i oklopno gusenično vozilo MTU-72, namenjeno za transport i postavljanje mosta.

Jedinstvena baza borbenog tenka i vozila obezbeđenja, jednake eksploatacione mogućnosti, jedinstven sistem veze i sistem tehničkog održavanja i remonta, čemu teže sve armije, vrlo je efikasno rešeno. Tome je, svakako, doprinelo gotovo pedesetogodišnje iskustvo firme koja je proizvodila i radila na logističkoj podršci tenkova T-54, T-55, T-62, T-72 i pratećih inženjerskih mašina izrađenih na njihovoj osnovi.

M. Krbavac

S-37 BERKUT — PRODOR KA SAVRŠENSTVU*

Objavljeno je da je u Rusiji izrađen avion S-37 BERKUT, kao višenamenski lovac pete generacije, koji sledjuje osobine nadzvučnog, supermanevarskog letećeg aparata, nevidljivog za radare i IC uređaje.

Tekuće poteškoće u ekonomici Rusije pokazuju uzdržan uticaj u razvoju industrije, pre svega u oblasti visokih tehnologija. Ipak, potencijalne mogućnosti avioindustrije, izgrađene poslednjih desetak godina, omogućavaju da Rusija i dalje bude jedna od vodećih država u svetu u toj oblasti. Tako je, na primer, Konstruktorski biro Suhoj, razradio principijelno nov avion S-37, koji je svoj prvi let izveo 25. septembra 1997. godine.

S-37 je pokazno-eksperimentalni avion, namenjen za proveru novih tehničkih rešenja u oblasti aerodinamike, sistema upravljanja letom i dinamike kretanja letećih aparata. Osnovna osobenost mu je korišćenje obratne strele (KOS), ili prema zapadnim

izvorima FSW (forward-swept wing) u konstrukciono-aerodinamičkoj šemi krila. Ovaj izbor je logički produžetak dugotrajnog ciklusa rada konstruktor-skog biroa na traženju tehničkih puteva za povećanje aerodinamičkog savršenstva, pre svega u domenu manevarskih sposobnosti aviona.

Koncepcija aviona sa krilima oblika obratne strele poznata je još iz četrdesetih godina. Opitni primerak bombardera »JUNKERS« JU-287 izrađen je u Nemačkoj 1944, a prvi let je izvršio februara 1945. godine. U SAD su razrađeni projekti dva lovca — »NORTH AMERICAN« RD-1410 (1946) i »CONVER« XB-53 (1948). Administrativni avion HFB-300 »HANSA« (1963) i avion za trenaz RFB »DENTREINER« izrađeni su u SR Nemačkoj.

Najbolji rezultati u istraživanju mogućnosti aviona sa KOS dobijeni su u SAD u procesu stvaranja i ispitivanja leta eksperimentalnog aviona X-29A firme »Grumman«. U toku ispitivanja koja su sprovedena od 1984. do 1989. godine na dva aviona izvršeno je nekoliko stotina letova, postignuta je brzina od 1,6 Maha, visina leta preko 15000 m i opterećenje 6,4 g. Eksperimenti su prekinuti zbog toga što se smatralo da nisu rešeni problemi divergencije. Opasnost te pojave sastoji se u mogućnosti nedopustive mehaničke deformacije krila pri vertikalnim brzinama leta.

Razrada eksperimentalnog aviona S-37 zasnivala se na umešnom korišćenju iskustava u svetskoj aviogradnji pri izradi aviona s KOS i širokoj primeni perspektivnih tehnologija u oblasti aerodinamike, sistema upravljanja i konstrukcionih materijala. Njegove potencijalne prednosti, u odnosu na avione sa krilima oblika prave strele, uslovljene su višim nosećim sposobnostima KOS na račun boljeg opticaja vazдушnih struja i manjeg aerodinamičkog otpora, posebno na transzvučnim brzinama leta. To omogućava

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj—jun, 1998.

va da se postignu najbolja upravljivost aviona na malim visinama, dobre protivleđne karakteristike, smanji brzina obrušavanja, prizemljenja i uveća daljina leta.

Cilj letnih ispitivanja S-37 je praktična potvrda očekivanih prednosti aviona s KOS radi mogućnosti njihovog korišćenja na novim borbenim avionima. Po dobijanju pozitivnih rezultata leta, navedene prednosti, uz ranije postignuta tehnička rešenja na avionima tipa Su-27 (otklanajući vektor vuče motora, integralni sistem upravljanja avionom i motorom i dr.), znatno će proširiti prostorno-vremenske dijapozone manevrisanja i suštinski pojednostaviti pilotiranje avionom. Tada, takve »egzotične« figure više pilotaže, kao »kobra Pugačova« ili »čakra Frolova« mogu postati važan element borbene pripreme ratnih pilota.

Dostignute manevarske mogućnosti aviona S-37 takođe mogu demonstrirati granične režime prostornog kretanja letećeg aparata, u kojima treba obezbediti efikasno rešenje funkcionalnih zadataka ugrađene opreme i naoružanja perspektivnih borbenih aviona. Drugi pozitivan faktor u stvaranju ovog eksperimentalnog aviona jeste što se stvaraju povoljni uslovi za razvoj perspektivnih materijala velike čvrstoće i tvrdoće, uz minimalne težinske gubitke. Treba naglasiti da je ovaj avion projektovan korišćenjem elemenata »stelt« tehnologije.

Krilo oblika obratne strele znatno je manje primetno za radare protivnika pri njihovom ozračivanju s prednje strane. Smanjenje efektivne odražavajuće površine obezbeđuje se i širokom primenom kompozitnih materijala.

Sada su na S-37 ugrađena dva dvo-konturna turboreaktivna motora D-30F6. Planira se da se oni zamene motorima nove generacije. Nema sumnje, do izvršenja programa probnih ispitivanja eksperimentalnog aviona S-37 i njegovog dovođenja u stanje koje zahteva ratno vazduhoplovstvo, biće dug i složen put.

Uvažavajući dosadašnja naučno-tehnička dostignuća i svetska iskustva u izgradnji aviona slične aerodinamičke kompozicije, današnji nivo finansiranja vojnih zahteva, kao i tehnički i ekonomski rizik, ne može se očekivati ubrzano izvršenje radova na ovom projektu.

Ipak, već je jasno da izgradnja Suhovljevog aviona S-37, koji nesumnjivo ima značajne potencijale za dalji razvoj, ima i ogromni tehnološki, vojni i politički značaj u borbi za prestiž u izgradnji borbenih aviona između zapadnih zemalja i Rusije, i omogućilo bi Rusiji da znatno učvrsti svoje pozicije na svetskom tržištu naoružanja.

M. Krbavac

NOVI PREDLOZI ZA MODERNIZACIJU AVIONA MiG-23*

Trenutno se u Rusiji sprovodi novi ciklus modernizacije aviona MiG-23, koju realizuje grupacija firmi »MIG«, »Ruska avionika« i »Rusko naoružanje«.

Danas 26 država sveta koristi više od 1500 aviona MiG-23. Više od polovine su lovci MiG-23ML, MiG-23MLD, MiG-23MF, MiG-23MS; trećina ih je tipa lovac-bombarder MiG-23BN, a ostali su školsko-borbeni avioni MiG-23UB.

Za većinu ratnih vazduhoplovstava tih zemalja MiG-23 je osnovni tip borbenog aviona, sa potpuno obučanim letaćkim i tehničkim sastavom. Zadovoljavaju ih letno-tehničke kara-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj-jun, 1998.

teristike ovog aviona, kao što su brzina, visina i daljina leta, raspoloživa opterećenja, uglovi napada, ubrzanja, poletno-sletne karakteristike i dr. Po veku trajanja i resursnog leta oni se mogu eksploatirati do 2010—2015. godine. Istovremeno, njihovo naoružanje i avionika, projektovani pre više od 20 godina na bazi analogne tehnike, inferiorni su u odnosu na savremene tipove aviona.

Uvažavajući mnogobrojna naučno-tehnička dostignuća, ostvarena u razvoju savremenih tipova naoružanja i opreme aviona, kao što je slučaj kod MiG-29SMT, MiG-AT, MiG-21-93, opravdano je povećana pažnja za modernizaciju kao mogućnost značajnog povećanja borbene efikasnosti postojeće aviotehnike, uz znatno manje troškove za njenu realizaciju nego za kupovinu novih aviona, obuku letačkog i tehničkog sastava i stvaranje nove odgovarajuće infrastrukture.

Razni operativni zahtevi, političke doktrine, finansijske mogućnosti, postojanje nekoliko modifikacija aviona koji se razlikuju po tipu radara, motora, zalihama goriva, itd., traže novi pristup u organizaciji procesa modernizacije. Najracionalnije je da se predoči nekoliko osnovnih varijanti modernizacije, koje su već urađene na drugim avionima, zajedno sa predlozima tehnologija primenjenih na drugim tipovima aviona MiG. Na osnovu predloga, baznih modela, pregleda opcija, može se izabrati optimalna varijanta modernizacije.

Pri tome je najvažnije predložiti kompleksno izvršenje remontnih zahvata, isporuku rezervnih delova i potrošnog materijala, uticaj infrastrukture i logistike, kao i nove organizacione forme, kao što su zajednička preduzeća.

Predlaže se 5 paketa modernizacije koji uključuju:

— novo naoružanje, arhitekturu sistema, nišanske sprave i sisteme koji ih opslužuju;

— modernizaciju planera i avionskih sistema;

— novu avioniku;

— unificirane sisteme logistike;

— zapadnu avioniku i oružje;

— razradu baznih varijanti i predlog po opcijama;

— realizaciju principa »rastegnute« modernizacije (etapnog dokompletiranja aviona avionikom, naoružanjem, kontejnerima sa aparaturom).

Kao bazne varijante usvojene su sledeće:

1. *MiG-23-98-1*, višefunkcionalni taktički lovac sa radikalno uvećanom borbenom efikasnošću, što povećava mogućnosti presretanja svih vrsta ciljeva u vazдушnom prostoru, otkrivanja i uništenja brodova, malih zemaljskih ciljeva i ciljeva sa radiozračenjem.

Na avion se postavljaju:

— ugrađeni automatizovani sistem »JADRO« koji se sastoji od računara MVK, ILS, dva višefunkcionalna kolor-displeja, dve višenamenske komandne table i sistema za video registraciju;

— višefunkcionalni radar sa daljnom otkrivanja ciljeva tipa »LOVAC« od 90 do 100 km;

— savremeno vođeno oružje (rakeete »vazduh—vazduh« RVV-AE, R-27R, R-27E, T; »vazduh—površina« X-25ML, X-29L, T, TD, X-31A, P; avio-bombe KAB-500L, RL);

— novi sistemi upravljanja, NSC, INS/KNS, SVS, radio-visinomer;

— nova sredstva radioprotivdejsva.

Kao osnovne opcije predlažu se:

— smanjenje uočljivosti;

— postavljanje KOLS (sa aviona MiG-29);

— primena raznovrsnih kontejnera kojima se šire taktičke mogućnosti aviona;

— popuna gorivom u vazдушnom prostoru;

— povećanje borbene izdržljivosti;

— dopunski sistem avionike.

Modifikacija u MiG-23-98-1 može se primeniti za sve tipove lovaca i presretača na bazi MiG-23.

2. *MiG-23-98-2*, taktički lovac s povećanom borbenom efikasnošću u borbi sa ciljevima u vazдушnom prostoru.

Na avion se ugrađuju:

— modernizovani radari SAFIR-23 i sistem automatskog upravljanja koji obezbeđuju primenu, pored formacijskog naoružanja, raketa »vazduh—vazduh« — R-73E; — R-73E;

— novi inercijalni sistem sa korekcijom od KNS;

— nova sredstva za radioprotivdejstva.

Kao osnovne opcije predlažu se:

— smanjenje uočljivosti;

— ugradnja NSC;

— kontejneri sa stanicom za aktivne radio-smetnje ili aparaturom za radio-izviđanje;

— popuna gorivom u vazдушnom prostoru;

— novi sistem avionike.

Modernizacija aviona MiG-23-98-2 može se primeniti na svim avionima MiG-23 koji su opremljeni radarskim uređajem SAFIR-23.

3. *MiG-23B-98*, udarni avion, čija borbena efikasnost po vazдушnim i zemaljskim ciljevima raste za 2,3 do 2,64 puta.

Na avion se ugrađuju:

— automatizovani sistem upravljanja i dijaloga sa pilotom (računarski sistem MVK sa korekcijom od KNS, višefunkcionalni kolor displej, višefunkcionalne komandne table), koji obezbeđuju vezu po MK10 (standard MIL 1553V);

— vođenje, koje omogućava realizaciju koncepcije HOTAS;

— nova stanica za obaveštenje o zračenju;

— novi SAU (sa aviona tipa MiG-27M).

Kao dopuna formacijskom naoružanju uvode se nove vrste nevođenih raketa S-8, S-13, S-25, kao i vođene rakete »vazduh—vazduh« R-73E; »vazduh—površina« X-29T, L i X-31P, A i vođene aviobombe KAB-500 KR, L.

Kao osnovne opcije predlažu se:

— smanjenje uočljivosti;

— ugradnja NSC, savremenih stanica za aktivne smetnje i sistema avionike;

— popuna goriva u vazдушnom prostoru;

— povećanje borbene izdržljivosti;

— postavljanje kontejnera sa: optičko-elektronskim celodnevnom sistemom za otkrivanje cilja, oružja sa laserskom glavom za samonavođenje i navigaciju, višefunkcionalnim radarom, aparaturama za pokazivanje cilja raketama »vazduh—radar« i izviđanje. Kao MiG-23B-98 mogu se doraditi svi avioni tipa MiG-23BN.

Avioni MiG-23-98-1 pri dejstvu po vazдушnim i zemaljskim ciljevima, po borbenoj efikasnosti praktično neće zaostajati za avionima IV generacije, a MiG-23-98-2 će im biti dostojan suparnik u vazдушnom boju.

Školsko-borbene varijante su proizvodi baznih lovaca. Treba napomenuti da su predlozi za modernizaciju umnogome opšti za sve varijante familije aviona MiG-23, pa se kao zaključak može istaći:

— sve varijante i pravci modernizacije zasnivaju se na elementima koji se već proizvode ili na onima koji prolaze sertifikaciju na drugim tipovima aviona MiG. Otuda niska cena, kratki rokovi izvršenja i minimalan stepen tehničkog rizika;

— grupacija »MIG« i »Ruska avionika« danas projektuju i izrađuju znatan deo avionike (računari, displeji, višefunkcionalne komandne table, uređaji veze, itd.), što smanjuje cenu i skraćuje rokove isporuke;

— samo je firma »MIG«, kao projektant i proizvođač aviona, sposobna da izvrši kompleksne radove koji uključuju razradu dokumentacije, doradu konstrukcije, remont, produženje rokova upotrebe i resursa i garantovati bezbednost eksploatacije modernizovanog aviona u granicama utvrđenog roka i ograničenja.

M. Krbavac

VIŠENAMENSKO VOĐENO ORUŽJE MALIH BRODOVA VIHOR*

U brodograđevinskim programima mnogih država posebna pažnja se poklanja manevarskim čamcima, namenjenim za odbranu teritorijalnih voda i ekonomskih zona, kao i učešća u patrolnim i borbenim operacijama.

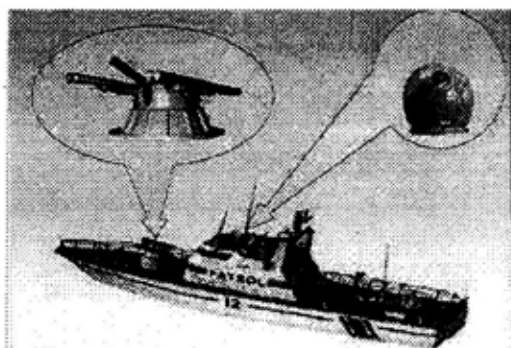
Danas se na patrolnim čamcima kao naoružanje koriste topovi kalibra 20, 30, 40 mm i mitraljezi kalibra 7,62 mm i 12,7 mm koji ne odgovaraju savremenim zahtevima zbog male efikasnosti na daljinama većim od 2000 m.

Analiza borbene upotrebe čamaca, karakteristika vatrenih sredstava površinskih, obalskih i borbenih objekata u vazдушnom prostoru, pokazala je da je neophodno pojačanje naoružanja čamaca radi širenja kruga rešavanja zadataka pri odbrani teritorijalnih voda, provođenju patrolno-polijskih zadataka i carinskih operacija, obezbe-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, jul—avgust, 1998.

denja efikasne samoodbrane i učešća u borbenim operacijama.

Sazrela je potreba opremanja čamaca višenamenskim preciznim raketnim naoružanjem, čiji dosadašnji rezultati u razvoju dozvoljavaju znatno povećanje njihove borbene efikasnosti.



Razmeštaj sistema VIHOR na patrolnom čamcu

Izbor vođenog raketnog naoružanja za male brodove izvršen je na osnovu upoređivanja tehničkih karakteristika postojećih sistema. Posebno mesto među njima zauzima sistem vođenog oružja VIHOR, koji je razvijan za ruski borbeni helikopter Ka-50, i koji danas ima najveću borbenu efikasnost među helikopterima slične klase. Sistem VIHOR u najvećoj meri zadovoljava postavljene zahteve u naoružanju borbenih čamaca.

Modularni princip izrade sistema i njihova autonomnost omogućavaju obezbeđenje raznih varijanti razmeštaja na čamcu u zavisnosti od njegove klase i namene. Za male čamce predložena je varijanta sistema koji ima:

— vođenu višenamensku raketu VIHOR;

— sistem za upravljanje vatrom (SUV);

— artiljerijsko oruđe AK-306 ili AK-630, dorađeno za smeštaj rakete VIHOR.

Sistem se konstrukciono sastoji od:

— četiri transportno-lansirna kontejnera s vođenim raketama VIHOR, razmeštenim na AK-306 ili AK-630;

— dva lansirna uređaja;

— dorađeno raketno-artiljerijsko oruđe AK-306 ili AK-630;

— celodnevni automatski sistem za upravljanje vatrom;

— davača informacija o uslovima gađanja;

— izvora napajanja;

— kompleta za elektromontažu.

Stabilizovani dnevno-noćni nišan — pribor za navođenje SUV, smešten je na pokretnom obodu i obezbeđuje širok dijapazon uglova pretraživanja i praćenja ciljeva. Drugi elementi SUV (računar, automat za praćenje ciljeva, pult upravljanja SUV s kompleksom naoružanja i uređajem za osmatranje) razmešteni su unutar kabine.

Neophodnost opremanja čamaca raketno-artiljerijskim naoružanjem zasnovana je nizom kriterijuma: verovatnoćom pogađanja i uništenja tipskih ciljeva, verovatnoćom izvršenja borbenog zadatka u sukobu koji uvažava odnos efikasnosti i cene.

Brojčane vrednosti kriterijuma određene su prema rezultatima modelovanja procesa gađanja i borbenog duela čamca sa ciljem. Kao polazni podaci usvojene su sumarne greške pogađanja cilja i karakteristike uništavajućeg dejstva municije.

Za tipične ciljeve usvojeni su:

— nadvodni mali čamac, naoružan automatskim topom 40 mm ili, kao varijanta, brzometnim topom 76 mm;

— vazdušni helikopter obalskog ili morskog baziranja, naoružan vođenim raketama dometa do 6000 m sa

kumulativno-parčadno-fugasnom bojom glavom tipa HELLFIRE;

— obalski tenk tipa M1—A1 i BMP M2.

Proračunom je dobijen porast efikasnosti čamca od 4,1 do 5,7 puta.

Izabrana varijanta razmeštaja transportno-lansirnog kontejnera s vođenom raketom VIHOR na raketno-artiljerijskom oruđu AK-306 ili AK-630, obezbeđuje veliku kompaktnost sistema, dovoljnu za primenu vođenih raketa sa dijapazonom uglova navođenja od -4° do $+38^{\circ}$ u vertikalnoj ravni i $+180^{\circ}$ u horizontalnoj ravni. Pri tome, tehničke karakteristike oruđa AK-306 posle njegove dorade se ne pogoršavaju pri borbenoj upotrebi AO—18L.

Precizni sistem po svom tehničkom nivou nadmašuje slične u svetu. Znatno viša cena izvršenja borbenog zadatka sistemom HELLFIRE uslovljena je, u osnovi, za 1,5 puta manjom maksimalnom brzinom leta rakete u odnosu na raketu VIHOR. Sistem se zasniva na perspektivnim tehničkim rešenjima, primenjenim u vođenom oružju VIHOR, automatskom SUV, a takođe, automatskim topom AO—18L u sklopu artiljerijskog oruđa AK-306, koji se proizvode serijski. Njihova visoka borbeno i eksploataciona svojstva potvrđena su u toku opitovanja i vojnih vežbi.

Specifičnost sistema je autonomnost i modularni način izrade svih elemenata, što omogućava lakoću razmeštaja na bilo kom čamcu bez suštinskih dorada, u kratkom roku i malim finansijskim izdacima.

Čamci koji se nalaze u eksploataciji i opremljeni su artiljerijskim oruđem AK-306 mogu se dokompletirati sistemom VIHOR uz znatno manje izdatke, nego pri opremanju takvih čamaca novim sistemima naoružanja.

M. Krbavac



tehničke novosti i zanimljivosti

KONVENCIONALNE BOJNE GLAVE ZA PROBIJANJE EKSTREMNO UTVRĐENIH CILJEVA*

Laboratorija za istraživanje RV SAD se nada da će obezbediti potrebna sredstva za demonstraciju tehnologije za uništavanje duboko ukopanih ciljeva uz pomoć interkontinentalnih balističkih raketa koje bi nosile konvencionalne umesto nuklearnih bojnih glava.

Sadašnja probojna oružja imaju maksimalnu brzinu pri udaru u cilj oko 820 m/s. Navedena laboratorija planira da kombinuje znatno veće brzine od 1200 do 1800 m/s sa tačnošću manjom od 10 m (verovatni krug greške).

Prema mišljenju laboratorije, ključ za postizanje navedenih karakteristika je u uzimanju u obzir (korigovanju) podataka o vođenju nakon što jedan stepen rakete ponovo uđe u atmosferu i izroni iz pregrejane plazme koja se razvija zbog vazdušnog trenja. U tom trenutku taj stepen rakete može da počne da prima signale sa navigacionog sistema kao što je globalni pozicioni sistem (GPS).

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 4/1998.

Laboratorija je vrlo zainteresovana i za uslove koje moraju da ispune prijemnici GPS koji moraju da budu otporni na ometanje, da rade i pri orbitalnim brzinama, kao i u okolini u koju su upućene interkontinentalne rakete.

Dodatni napor moraju se usmeriti na: razvoj novih materijala za oplatu raketa koji moraju biti otporni na ablaciju (ljuštenje); razvoj sistema za upravljanje toplotom pogodan za stepen rakete koji treba da usporava, manevriše i klizi kroz atmosferu; usavršavanje inteligentnih upaljača za velike brzine; izbor tolerantnih eksploziva koji će moći da podnesu sve ekstremno teške uslove rada i razvoj ekstremno tvrdih metalnih penetratora.

Na osnovu ovih zahteva Centar za svemirske i raketne sisteme RV SAD proučava i modifikaciju verzije Mk 11C, u okviru Programa konvencionalnih balističkih raketa, koji predstavlja deo još većeg Programa protivproliferacione inicijative.

Centar za svemirske i raketne sisteme radi u saradnji sa firmom TEXTRON SYSTEMS i već u junu 1999. godine trebalo bi da isporuči prvi uzorak, drugi u avgustu iste godine, a ostala dva u septembru 2000. godine.

M. S.

KONCEPT »VAZDUŠNOG MANEVRA« BRITANSKE VOJSKE*

Britanska kopnena vojska intenzivno radi na novoj doktrini upotrebe jurišnog helikoptera VAH-64D APAC. Osnovna karakteristika ove doktrine je degradacija uloge tenka kao ključnog faktora dosadašnjih kopnenih operacija u borbenim dejstvima visokog intenziteta. U vezi sa tim, Britanci su najavili svoj koncept »vazdušnog manevra« koji definišu kao integraciju kopnenih i vazdušnih resursa radi ostvarivanja odlučujuće prevlasti u kopnenim operacijama. Konceptijski gledano, ishod, metode i sredstva su isti kao i u kopnom manevru (održavanje stalnog prisustva, stalno održavanje pretnje, vatra i manevar, sadejstvo svih oružja, odgovor manevrom na manevar protivnika i sl.). Međutim, korišćenjem mogućnosti helikoptera (obaveštajne, osmatračke, izviđačke, prikupljanje podataka o cilju, vatrena moć, brzina, domet, dolet i manevrabilnost), uključujući nezavisnost od zemaljskih komunikacionih linija, vazdušni manevar može da obezbedi novu dimenziju tempa u razbijanju kohezije protivničkih snaga.

Nova doktrina obezbeđuje korišćenje novih karakteristika helikoptera WAH-64D APAC koji se od ranijih verzija razlikuje u posedovanju sistema za upravljanje vatrom LONGBOW i osmatračkog radara koji obezbeđuje nove mogućnosti u prikupljanju podataka. Helikopteri treba da preuzmu dominantnu ulogu koju su do sada imali tenkovi, od kojih se ponekad zahteva podrška.

Međutim, realizacija nekog plana često podrazumeva više problema nego što sam plan može da ih predvidi. Kada 2000. godine ovaj helikopter bude uveden u operativnu upotrebu biće u mogućnosti da razmenjuje digi-

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 3/1998.

talne podatke samo sa drugim helikopterima ovog tipa, zbog razlike u formatima podataka koji se koriste u borbenim sistemima različitih generacija. Tako, na primer, artiljerijske jedinice američke vojske još uvek koriste formate podataka sistema TACFIRE, zbog prirode komunikacija koja je prilagođena sadašnjim potrebama koje postavlja taj sistem. Takođe, jasno je da još uvek postoje brojna nerešena pitanja vezana za prava na intelektualnu svojinu i pitanja kompatibilnosti konstrukcija na planu rezolucije u slučaju ako se APAC bude opremao laserskim nišanskim sistemom koji bi mu omogućio izvođenje obuke u manevrisanju u realnim uslovima po principu »snagom na snagu«, uz učešće britanskih zemaljskih borbenih sistema.

Pored toga, iskustva holandske vojske sa helikopterom verzije AH-64A ukazuju da karakteristike sistema za IC osmatranje (koji obuhvata sistem za akviziciju podataka o cilju, obeleživač cilja i pilotski senzor za noćno osmatranje) nisu optimalne za blisku borbu. Ona ukazuje da je ovaj sistem znatno efikasniji u operacijama na većoj dubini i da će za uspešnu borbu i dalje biti potrebni i nezamenljivi tenkovi.

M. Š.

USAVRŠAVANJE TAKTIČKE KOMUNIKACIONE MREŽE KoV*

Direkcija za snabdevanje i opremanje Francuskog ministarstva odbrane sklopila je sa firmom Thomson-CSF Communications ugovor vredan 1,9 milijardi FFr ili 290 miliona USD za

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 4/1998.

proizvodnju taktičke komunikacione mreže za kopnenu vojsku pod imenom RITA Valorise. Ova mreža imaće nekoliko proširenja mogućnosti, uključujući i asinhroni mod za prenos podataka u preklopničkoj tehnici, usvajanje NATO i komercijalnih standarda koji će omogućiti proširenje interoperabilnosti i korišćenje komercijalnih terminala.

RITA je poznata i našoj stručnoj javnosti, jer je svojevremeno (pre 15 godina) u svojoj prvoj verziji razvoja bila ponuđena na prodaju našoj zemlji (JNA), koja ju je odbacila i odlučila se za sopstveni razvoj mreže pod nazivom DISK (Digitalni integrisani sistem komunikacija) koja do danas nije razvijena.

M. S.

SMANJIVANJE CENE NOĆNIH NIŠANA*

RAYTHEON SYSTEMS COMPANY i američka vojska utrošiće oko 24 miliona dolara u naredne tri godine na poboljšanja koja će smanjiti cenu nehladenih termovizijskih senzora za vojne i komercijalne potrebe.

Navedena firma već je isporučila više od 2500 primeraka njihovog noćnog nišana sa IC senzorom čija se cena kretala u rasponu 10000 do 20000 USD po komadu u nekoliko različitih varijanti. Tu su uračunate mobilne i stacionarne termovizijske komere serije 200, prenosne kamere PalmIR, noćni nišan za pušku W1000, kao i pojačivač svetlosti za vozače AN/VAS-5 koji američka vojska prilagođava i ugrađuje na veliki broj različitih tipova vozila.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 4/1998.

Prestižno mesto u ovom području firma RAYTHEON je izborila u periodu od 1995. do 1997. godine razvojem i poboljšanjima u okviru Programa za reinvestiranje u tehnologiju (Technology Reinvestment Program) koji je prethodio sada aktuelnom Programu razvoja uređaja dvostruke namene (Dual-Use Applications Program).

U narednom periodu kompanija će dokazati redukciju troškova poboljšanjem IC optike u talasnom području 8 do 12 μm , feroelektričnih monolitnih detektora i demonstracijom primene tehnologije nehladenih IC detektora u glavi za samonavođenje protivtenkovske rakete JAVELIN i drugih prototipova novih oružja.

Na ovom području firma RAYTHEON se nada potencijalnom tržištu za vojne i komercijalne aplikacije na kojem bi mogla da proda 6 miliona nehladenih senzora u narednih 10 godina.

M. S.

USAVRŠAVANJE TERMOVIZIJSKOG SENZORSKOG SISTEMA RM SAD*

Komanda američke ratne mornarice planira nabavku stabilizovanog termovizijskog senzorskog sistema visoke rezolucije (TISS — Thermal Imaging Sensor System) koji treba da nadogradi i poboljša osobine radara i optičkih senzora koji se sada nalaze na nekoliko vrsta ratnih brodova.

Elektrooptička oprema obuhvataće sledeće elemente: dnevno-noćni televizijski senzor, koji radi u talasnom području 600 do 1100 nm, termovizij-

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 4/1998.

ski senzor i laserski merač daljine bezopasan za ljudsko oko (ESLRF — Eyesafe Laser Rangefinder).

Komplet senzora pokrivaće po azimutu ugao od 360° , a po elevaciji uglove od -30° do $+75^\circ$. I televizijski i termovizijski senzori imaju dva vidna polja od $3,5^\circ$ (široko) i $1,75^\circ$ (usko). Osnovni zahtev za termovizijski senzor je rad u jednom bandu širine 3 do 5 μm , uz dodatni zahtev za pokrivanje i drugog banda širine 8 do 12 μm koji bi omogućio rad u dualnom modu. Laserski daljinomer imaće brzinu ponavljanja pulsa od najmanje 1 Hz i životni vek više od milion pulseva.

Termovizijski senzorski sistem će detektovati, identifikovati i pratiti male zemaljske ciljeve i ciljeve koji lete pod malim uglom elevacije, kao što su: plutajuće mine, mali čamci i niskoleteći objekti. Pomoćna namena obuhvata navigaciju noću i u uslovima smanjene vidljivosti, upravljanje brodovima, traženje i spašavanje brodova, operacije pomorskog presretanja, operacije za borbu protiv droge, osmatranje obale, obezbeđenja bezbednosti u lukama i odbrane od pomorskih diverzanata. Maksimalna dozvoljena masa opreme koja se montira na palubi broda ograničena je na 90 kg, a ukupna masa čitave instalacije na 680 kg.

M. S.

DETEKCIJA KRATKIH ULTRAVIOLETNIH TALASA*

Agencija za projekte istraživanja naprednih tehnologija na polju odbrane (DARPA — Defense Advanced Research Projects Agency) Ministarstva odbrane SAD planira da utroši preko

14 miliona dolara u naredne tri godine za istraživanja na polju kratkotalasnih ultravioletnih detektora u okviru Programa za razvoj tehnologija za samozaštitu vozila (VSPT — Vehicle Self-Protection Technology). Agencija planira da u okviru navedenog projekta sklopi nekoliko ugovora za rad na polju grupe tro-nitridnih optoelektronskih materijala i rešetkastih senzora u čvrstom stanju u fokalnoj ravni sa šiljatim odzivom (u obliku pika) koji bi radili u talasnom području od 250 do 300 nanometara (sunčano slepilo) i bili neosetljivi na sunčevo zračenje.

DARPA tvrdi da rad u navedenom talasnom području pruža mogućnost razvoja efikasnog senzora za identifikaciju specifičnog zračenja (signature) cilja koje emituju gasovi na izlazu iz raketnih motora. Na taj način mogli bi se izbeći ili onemogućiti raketni napadi na zemaljska vozila i letelice. Dodatno potencijalno područje primene ove vrste materijala obuhvata registrovanje atmosferskih promena, tajne komunikacije i detekciju hemijskih i bioloških agensa.

Postojeći uređaji koriste fotopojčivače koji su glomazni (masivni), osetljivi na fizička oštećenja i relativno skupi. Korišćenje grupe tro-nitrida moglo bi da rezultira proizvodnjom efikasnijih i pouzdanih detektora koji bi mogli da rade na relativno visokim temperaturama. Prva faza programa koncentrisana je na proizvodnju supstrata sa niskim nivoom škartata i razvoj tehnike epitaksijalnog nanošenja filma visokog kvaliteta. Druga faza treba da, na osnovu rezultata iz prethodne faze, omogući izgradnju i demonstraciju rada rešetkastog senzora u fokalnoj ravni.

M. S.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 4/1998.

RAZVOJ JEDINSTVENE MREŽE ZA UPOZORAVANJE NA OPASNOST I IZVEŠTAVANJE*

Komanda marinskih snaga Vojske SAD ubrzava zahteve za dostavljanje ponuda za realizaciju programa projektovanja i osvajanja proizvodnje jedinstvene mreže za upozoravanje i izveštavanje (JWARN — Joint Warning and Reporting Network) koja treba da integriše nuklearne, biološke i hemijske detektore na bojnopolju u postojeći komandni, upravljački, komunikacioni i obaveštajni sistem (C³I — command, control, communications and intelligence). JWARN treba da obuhvati potrebne softverske pakete i proizvodnju procenjenju na oko 66000 interfejs jedinica.

M. S.

HOMODINSKI PRIJEMNIK*

Firma COLLINS AVIONICS & COMMUNICATIONS DIVISION, iz sastava kompanije ROCKWELL, započela je isporuku homodinskog prijemnika (koji vrši direktnu konverziju) tipa 95S-1A za primenu u komunikacijama i za prisluškivanje, a koji pokriva radio-frekvencije u VLF i UHF području. Prime-na arhitekture sa jednim mikserom i jednim oscilatorom, koji su podešeni na željenu frekvenciju signala, omogućava direktnu konverziju tog signala u osnovno frekventno područje bez prolaska kroz međufrekventne sklopove.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 4/1998.

Ovakvo rešenje omogućeno je zahvaljujući razvoju nove Rokvelove tehnologije za digitalno procesiranje signala koja eliminiše parazitne signale.

M. S.

BEZBEDNA ELEKTRONSKA POŠTA ZA ORUŽANE SNAGE*

Uprava za stabdevanje nemačkog ministarstva odbrane odabrala je Poslovnu jedinicu DORNIER, firme DAIMLER-BENZ AEROSPACE, za snabdevača vojske bezbednim sistemom za prenos poruka, koji će prvenstveno služiti za prenos elektronske pošte (e-mail) između mornaričkih baza stacioniranih na obalama Baltika i Severnog mora. Ovaj sistem treba da zameni postojeće daljinske linkove.

Projekat koji koristi postojeće telekomunikacione mreže i omogućava automatski izlazak iz različitih mreža oružanih snaga nižeg nivoa obuhvata i isporuku servera, personalnih računara i korisničkog softvera. To će omogućiti razmenu elektronskog teksta zajedno sa pridoatom grafikom, tabelama i drugim dokumentima. Predviđena je posebna zaštita od poruka čijim bi se prenosom mogla narušiti bezbednost mreža. Ovaj poduhvat predstavlja inicijalni napor, kao i pilot-projekat koji prethodi sličnim projektima planiranim za kopnenu vojsku i ratno vazduhoplovstvo Nemačke.

M. S.

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 4/1998.

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Redakcija »Vojna knjiga«

Vam preporučuje

781. Zlatomir Grujić:

**AVIJACIJA SRBIJE I JUGOSLAVIJE
1901—1994.**

Cena: 140,00; sa popustom: 98,00 din.

789. Aleksandar Radić:

BORBENI AVIONI
(drugo, izmenjeno i dopunjeno izdanje)

Cena: 60,00 din.

727. Predrag Pejčić:

VOJNI HELIKOPTERI

Cena: 80,00 din.

803. Slavko Tomović:

ISPITIVANJE POUZDANOSTI

Cena: 130,00; sa popustom: 91,00 din.

785. Milivoj Jugin:

KOSMOS OTKRIVA TAJNE

Cena: 450,00; sa popustom: 315,00 din.

740. Petar Radičević:

MINERALNE SIROVINE U RATU I MIRU

Cena: 60,00; sa popustom: 42,00 din.

805. Svetomir Minić i

Živan Arsenić:

**MODELI ODRŽAVANJA TEHNIČKIH
SISTEMA**

Cena: 350,00; sa popustom: 245,00 din.

799. Jovan Matović i

Željko Petrović-Poljak:

**ORUŽJE, ENERGIJA I
TREĆI SVETSKI RAT**

Cena: 160,00; sa popustom: 96,00 din.

800. Radoje Marković:

PEŠAK U SAOBRAĆAJU

Cena: 35,00 din.

783. Boško Antić:

POVRŠINSKI RATNI BRODOVI

Cena: 60,00 din.

778. Boško Antić:

PODMORNICE

Cena: 60,00 din.

800. Artur Demek:

**PREGLED SVETSKE AVIJACIJE
1997—98.**

Cena: 60,00 din.

760. Boško Antić:

SAVREMENI RATNI BRODOVI

Cena: 250,00; sa popustom: 175,00 din.

770. Aleksandar Radić:

**SPECIJALNI, ŠKOLSKI I
TRANSPORTNI AVIONI**

Cena: 60,00 din.

786. Milosav Đorđević i

Stanislav Arsić:

TENKOVI 1945—2005.

Cena: 360,00; sa popustom: 252,00 din.

595. Nikola Vujanović:

**TEORIJA POUZDANOSTI
TEHNIČKIH SISTEMA**

Cena: 50,00; sa popustom: 35,00 din.

NAPOMENA:

Za svaku narudžbu knjiga potrebno je dodatno uplatiti 22,00 dinara za PTT troškove.

NARUDZBENICA

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Beograd, Birčaninova 5

Tel./faks: (011) 645-020

Naručujem knjige pod brojem/komada:

Plaćanje unapred (vrednost naručenih knjiga + PTT troškovi) na žiro račun 40818-637-9-6319. RC Topčider (za VIZ), poziv na broj 963-011. Narudžbenicu i uplatnicu slati na adresu:

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD, Birčaninova 5, 11002 Beograd.

Reklamacije za naručene knjige primamo u roku od 30 dana.

Kupac

Ulica i broj Telefon

Mesto i broj pošte

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, proizvodnju, upotrebu, tehnologiju, metodologiju, organizaciju i stručna, naučna, teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, članak, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći da li se radi o originalnom, naučnom, stručnom radu ili kompilaciji, koji su grafički prilozi originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), i ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, sa jasnim mislima, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u zakonski dozvoljenim mernim jedinicama. Matematičke izraze, koji se ne mogu pisati mašinom, ispisati rukom, pri čemu voditi računa o tačnom pisanju slova grčke azbuke, o velikim i malim slovima, o indeksima i eksponentima. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Ne treba ih lepiti, već samo naznačiti njihovo mesto u tekstu. Crteže treba raditi tušem na paus-papiru. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike — crteža i nazive pozicija na njima.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima VJ.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, titulu, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopis slati na adresu: Redakcija »Vojnotehničkog glasnika«, 11002 Beograd, Birčaninova 5, VE-1.

LEKTOR

Dobriša Miletić, profesor

KORICE

Milijko Milinković

KOREKTOR

Bojana Uzelac

Cena: 15,00 dinara

Tiraž 1300 primeraka

Rešenjem Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, broj 413-00-222/95-0101 od 19. 06. 1995. godine časopis »Vojnotehnički glasnik« je oslobođen plaćanja opšteg poreza na promet proizvoda.

UDC: Jugoslovenski bibliografsko-informacijski institut