

IZDAJE

NIU „VOJSKA“, Birčaninova 5,
Beograd

**ZA IZDAVAČA
NAČELNIK NIU „VOJSKA“**

STANOJE JOVANOVIĆ, pukovnik
(telefoni: 645-786, 29-189 i 29-187)

UREĐIVAČKI ODBOR:

- Pukovnik
dr JUGOSLAV KODZOPELIĆ, dipl. inž.
(predsednik Saveta)
- Pukovnik
MIROSLAV MARTINOVIĆ, dipl. inž.
MT pukovnik
- dr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.
Pukovnik
- dr SINISA BOROVIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika)
- Profesor
dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.
Profesor
- dr ZORAN STOJILJKOVIĆ, dipl. inž.
Pukovnik
- dr NIKOLA VUJANOVIĆ, dipl. inž.
Pukovnik
- dr VOJISLAV ŠORONDA, dipl. inž.
Pukovnik
- mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.
Pukovnik
- mr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.
Pukovnik
- dr MILOŠ COLAKOVIĆ, dipl. inž.
Pukovnik
- Miroslav Čolbašić, dipl. inž.
(sekretar Saveta)
- Pukovnik
MILISAV BRKIĆ, dipl. inž.
Pukovnik
- MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.
Potpukovnik
- mr SAŠA MILUTINOVIC, dipl. inž.
Pukovnik
- mr DRAGOMIR MRDAK, dipl. inž.
Major
- mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.
Major
- RADOSLAV BABIĆ, dipl. inž.

**GLAVNI I ODGOVORNI
UREDNIK**

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

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

Sekretar redakcije
Kešetović Sadika
(tel. 33-323)

**ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK** — BEOGRAD, Birčaninova 5,
Preplate 642-042 i 22-786, žiro-račun: NIU
„VOJSKA“ (za Vojnotehnički glasnik)
40623-649-0-2393 Beograd, Polugodišnja
pretplata: za pojedince — 8,00 dinara.
Rukopisi se ne vraćaju. Štampa: Vojna
štampanja — Beograd, Generala Zda-
nova 40 b.

Vojnotehnički glasnik je 12. decembra
1977. odlikovan Ordenom za vojne zas-
luge sa velikom zvezdom

**STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJE**

**VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK**

6

GODINA XLII • NOVEMBAR—DECEMBAR 1994.

*Čitaocima i saradnicima
čestitamo Novu godinu*

Redakcija časopisa

S A D R Ź A J

Dr Svetomir Minić, ppuk. dipl. inž.	449	Koncepcija i model preventivnog održavanja tehničkih sistema prema stanju sa proverom parametara stanja
Mr Milenko Živaljević, puk. dipl. inž. Mr Milica Kalić, dipl. inž. Mr Goran Pavković, dipl. inž.	464	Pouzdanost sistema za zaustavljanje i automatsko kočenje borbenog aviona i mogućnost određivanja koeficijenta pogoršanja performansi primenom FUZZY logike
Mr Miroslav Stanić, major Mr Zoran Branković, ppuk. dipl. inž.	475	Neke mogućnosti vrednosnog izražavanja produktivnosti u jedinicama i ustanovama Vojske Jugoslavije za održavanje tehničkih sredstava
Mr Ljubiša Tančić, major, dipl. inž.	485	Izbor optimalnih balističkih parametara u fazi projektovanja oruđa
Mr Milovan Unković, dipl. inž.	497	Greške pri merenju mikrotalasne snage
Mr Branko Đedović, major, dipl. inž.	512	Simulacija na računaru elektrohidrauličnog sistema automatskog upravljanja vojnotehničkim objektom nepovoljnih karakteristika
Dragutin Mišević, dipl. inž.	517	Postupak kratkotrajnog nitriranja u mešavini gasova — nikotriranje
Dragan Aleksov, dipl. inž. Vladan Skoković, dipl. inž. Ljiljana Šarenac-Stojanović, dipl. inž. Dejan Prokić, el. tehničar	524	Merni višekanalni uređaj za ispitivanje kvaliteta električnih izvora energije upravljan personalnim računarom sa pasivnim i aktivnim elementima za pražnjenje M/N MVU-16
Mirjana Resanović, dipl. inž. Dr Lazar Vorkapić, dipl. inž. Stanojko Stojković, ppuk. dipl. inž.	527	Tehnoekonomski aspekti remonta niki-kadmijumovih akumulatora
Dr Obrad Šupić, puk. dipl. inž. Čedomir Zmirić, dipl. inž. Nikola Nikolić, dipl. inž.	532	Analiza uzroka i posledica eksplozije vodonika u sklopištu, nastale pri prepunjavanju niki-kadmijumovih akumulatora
Dr Branka Gardinovački, dipl. chem. Biljana Popov, dipl. inž.	538	Pomoćna oprema za podmorničke akumulatorske baterije
Mikloš Varga, dipl. inž.	543	Novi pristup — punjenje olovnih akumulatorskih baterija pomoću sonde
Dr Svetomir Minić, ppuk. dipl. inž.	546	Postavljanje sistema kvaliteta prema zahtevima serije standarda JUS ISO 9000 (Prikaz knjige)

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

- | | | |
|-------------------------|-----|---|
| P. Marjanović | 549 | Savremeni artiljerijski sistemi sa uvećanom dužinom cevi — nastavak |
| P. Marjanović | 558 | Ruski protivoklopni top SPRUT-B 125 mm |
| P. Marjanović | 560 | Terensko izviđačko inženjerijsko gusenično vozilo »IRM« |
| L. Bugarski
pukovnik | 563 | Snažni impulsni izvori električne energije |
| P. Marjanović | 566 | Ruski strateški bombarder Tu-160 kao faktor zastrašivanja |

Dr Svetomir Minić,
ppuk. dipl. inž.

KONCEPCIJA I MODEL PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA PREMA STANJU SA PROVEROM PARAMETARA STANJA

Uvod

Koncepcija preventivnog održavanja prema stanju, ili skraćeno POPS (On-Condition Based Maintenance), zasniva se na metodologiji održavanja prema pouzdanosti, ili skraćeno OPP (Reliability Centered Maintenance), i predstavlja metod za objektivno upravljanje procesima promene stanja i održavanja tehničkih sistema. Postupci POPS, po dinamici i sadržaju, zavise od stanja sistema što se utvrđuje sprovođenjem *provera stanja*, odnosno praćenjem promene parametra stanja koji reprezentuje stanje posmatranog elementa sistema. U zavisnosti od rezultata izvršene *provere stanja* i konstatovanog stanja sistema i njegovih elemenata, donose se odluke o preduzimanju postupaka POPS.

Sušтина modela POPS sa proverom parametara stanja (POPS_{pps}) jeste diskretno ili kontinualno praćenje promene odabranog parametra stanja koji je jednoznačno i sigurno opisuje stanje posmatranog elementa sistema. U ovom radu razrađen je matematički model POPS_{pps} — tzv. model EKRAN kojim se određuje veza između periodičnosti provere parametra stanja i signalizacione tolerancije parametra stanja, pri obezbeđenju zadate pouzdanosti. Model uspostavlja direktne odnose između pouz-

danosti i zakonitosti promene parametra stanja posmatranog elementa i ima neposredni zadatak da odredi izlazne operacione karakteristike modela: vreme *prve* provere stanja, dozvoljenu vrednost parametra stanja i signalizacionu toleranciju parametra stanja u čijim granicama je neophodno sprovesti postupke POPS, kako bi se sprečila pojava stanja u *otkazu*.

Radi primene modela EKRAN definisana je metodologija primene i razvijen je programski paket DMPOPS [13] koji omogućava automatizovanu simulaciju modela. Ovaj programski paket, na osnovu ulaznih podataka za model EKRAN, automatizovano rešava matematičko-modelsku interpretaciju procesa POPS i daje izlazne operacione karakteristike modela koje predstavljaju osnovu za optimalno upravljanje procesima promene stanja i održavanja i odlučivanje o sprovođenju postupaka POPS.

Koncepcija sistema održavanja

Koncepcija sistema održavanja predstavlja njegovo najvažnije obeležje, koje veoma utiče na kvalitet sistema održavanja, a zavisi od principa na os-

novu kojeg se donose odluke o sprovođenju postupaka održavanja [20].

Sa stanovišta koncepcije postoje dva osnovna rešenja: *preventivno i korektivno održavanje*. Obe osnovne koncepcije mogu da se povežu — to je *kombinovano održavanje*. Pod koncepcijom preventivnog održavanja podrazumeva se održavanje koje omogućava smanjenje verovatnoće pojave slučajnih otkaza, odnosno u ovoj koncepciji održavanja ima zadatak da spreči ili odloži pojavu otkaza. Koncepcija korektivnog održavanja traži da se postupci održavanja sprovedu samo ako dođe do otkaza, tj. njima se vrši vraćanje sistema iz stanja u otkazu u stanje u radu.

Kod *preventivnog održavanja* postupci održavanja sprovedu se pre nego što dođe do pojave otkaza, tj. u vremenu u kojem je sistem u stanju »u radu«. Sistem preventivnog održavanja treba da počiva na metodologiji održavanja prema pouzdanosti, i da bude zasnovan na poznavanju svojstava pouzdanosti i zakonima pojave otkaza [8].

Najveći praktični značaj imaju dve vrste preventivnog održavanja [20]:

— *preventivno održavanje po vremenu* (*»Hard Time Limit«*) sprovodi se, isključivo, na osnovu apriornih informacija o pouzdanosti, tj. na osnovu raspodele vremena do pojave otkaza za sistem, odnosno njegov sastavni element. Izvodi se u fiksnim vremenskim intervalima i ima unapred utvrđenu radnu sadržinu u vidu propisanih preventivnih postupaka održavanja i zamena sastavnih elemenata ili se ovaj interval može podešavati (adaptirati) prema stanju sistema, konstatovanom pri prethodnom pregledu. Periodična zamena postaje sve značajnija zbog zastupljenosti modularne konstrukcije sistema [15].

— kod *POPS sa proverom parametara stanja** posmatra se i prati diskretno ili kontinualno (*»On-Condition«* i *»Condition-Monitoring«*) neki pokaza-

telj — parametar stanja, koji reprezentuje stanje sistema, odnosno sastavnog elementa, čija je postepena promena stanja slučajna i u funkciji je vremena rada. Na osnovu tako dobijene aposteriorne informacije o vrednostima parametara stanja donosi se odluka o sprovođenju odgovarajućih postupaka POPS ili nastavku korišćenja sistema do sledeće *provere stanja*.

Prednosti koncepcije POPS

Kod preventivnog održavanja po vremenu postupci održavanja i zamene elemenata sprovedu se posle propisanog vremenskog ili eksploatacionog resursa, bez obzira na stanje elementa. Kod POPS sa proverom parametara stanja vrši se, po utvrđenoj dinamici u funkciji od konstatovanog stanja, *provera stanja* sastavnih elemenata sistema i, u zavisnosti od rezultata *pregleda stanja*, preduzimaju se postupci održavanja, samo ako su nađene vrednosti parametara stanja izvan dozvoljenih granica odstupanja. Na taj način postiže se potpunije iskorišćenje radnog veka sastavnih elemenata, u odnosu na preventivno održavanje po vremenu, uz obezbeđenje zahtevanog nivoa pouzdanosti i mogućnost prognožiranja preostalog vremena rada elementa.

Primenom POPS izbegavaju se nepotrebne zamene elemenata. Propisivanje zamene nekog elementa, bez obzira na njegovo stanje, krije u sebi rizik kvaliteta novog elementa i rizik kvaliteta ugradnje. To može nepovoljno da utiče na pouzdanost ukoliko je element koji se zamenjuje bio još uvek u ispravnom stanju, odnosno ukoliko je njegova zamena bila faktički nepotrebna [19].

Koncepcija POPS pruža povoljnije uslove za ostvarivanje većeg stepena iskorišćenja radnog veka sastavnih elemenata od koncepcije preventivnog održavanja po vremenu, uz istovremeno manje ukupne troškove održavanja, pa i troškove životnog ciklusa sistema [20].

* Pod parametrom stanja podrazumeva se: strukturni ili dijagnostički parametar.

Ukoliko su troškovi preventivnog održavanja manji od troškova korektivnog održavanja i njegovih posledica, a ispunjeni su određeni tehnički uslovi (kriterijumi) za primenu POPS, tada je ova koncepcija celishodna [15].

Primeri primene koncepcije POPS

Koncepcija POPS se, zbog svojih prednosti, sve više koristi u svetu u raznim područjima tehnike, što potvrđuju brojni stručni radovi.

Primena koncepcije POPS sa proverom parametara stanja došla je do izražaja naročito u vazduhoplovstvu, gde su razvijeni posebni sistemi održavanja na osnovama ove koncepcije. Jedan od najpoznatijih je model *TARAN (Test and Replace as Necessary)*, što znači *Ispitaj i zameni ako je potrebno*, koji se koristi i za održavanje aviona u JAT-u, zatim model *IRAN (Inspect and Replace as Necessary)* [20], i drugi.

Tipičan primer primene koncepcije POPS sa proverom parametara stanja je sistem održavanja francuskih aviona *MIRAGE 2000* [20], koji se zasniva na programima za proveru, odnosno *praćenje stanja i ugrađenim testovima (Condition Monitoring i Built In Tests)*. Treba istaći, da ova koncepcija održavanja nije generalno rešenje za kompletnu konstrukciju aviona, već se za određene agregate, odnosno sisteme aviona, primenjuje koncepcija preventivnog održavanja *po vremenu (Hard Time Limit)* i koncepcija korektivnog održavanja (*Corrective Maintenance*) za elektronske i elektrotehničke komponente. Kombinovano održavanje može dati posebno dobre rezultate.

Najnoviji tenkovi i oklopni transporteri, savremena terenska i teretna vozila (*LEOPARD 2, ABRAMS, BREDLY, T-72, M-84, VIHOR, BVP M-80*, i dr.) opremljeni su izvesnim nivoom dijagnostičkih ekspertnih sistema sa ugrađenim elementima samodijagnostike ili su na osnovama koncepcije POPS

sa proverom parametara stanja utvrđeni lokaliteti *test mesta* ili otvori) za postavljanje *endoskopa* za proveru stanja [9].

Mnogi proizvođači motornih vozila razvili su originalne sisteme *praćenja stanja* (Volkswagen, Renault, BMW i dr.), dok je, na primer, američka armija u potpunosti prešla na ovaj vid održavanja prema stanju *USATACOM (U.S. Army Tank Automotive Command)* [6].

Iskustva iz primene koncepcije POPS

Postoje mnogobrojna iskustva iz istraživanja i primene POPS tehničkih sistema. Rezultati se, po pravilu, ogledaju u smanjenju troškova i znatnom povećanju efektivnosti funkcije održavanja, odnosno efektivnosti sistema koji se održavaju.

Prednosti primene POPS su sledeće [2]:

- smanjenje troškova održavanja kroz skraćeno vreme održavanja, brzo otkrivanje otkaza, mogućnost prognozi-
ranja otkaza što omogućava planiranje radioničkih kapaciteta, rezervnih delova, i sl.

- povećanje operativne gotovosti (raspoloživosti),

- povećanje mogućnosti planiranja održavanja, porast motivisanosti radnika,

- pravovremeno uočavanje slabih tačaka (elementa koji se slabije ponašaju od normalnih),

- bolje projektovanje novih sistema na osnovu saradnje neposrednih korisnika i proizvođača, i dr.

Najbitniji postignuti rezultati POPS ogledaju se u smanjenju broja neočekivanih otkaza i to do 50% [3]. Kod velikih firmi primenom periodičnih *pregleda stanja* uspešno su smanjeni otkazi i do 75%. To dovodi do povećanja pouzdanosti sistema i smanjenja troškova održavanja za 10 do 15%.

Primenom POPS, odnosno dijagnostike, moguće je ostvariti uštede do 15% na sprovođenju postupaka održavanja, smanjenje troškova rezervnih delova za 8 do 12%, smanjenje troškova goriva i maziva za 15% i smanjenje zastoja zbog održavanja za 20%. Takođe, navodi se podatak da je cena *pregleda stanja* sistema klasičnim metodama čak za 70 do 75% veća od cene korišćenja dijagnostičkih instrumenata i uređaja [7].

Osnovni preduslovi za uvođenje koncepcije POPS su [1]:

- posedovanje potrebnih instrumenata i metoda,
- obezbeđenost stručnim kadrom,
- pogodna organizacija rada,
- raspoloživost sistema za *provere stanja*,
- posedovanje potrebne informatičke podrške, odnosno primena elektronskog računara.

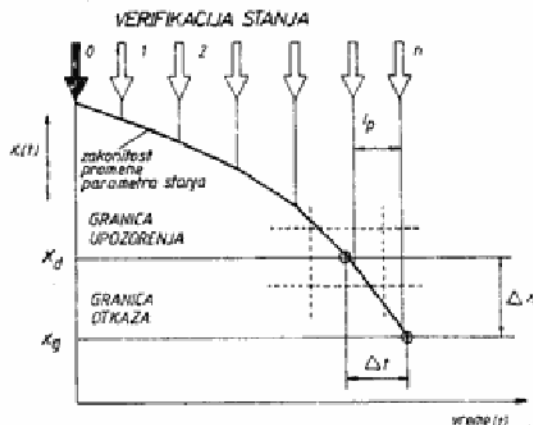
Na razvoju metoda dijagnostike, instrumenata i uređaja za obavljanje *pregleda stanja* poslednjih godina se mnogo radi. U tom smislu potrebno je da se i konstrukcije samih sistema prilagode ovom vidu održavanja.

Karakteristike koncepcije POPS

Teorijska postavka koncepcije POPS sa proverom parametara stanja zasniva se na *pregledu stanja*, odnosno na diskretnom ili kontinualnom *praćenju stanja* sastavnih elemenata sistema i uočavanju ili prognozi ranjivosti vremenaskog trenutka dostizanja graničnih vrednosti parametara stanja. Prema rezultatima pregleda, odnosno *provere stanja*, preduzimaju se odgovarajući postupci održavanja [13].

Koncepcija POPS sa proverom parametara stanja prikazana je na slici 1 [15] na kojoj se vidi mogući slučaj zakonitosti promene parametra stanja s dinamikom *provere stanja*, gde su definisane: granica upozorenja (X_d) (*predotkazni nivo*) i granica otkaza (X_g) koja se

utvrđuje eksperimentalno i daje se u normativno-tehničkoj dokumentaciji sistema.



Sl. 1 — Koncepcija POPS sa proverom parametra stanja $X(t)$

ΔX — »signalizaciona tolerancija« parametra stanja, Δt — vreme za sprovođenje postupaka POPS, i_p — interval »provere stanja«

Granica upozorenja predstavlja tzv. dozvoljenu vrednost parametra stanja (X_d), a određuje se kao jedna od relevantnih operacionih karakteristika modela POPS sa proverom parametara stanja. Granice upozorenja i otkaza definišu *signalizacionu toleranciju* (ΔX), što dozvoljava vreme (Δt) za preduzimanje postupaka POPS. Signalizaciona tolerancija određuje stepen osetljivosti odabrane dijagnostičke metode na parametar stanja i njegovu identifikaciju u skladu sa zakonitošću promene parametara stanja posmatranog sastavnog elementa.

Osnovni zadatak POPS je *stabilizacija parametra stanja*, tj. sprečavanje njegovog izlaska iz dozvoljenih granica odstupanja, odnosno iz *signalizacione tolerancije*.

Model preventivnog održavanja prema stanju sa proverom parametara stanja — model POPS_{pps}

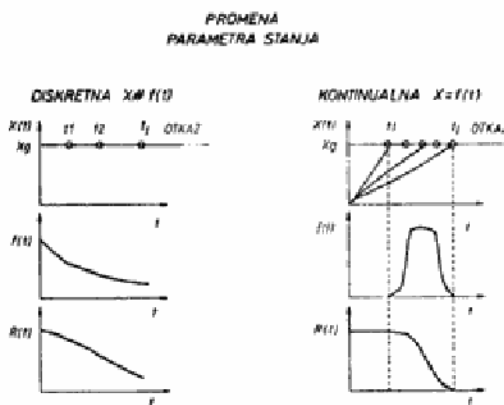
Osnovna ideja za primenu modela POPS_{pps}, zasnovana na uzajamnoj vezi kontinualne promene parametra stanja

i pouzdanosti, jeste da se na osnovu organizovanog praćenja promene parametra stanja, koji treba i identifikovati, *proveri stanje* sastavnog elementa sistema. Na osnovu tako dobijenih rezultata *provere stanja* treba preduzeti odgovarajuće postupke održavanja [11, 14].

Model $POPS_{pps}$ ima plansko-preventivni karakter [14]. Planiraju se periodičnosti i obim postupaka *pregleda stanja*. Preventivni karakter obezbeđuje se stalnim praćenjem parametara stanja sistema radi blagovremenog otkrivanja *predotkaznog* stanja, tj. dozvoljene vrednosti parametra stanja (x_d) ili otkrivanja granične vrednosti parametra stanja (x_g), pri kojoj se javlja otkaz.

Model $POPS_{pps}$ primenjuje se isključivo kod sistema koji imaju kontinualnu promenu stanja tokom vremena korišćenja, tj. za koju se može odrediti funkcionalna zavisnost između intenziteta promene parametara stanja i vremena rada, odnosno $x=f(t)$.

Kontinualna (postepena) i diskretna (trenutna) promena parametara stanja (slika 2) posledica su procesa habanja,



Sl. 2 — Diskretna (trenutna) i kontinualna (postepena) promena parametra stanja u funkciji vremena rada sistema

starenja i drugih uticaja slučajnog karaktera kojima su izloženi sastavni elementi sistema.

Kod diskretne promene razlikuju se samo dva stanja (u radu i u otkazu),

dok se kod kontinualne promene može razlikovati nekoliko *međustanja*, što se svodi na mogućnost praćenja promene parametra stanja sistema.

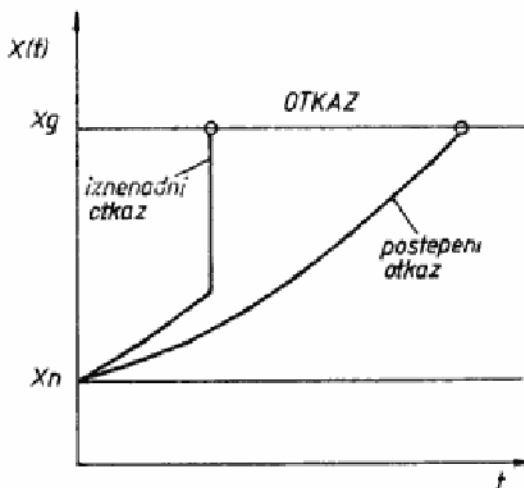
Diskretna i kontinualna promena parametara stanja dovode do *iznenadnih* i *postepenih* otkaza sistema, respektivno.

Prema načinu pojave otkazi mogu biti [18]:

— iznenadni otkaz (Sudden Failure) koji se uočava u trenutku vremena, i

— postepeni otkaz (Gradual Failure) čiji razvoj može da se prati u dužem vremenskom periodu.

Za postepeni otkaz karakteristična je određena zakonitost promene parametra stanja, dok kod iznenadnog otkaza promena parametra stanja praktično ne postoji (slika 3).



Sl. 3 — Mehanizam postepenog i iznenadnog otkaza sistema

Veliki broj sastavnih elemenata sistema tokom rada *akumuliraju* oštećenja, pa se i u pozadini iznenadnih otkaza, koji dovode do naglog gubitka sposobnosti funkcionisanja, najverovatnije krije proces *nagomilavanja* oštećenja [17].

Sistem je pogodan za primenu modela $POPS_{pps}$ ako sadrži kritične ele-

mente kod kojih otkaz nastaje postepeno, a ne iznenada.

Kontinualna promena parametra stanja elementa u funkciji vremena rada, koja prethodi postepenom otkazu, u suštini, predstavlja tzv. akumuliranje oštećenja [4], a uslov za primenu diskretnog ili kontinualnog praćenja stanja je i prognoziranje preostalog vremena rada elementa.

Ovakvim prilazom se ne razgraničavaju samo dva ekstremna stanja u radu i u otkazu, već se mogu uočiti i prelazna stanja elementa (međustanja) koja su karakteristična za sve elemente sa postepenom promenom stanja [17].

Model POPS_{pps} predviđa metode za definisanje:

- zakonitosti promene stanja sistema,
- sistema dijagnostike stanja, i
- sistema prognoziranja preostalog resursa rada.

Postoje dve osnovne varijante modela POPS_{pps} [10, 14, 20]:

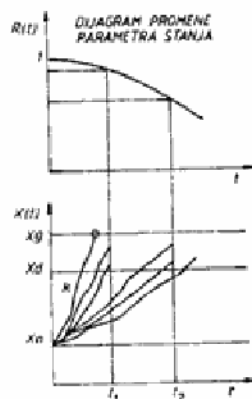
- sa diskretnom proverom parametra stanja (slika 4), i
- sa kontinualnom proverom parametra stanja (slika 5).

Obe varijante modela su na slikama 4 i 5 prikazane pomoću dijagrama stohastičkog procesa promene parametra stanja $x(t)$ i tzv. tranzitivnog dijagrama [20] stohastičkog procesa karakterističnih stanja tehničkog sistema.

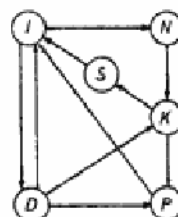
Ova zakonitost promene parametra stanja $x(t)$ predstavlja oblik iskazivanja funkcija cilja. Nivo parametra stanja x_n označava nominalno, odnosno radno stanje posmatranog elementa (sistema) kao objekta održavanja, x_d je dozvoljeni nivo parametra stanja, posle koga treba sprovesti odgovarajuće postupke POPS ili preventivne zamene, a x_g je granično stanje ili stanje u otkazu.

U slučaju diskretne (periodične) provere parametra stanja (slika 4) radi se o modelu preventivnih pregleda, odnosno provera stanja, koji traži da se

u pogodno odabranim trenucima vremena, t_1 , t_2 , itd., a ponekad i neprekidno (slika 5), vrše provere merodavnih pa-



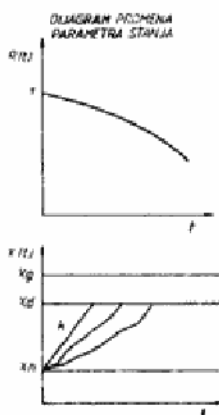
TRANZITIVNI DIJAGRAM STANJA SISTEMA



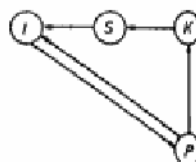
I - ispravno stanje
N - neispravno stanje
K - korektivno održavanje
P - preventivno održavanje
D - dijagnostika
S - isključivanje

Sl. 4 — Model POPS sa periodičnom proverom parametra stanja $x(t)$

$R(t)$ — pouzdanost, t_1 — trenutak »prve« provere stanja, t_2 — trenutak »druge« provere stanja, $X(t)$ — parametar stanja, x_n — nominalna vrednost, x_d — dozvoljena vrednost, x_g — granična vrednost



TRANZITIVNI DIJAGRAM STANJA SISTEMA



I - ispravno stanje
P - preventivno održavanje
K - korektivno održavanje
S - isključivanje

Sl. 5 — Model POPS sa kontinualnom proverom parametra stanja $X(t)$

$R(t)$ — pouzdanost, $X(t)$ — parametar stanja, x_n — nominalna vrednost, x_d — dozvoljena vrednost, x_g — granična vrednost

rametara stanja. U zavisnosti od dobijenih rezultata provere stanja odlučuje se o eventualnim preventivnim zamenaama ili o sprovođenju drugih postupaka POPS.

Model EKRAN za vezu periodičnosti provere stanja sastavnog elementa sistema sa signalizacionom tolerancijom parametra stanja

Model EKRAN za vezu periodičnosti provere stanja sastavnog elementa sistema sa signalizacionom tolerancijom parametra stanja.

Jedan od modela POPS sa proverom parametara koji se može primeniti na sistem je model EKRAN [14].

Naime, za otkrivanje *predotkaznog stanja*, tj. dozvoljene vrednosti parametra stanja (x_d), ili granične vrednosti parametra stanja (x_g) pri kojoj se javlja stanje u otkazu, može se iskoristiti princip određivanja tzv. *signalizacione tolerancije* parametra stanja. To je dijapazon između granične i dozvoljene vrednosti parametra. Ako parametar stanja dostigne dozvoljenu vrednost (x_d) znači da je neophodno izvršiti određene postupke održavanja, kako bi se sprečila pojava stanja u otkazu. Veličina *signalizacione tolerancije* ($\Delta x = x_g - x_d$) zavisi od veličine periodičnosti *provere stanja* ($\Delta t = t_2 - t_1$), u intervalu Δt između dve *provere stanja*.

Modelom EKRAN određuje se veza periodičnosti provere parametra stanja ($\Delta t = t_2 - t_1$) i *signalizacione tolerancije* parametra stanja ($\Delta x = x_g - x_d$) pri obezbeđenju željenog nivoa pouzdanosti. Model je zasnovan na realnoj situaciji da stohastičke promene parametara stanja elemenata sistema nameću potrebu njihovog držanja u granicama dozvoljenih odstupanja funkcije cilja — pouzdanosti.

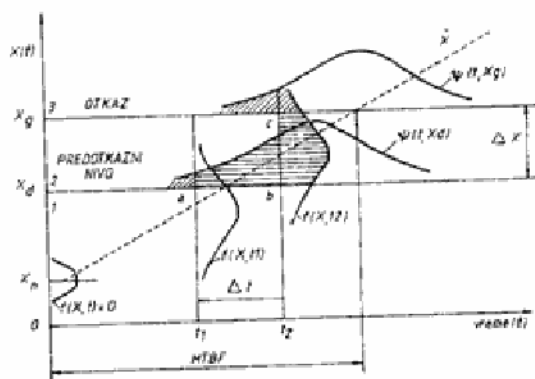
Za dobijanje optimalne periodičnosti *provere stanja* na slici 6 su prikazani [14]:

$x(t)$ — monotona funkcija vremena t , koja odgovara proveravanom parametru stanja sistema;

x_g — granična vrednost parametra stanja, posle koje dolazi do otkaza elementa, a poznata je iz normativno-tehničke dokumentacije sistema;

x_d — dozvoljena vrednost parametra stanja je takva da interval $\Delta x = x_g - x_d$ određuje *signalizacionu toleranciju*, čija je vrednost relevantna izlazna operaciona karakteristika modela.

Oblast (O, x_d) može se nazvati *ispravnim stanjem* elementa (stanje 1), oblast (x_d, x_g) stanjem u kojem se primenjuju postupci POPS (stanje 2), a oblast (x_g, ∞) stanjem kada se javlja otkaz (stanje 3).



Sl. 6 — Veza periodičnosti »provere stanja« elementa (Δt) sa »signalizacionom tolerancijom« parametra stanja (Δx) — model EKRAN)

t_1 — vremenski trenutak »prve provere stanja« elementa, t_2 — vremenski trenutak »druge provere stanja« elementa, $\bar{x}$ — srednja vrednost promene parametra stanja, 1 — ispravno stanje, 2 — stanje u kojem se primenjuju postupci POPS, 3 — stanje »u otkazu«, $\Delta x = x_g - x_d$ — »signalizaciona tolerancija« parametra stanja, $\Delta t = t_2 - t_1$ — periodičnost »provere stanja« elementa, x_n — nominalna vrednost parametra stanja, x_d — dozvoljena vrednost parametra stanja, x_g — granična vrednost parametra stanja, $f(x, t)$ — funkcija gustine raspodele parametra stanja, $\Psi(t, x_g)$ — funkcija gustine raspodele stanja elementa »u otkazu«, $\overline{ab}$ — »horizontalni ekran«, $\overline{bc}$ — »vertikalni ekran«

Usvajajući da su t_1 i t_2 odgovarajući trenuci izvođenja *prve* i *druge provere stanja* parametra, respektivno, t_x — slučajni trenutak presecanja vrednosti x_d i x_g , tj. t_d i $t_g \in t_x$, može se napisati verovatnoća ispravnog rada elementa koristeći sliku 6, $\Psi(t_x, x_d)$ i

$f(x, t_2)$ kao gustine raspodele slučajne veličine t_x na nivou x_d i slučajne veličine $x \in x(t)$ u trenutku t_2 :

$$P\{t_x \leq t_1\} \text{ pri } x_d = P\{x > x_g\} \text{ pri } t_2, \quad (1)$$

odnosno, koristeći se poznatim zakonitostima iz teorije verovatnoće, mogu se napisati jednačine:

$$\int_{x_g}^{\infty} f(x, t_2) dx = \int_0^{t_1} \psi(t_x, x_d) dt_x, \quad (2)$$

$$\int_{x_d}^{\infty} f(x, t_2) dx = \int_0^{t_2} \psi(t_x, x_d) dt_x, \quad (3)$$

Posle upoređenja jednačina (2) i (3) može se dobiti matematički model — model EKRAN:

$$\int_{x_d}^{x_g} f(x, t_2) dx = \int_{t_1}^{t_2} \psi(t, x_d) dt. \quad (4)$$

Može se zaključiti da za monotoni proces $x(t)$ sa zadatim t_1 i x_g sledeći trenutak provere parametra stanja t_2 i predotkazni nivo x_d zadovoljavaju jednačinu (4) za opšte uslove korišćenja sistema.

U toku realnog procesa korišćenja sistema, sve vrednosti $x(t_x)$ grupišaće se oko srednje vrednosti $x(t_x)$ i imaće rasipanje oko nje izraženo standardnom devijacijom.

Jednačina koja potpuno opisuje matematički model promene parametara stanja koje kvantitativno definiše dijapazon vrednosti datih parametara u kome se nalazi $x(t)$, uz korišćenje intervala poverenja $\pm \sigma_x$ ($\pm 2\sigma_x$, $\pm 3\sigma_x$), za slučaj linearne promene parametra stanja je:

$$x(t) = a \cdot t + x_n \pm 3\sigma_x, \quad (5)$$

gde su:

a — koeficijent koji karakteriše brzinu promene parametra stanja

$$\left(a = \frac{dx}{dt} \right)$$

t — vreme rada elementa,

x_n — nominalna (početna) vrednost parametra stanja.

U jednačini (4), u jednom slučaju se za zadato t_1 može uzeti $t_1 = 0$. U drugom slučaju, vrednost za trenutak provere stanja (t_1) određuje se iz uslova zadatog nivoa verovatnoće pouzdanosti $p_2 = R_2$, ili verovatnoće nastanka otkaza $p_0 = 1 - p_1$. Može se napisati za neki trenutak (t_1), odnosno, u opštem slučaju, za trenutak (t_x):

$$P\{x_g \leq \infty, t_x\} = \int_{x_g}^{\infty} f(x, t_x) dx \leq p_0, \quad (6)$$

odnosno:

$$P(t_x) = \int_0^{t_x} \psi(t_x, x_g) dt = \frac{\Phi(\bar{x}(t_x) - x_g)}{\sigma_x} \quad (7)$$

Što predstavlja vezu karakteristika pouzdanosti sistema i parametara stanja.

Prema tome, iz dokazane teoreme (4) proizlazi sledeća jednačina:

$$\int_0^{t_2} \psi(t, x_d) dt = \int_{t_1}^{t_2} \psi(t, x_g) dt. \quad (8)$$

Korišćenjem teoreme (4) obezbeđuje se takav raspored EKRANA, pri kojem sve trajektorije procesa $x(t)$ prolaze kroz horizontalni neprovidni ekran $\overline{ab}$) i padaju na vertikalni neprovidni ekran $\overline{bc}$), (slika 6).

Na taj način, određena je veza signalizacije tolerancije ($\Delta x = x_p - x_d$) i periodičnosti provere parametra stanja ($\Delta t = t_2 - t_1$).

Za normalni zakon raspodele $f(x, t)$ slučajnog procesa $x(t)$, koristeći jednačinu (8), može se odrediti zavisnost signalizacije tolerancije (Δx) od periodičnosti provere stanja (Δt).

Za određivanje trenutka izvođenja provere parametra stanja, potrebno je odrediti gustine raspodele $f(x, t_2)$ i $\Psi(t, x_d)$. Neka su, za normalni zakon prome-

ne parametra stanja, matematičko očekivanje $m_x(t)$ i srednje kvadratno odstupanje $\sigma_x(t)$ aproksimirani linearnim zavisnostima:

$$m_x(t) = m_a + m_b \cdot t, \quad (9)$$

$$\sigma_x(t) = \sigma_a + \sigma_b \cdot t,$$

gde su:

$m_a, m_b, \sigma_a, \sigma_b$ — parametri stanja u trenucima a i b označenim na slici 6.

$$(m_b = \left(\frac{dm}{dt}; \sigma_b = \frac{d\sigma}{dt} \right).$$

Koeficijenti parametra stanja izračunavaju se prema sledećim jednačinama [14]:

$$m_a = \frac{t_{i+1} \cdot m_x(t_i) - t_i \cdot m_x(t_{i+1})}{t_{i+1} - t_i}$$

$$m_b = \frac{m_x(t_{i+1}) - m_x(t_i)}{t_{i+1} - t_i}$$

$$\sigma_a = \frac{t_{i+1} \cdot \sigma_x(t_i) - t_i \cdot \sigma_x(t_{i+1})}{t_{i+1} - t_i}$$

$$\sigma_b = \frac{\sigma_x(t_{i+1}) - \sigma_x(t_i)}{t_{i+1} - t_i} \quad (10)$$

Ovakva aproksimacija je od velike koristi za rešavanje periodičnosti *provere stanja* sistema. Tada se gustina raspodele $f(x, t_2)$ može odrediti prema:

$$f(x, t_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(\sigma_a + \sigma_b \cdot t)} \cdot \exp \left[-\frac{(x - m_a - m_b \cdot t)^2}{2(\sigma_a + \sigma_b \cdot t)} \right] \quad (11)$$

a gustina raspodele prvog presecanja *predotkaznog nivoa*:

$$\Psi(t, x_d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[-\frac{(x_d - m_a - m_b \cdot t)^2}{2(\sigma_a + \sigma_b \cdot t)} \right] \frac{d}{dt} \left[\frac{x_d - m_a - m_b \cdot t}{\sigma_a + \sigma_b \cdot t} \right] \quad (12)$$

Trenutak prve provere stanja elementa može se dobiti iz uslova da sastavni element ispuni zahtevanu pouzdanost.

Tako se iz jednačine (6) može dobiti trenutak *prve provere stanja elementa* (t_1), posle unošenja $f(x, t_1)$ za normalnu raspodelu:

$$t_1 = \frac{1}{m_b - \sigma_b \cdot U_{1,p_0}} (x_g - \sigma_a \cdot U_{1,p_0} - m_a) \quad (13)$$

gde je:

U_{1,p_0} — kvantil normalne raspodele (kumulativne učestalosti) koji odgovara verovatnoći pouzdanosti p_x za vreme Δt , (uzima se iz tablica u literaturi).

Dozvoljena vrednost parametra stanja (x_d) i *signalizaciona tolerancija* (Δx) mogu se izračunati uvođenjem jednačina (11) i (12) u jednačinu (4) i obavljanjem neophodnih transformacija i integracija (za normalni zakon raspodele parametra stanja), kao zavisnosti od periodičnosti provere parametra stanja.

$$x_d = f(\Delta t) \text{ i } \Delta x = x_g - x_d = f(\Delta t), \text{ odnosno:}$$

$$x_d = \frac{\sigma_a(x_g - m_b \cdot \Delta t) + \sigma_b(x_g \cdot t_1 + m_a \cdot \Delta t)}{\sigma_a + \sigma_b(t_1 + \Delta t)} \quad (14)$$

$$\Delta x = x_g - x_d = \frac{(x_g \cdot \sigma_b + m_b \cdot \sigma_a - m_a \cdot \sigma_b) \cdot \Delta t}{\sigma_a + \sigma_b(\Delta t + t_1)} \quad (15)$$

Ako je izmerena vrednost parametra stanja ispod definisane dozvoljene vrednosti (x_d), mora se tražiti *trenutak sledeće provere stanja* i to za svaki sastavni element sistema posebno. Zato prvo treba izračunati $\Delta x(t_1) = x_d - x(t_1)$. Nakon obavljenih transformacija i in-

tegracija i uvođenja jednačina (11) i (12) u jednačinu (4) dobija se:

$$t_2 = \frac{t_1(m_a \cdot \sigma_b - m_b \cdot \sigma_a) + \sigma_a \cdot x_d - (\sigma_a + \sigma_b) \cdot x_g}{m_a \cdot \sigma_b - m_b \cdot \sigma_a - \sigma_b \cdot x_d} \quad (16)$$

odnosno:

$$t_2 = \frac{1}{a} [x_d + \Delta x(t_1)]. \quad (17)$$

Jednačine (16) i (17) određuju *trenutak druge provere stanja elementa*. U trenutku t_2 ponavlja se isti postupak kao i u trenutku t_1 .

Razvoj algoritma za primenu modela EKRAN

Model EKRAN primenjuje se kroz sledeće korake (prikazane algoritamski na slici 7):

1. Definirati parametar stanja (x) sistema, koji se menja u funkciji vremena rada sistema, tj. $x = f(t)$.

2. Na bazi eksperimentalnih ispitivanja sistema utvrditi koeficijente a i b iz jednačine promene parametra stanja $x(t) = a \cdot t^b + x_n$ i pribaviti podatke iz normativno-tehničke dokumentacije za početnu (nominalnu) vrednost parametra stanja (x_n) i graničnu vrednost parametra stanja (x_g) pri kojoj dolazi do otkaza sastavnog elementa sistema.

3. Izvršiti izbor dijagnostičkog parametra stanja (Y) (u slučaju kada se strukturni parametar x određuje preko dijagnostičkog parametra (Y) sa kojim je povezan regresivnom krivom $x = A \cdot Y + B$, gde su A i B koeficijenti koji se određuju na bazi eksperimentalnih ispitivanja sistema, a dijagnostički parametar treba u potpunosti da odgovara strukturnom parametru, tj. koeficijent korelacije (r) treba da je: $r = \pm 1$ [7]).

4. Odrediti standardnu devijaciju (σ_x) za slučaj normalne raspodele parametra stanja (x).

5. Pribaviti podatak o nivou zadate pouzdanosti (R_2) i iz tablica normalne raspodele odrediti $F(R)$ i kvantil normalne raspodele (U_{1-p_0}).

6. Za uzorak $n \geq 30$ istotipskih sastavnih elemenata sistema, i za njihove fiksirane vrednosti vremena rada t_1 i t_2 , koristeći podatke o broju otkaza $N(\Delta t)$ i $N(t)$ odrediti gustinu raspodele parametra stanja $f(t)$, pouzdanost $R(t)$ i nepouzdanost $F(t)$.

7. Za fiksirane vrednosti vremena rada sastavnog elementa sistema t_1 i t_2 odrediti empirijske gustine raspodele parametra stanja $f(x, t_1)$ i $f(x, t_2)$, matematička očekivanja $m_x(t)$ i srednja kvadratna odstupanja $\sigma_x(t)$.

8. Nacrtati histograme raspodele parametra stanja $f(x, t_1)$ i $f(x, t_2)$ i grafik promene matematičkog očekivanja $m_x(t)$.

9. Odrediti matematička očekivanja $m_x(t_1)$ i $m_x(t_{1+i})$ i srednja kvadratna odstupanja parametra stanja $\sigma_x(t_1)$ i $\sigma(t_{1+i})$ koristeći podatke za $F(t)$ (grafičkom metodom pomoću verovatnosnog papira za normalnu raspodelu ili pomoću elektronskog računara).

10. Izračunati koeficijente m_a , m_b , σ_a i σ_b prema formulama (10).

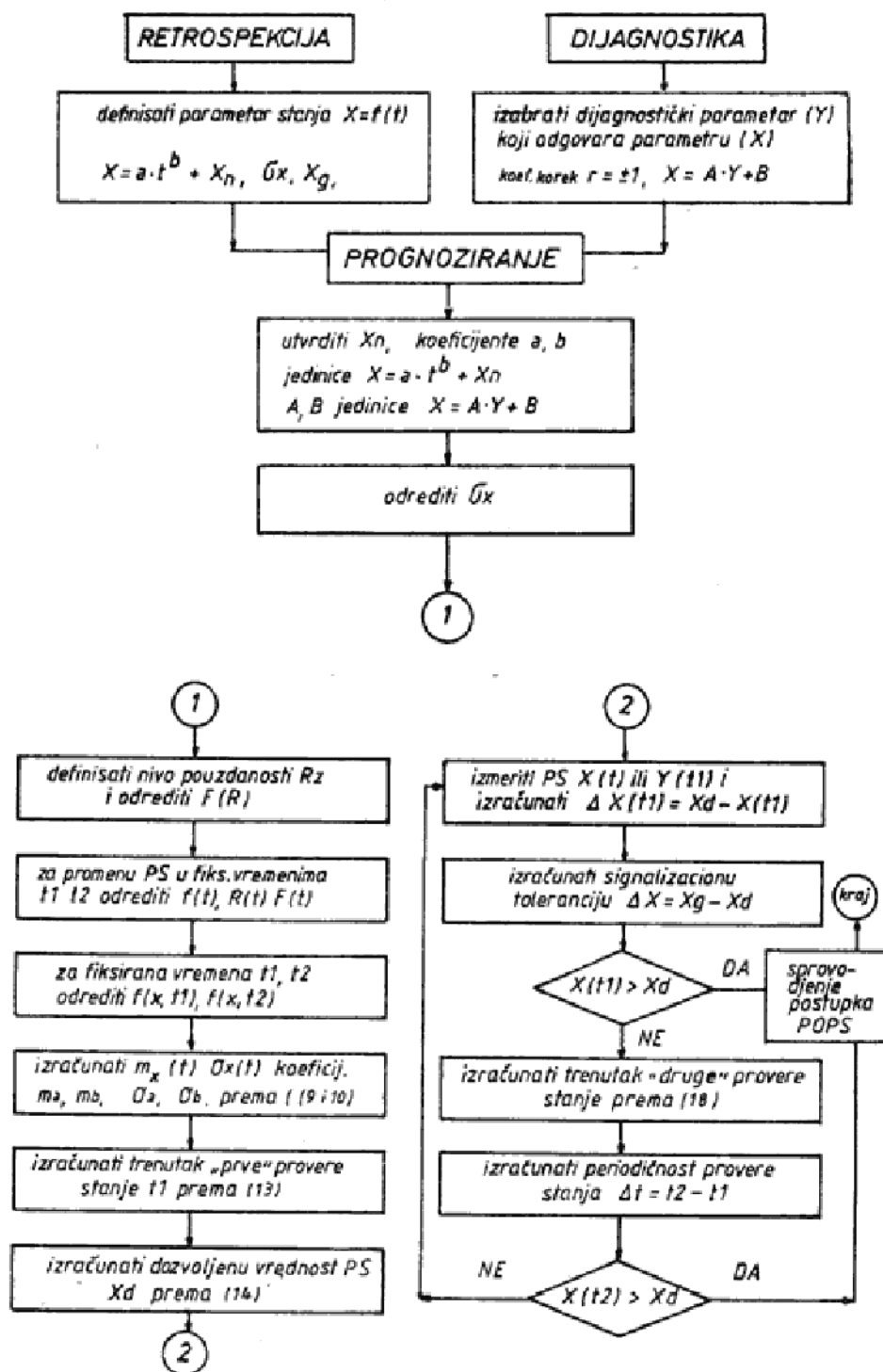
11. Izračunati matematičko očekivanje $m_x(t)$ i srednje kvadratno odstupanje $\sigma_x(t)$ za normalni zakon raspodele parametra stanja, prema formuli (9).

12. Izračunati vremenski trenutak *prve* provere parametra stanja (t_1) prema formuli (13).

13. Izračunati dozvoljenu vrednost parametra stanja (x_d) prema formuli (14).

14. Izračunati *signalizacionu toleranciju* parametra stanja $\Delta x = x_g - x_d$ prema formuli (15).

15. Ako je izmerena vrednost parametra stanja (x_1) veća od dozvoljene vrednosti parametra stanja (x_d), tj. $x(t_1) \geq x_d$, pristupa se sprovođenju postupaka POPS, kako bi se element pono-



Sl. 7 — Algoritam modela EKRAN

vo vratio u stanje ispravnosti (tako da parametar stanja ima vrednost ispod dozvoljene, odnosno $x < x_d$).

16. Ako je izmerena vrednost parametra stanja (x_i) manja od dozvoljene vrednosti parametra stanja (x_d), tj. $x_i < x_d$, onda se određuje vremenski trenutak druge provere parametra stanja (t_2) prema formulama (16 i 17). Zato prvo treba izračunati $\Delta x(t_1) = x_d - x(t_1)$.

17. Izračunati periodičnost provere parametra stanja $\Delta t = t_2 - t_1$.

18. U trenutku t_2 ponavlja se isti postupak kao i u trenutku t_1 .

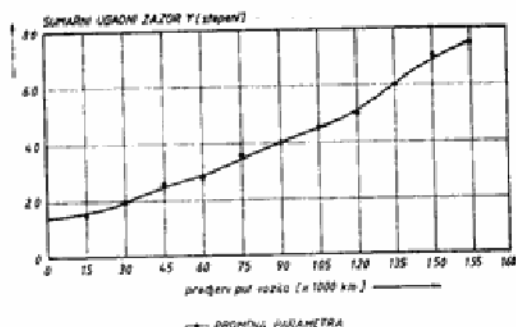
Prikaz metodologije za primenu modela EKRAN

Postavljen je zahtev da se oceni stanje glavnog prenosnika (veličina bočnog zazoru zupčanika) bez njegovog skidanja sa motornog vozila i rasklapanja. Taj problem je moguće rešiti primenom dijagnostičke metode merenja sumarnog ugaonog (radijalnog) zazoru glavnog prenosnika [5, 10, 16], odnosno primenom modela EKRAN [10, 11].

U radu [10] su, za uzorak $n=30$ glavnih prenosnika i za pretpostavljene raspodele vrednosti sumarnog ugaonog (radijalnog) zazoru glavnog prenosnika, određene operacione karakteristike modela EKRAN.

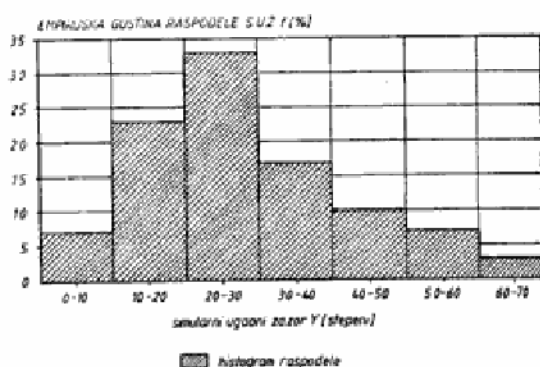
Na bazi ispitivanja [5, 16] definisana je postepena promena sumarnog ugaonog (radijalnog) zazoru glavnog prenosnika motornog vozila, čija je zakonitost promene data u obliku stepene funkcije $Y(t) = a \cdot t^b + Y_n$ (slika 8), što je uslov za primenu modela EKRAN.

Za fiksirane vrednosti rada glavnog prenosnika t_1 i t_2 , određene su empirijske gustine raspodele dijagnostičkog parametra $f(Y, t_1)$ i $f(Y, t_2)$, matematičko očekivanje $m_y(t)$ i srednje kvadratno odstupanje dijagnostičkog parametra $\sigma_y(t)$ [10].



Slika 8 — Postepena promena sumarnog ugaonog (radijalnog) zazoru glavnog prenosnika (Y) u zavisnosti od pređenog puta motornog vozila ($Y = f(t)$)

Histogrami raspodele dijagnostičkog parametra $f(y, t_1=6000 \text{ km})$ i $f(y, t_2=12000 \text{ km})$ dati su na slikama 9 i 10.



Slika 9 — Histogram raspodele $f(y, t)$ sumarnog ugaonog zazoru u trenutku $t_1 = 6000 \text{ [km]}$ glavnog prenosnika motornog vozila

Za normalni zakon raspodele dijagnostičkog parametra, matematičko očekivanje $m_y(t)$ i srednje kvadratno odstupanje $\sigma_y(t)$ aproksimirani su linearnim funkcijama:

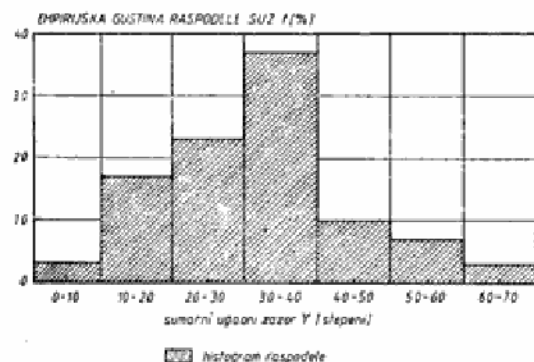
$$m_y(t) = m_a + m_b \cdot t, \quad (18)$$

$$\sigma_y(t) = \sigma_a + \sigma_b \cdot t,$$

gde su:

a i b — vremenski trenuci označeni na slici 6.

Radi proračuna modela EK-RAN odabrani su početni podaci za sumarni ugaoni zazor glavnog prenosnika motornog vozila:



Sl. 10 — Histogram raspodele $f(Y, t)$ sumarnog ugaonog zazoru u trenutku $t_2 = 12000$ [km] glavnog prenosnika motornog vozila

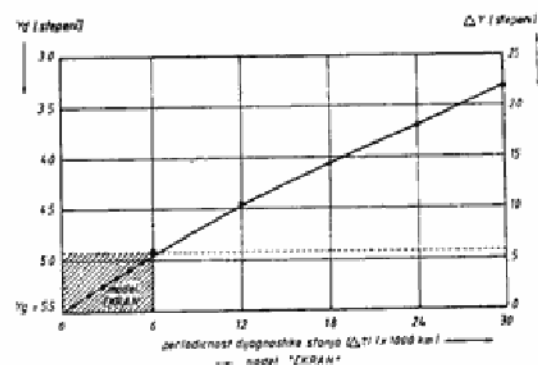
- $Y_n = 20^\circ$ — nominalna vrednost dijagnostičkog parametra,
- $Y_g = 55^\circ$ — granična vrednost dijagnostičkog parametra,
- $R_s = 0,95$ — zadata (zahtevana) pouzdanost, i
- $U_{1-p_0} = 2$ — kvantil normalne raspodele (uzima se iz tablica u literaturi).

Koeficijenti m_a , m_b , σ_a i σ_b izračunavaju se prema (10) i dobijene su vrednosti:

$$\begin{aligned} m_a &= 27 \\ m_b &= 0,0005 \\ \sigma_a &= 12 \\ \sigma_b &= 0,000166. \end{aligned}$$

Prema izrazima (13, 14 i 15) izračunate su izlazne operacione karakteristike modela EK-RAN: vremenski trenutak prve provere stanja glavnog prenosnika $t_1 = 24 \times 10^3$ [km], dozvoljena vrednost dijagnostičkog parametra $Y_d = 49,6^\circ$ i signalizaciona tolerancija dijagnostičkog parametra $\Delta Y = 5,3^\circ$.

Na osnovu rezultata proračuna modela ilustrovan je princip modela EK-RAN na slici 11.



Sl. 11 — Zavisnost dozvoljene vrednosti (Y_d) i »signalizacione tolerancije« dijagnostičkog parametra (ΔY) od periodičnosti »provere stanja« (Δt) elementa, dobijena na osnovu proračuna modela EK-RAN, za dati primer

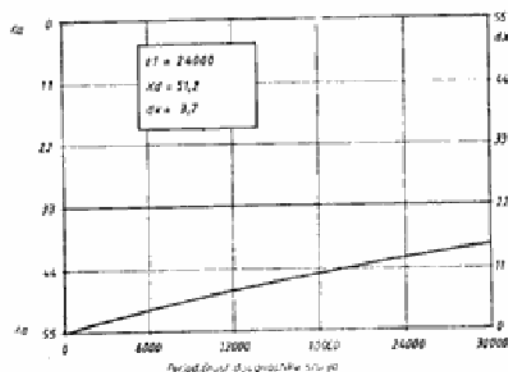
Simulacija modela EK-RAN primenom elektronskog računara

Na osnovu razvijenog algoritma i definisane metodologije za primenu modela EK-RAN, u prethodnim tačkama, u okviru programskog paketa DMPOPS [13], razvijen je računarski program za simulaciju modela EK-RAN. Na bazi podataka o elementima motornog vozila, tj. njihove vremenske slike stanja, izvršen je izbor raspodele i utvrđen karakter funkcije intenziteta otkaza (λ). Koristeći te podatke i podatke o ulaznim parametrima modela EK-RAN (prikazane na slici 12), simuliran je model EK-RAN primenom elektronskog raču-

Zadaj vreme prve dijagnostičke provere	6000
Zadaj vreme druge dijagnostičke provere	1200
Zadaj granič. vrednost dijagn. parametra	55

Sl. 12 — Zadavanje ulaznih parametara za simulaciju modela EK-RAN primenom elektronskog računara

nara i grafički interpretiran (što je prikazano na slici 13) [13]. Sa prikazane slike uočavaju se izlazne operacione ka-



Sl. 13 — Rezultati simulacije modela EKRA — izlazne operacione karakteristike modela: t_1 = vreme »prve provere stanja«, x_d = dozvoljena vrednost parametra stanja, Δx = »signalizaciona tolerancija« parametra stanja

rakteristike modela EKRA: vreme prve provere stanja $t_1 = 24 \cdot 10^3$ km, dozvoljena vrednost parametra stanja $X_d = 51,2^\circ$ i signalizaciona tolerancija parametra stanja $\Delta X = 3,7^\circ$.

Zaključak

Izborom koncepcije POPS, koja predstavlja jedan od najperspektivnijih i najekonomičnijih metoda upravljanja procesima promene stanja i održavanja sistema i primenom razvijenog matematičkog modela koji se temelji na ovoj koncepciji, ostvaruju se značajni efekti u pogledu obezbeđenja zahtevanog nivoa pouzdanosti i gotovosti sistema, istovremeno smanjujući troškove održavanja.

Matematički model POPS sa proverom parametara stanja uspostavlja direktne odnose između pouzdanosti i zakonitosti promene parametra stanja posmatranog elementa. Izlazne operacione karakteristike modela (vremenski trenutak prve provere stanja, dozvoljena vrednost parametra stanja signalizaciona tolerancija parametra i vremenski trenutak druge provere stanja) definišu dinamiku provere stanja, i u zavisnosti od rezultata provere elementa preduzimaju se odgovarajući postupci POPS pri čemu se obezbeđuje zahtevani nivo pouzdanosti i postiže maksimalna iskorišćenost resursa rada elementa. Praćenjem promene odabranog dijagnostičkog parametra može se nadzirati promena strukturnog parametra elementa, bez rasklapanja, što predstavlja osnovnu ideju, međutim, do njene realizacije nužno je rešiti problem retrospekcije, dijagnostike i prognoziranja. Rezultatima simulacije modela EKRA, na datom primeru primene, dokazana je veza između periodičnosti provere stanja i signalizacione tolerancije parametra stanja, pri obezbeđenju željenog nivoa pouzdanosti elementa. Primena ovog modela ograničena je isključivo na elemente sa kontinualnom promenom parametra stanja u funkciji vremena rada.

Prikazana metodologija modela EKRA može se primeniti za razne parametre stanja u procesu POPS sistema.

Osnovni preduslov za simulaciju modela EKRA jeste postojanje informacionog sistema koji obezbeđuje sve potrebne podatke o radu i održavanju sistema.

- [1] Baldin, A.: ODRŽAVANJE PO STANJU — II DEO, IIS — prolećni seminari: Savremene koncepcije održavanja, Dubrovnik, 1989.
- [2] Baldin, A., Furianetto, L.: ODRŽAVANJE PO STANJU, OMO, Beograd, 1980.
- [3] Baldin, A., Furianetto, L., Roversi, A. i dr.: PRIRUČNIK ZA ODRŽAVANJE INDUSTRIJSKIH POSTROJENJA, OMO, Beograd 1979.
- [4] Gerisbakh, I. B.: MODELS OF PREVENTIVE MAINTENANCE, North — Holland publishing company, Amsterdam — New York — Oxford, 1977.
- [5] Govorušenko, N. J.: TEHNIČESKAJA EKSPLOATACIJA AVTOMOBILEJ, Visšaja škola, Harkov, 1984.
- [6] Knežević, J.: PRILOG FORMIRANJU MODELA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA MAŠINSKIH SISTEMA PREMA TEHNIČKOM STANJU, OMO, Beograd, br. 5, 1983.
- [7] Knežević, J.: »DIJAGNOSTIKA« KAO ELEMENT MODELA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA MAŠINSKIH SISTEMA PREMA TEHNIČKOM STANJU, OMO, Beograd, br. 7, 1983.
- [8] Kodžopeljić, J.: PRILOG PROUČAVANJU POLITIKE PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA MOTORNH VOZILA ZA POTREBE OPŠTENARODNE ODBRANE, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.
- [9] Lazović, M.: PRILOG DEFINIRANJU STRATEGIJE ODRŽAVANJA PREMA STANJU SLOŽENIH MAŠINSKIH SISTEMA, Doktorska disertacija, Visoke vojnotehničke škole Kov JNA, Zagreb, 1989.
- [10] Minić, S.: ISTRAŽIVANJE MODELA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA PREMA STANJU I NJIHOVA PRIMENA NA MOTORNIM VOZILIMA, Magistrski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1980.
- [11] Minić, S., Todorović, J.: MODEL »EKRA« ZA VEZU PERIODIČNOSTI PROVERE STANJA SASTAVNOG ELEMENTA MOTORNH VOZILA SA SIGNALIZACIONOM TOLERANCIJOM PARAMETRA STANJA, Naučno-tehnički pregled, Beograd, br. 4, 1990.
- [12] Minić, S., Todorović, J.: SISTEMSKE PRIKLADNE IZBORU KONCEPCIJE I MODELA PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA PREMA STANJU, MOTORNH VOZILA, Vojnotehnički glasnik, Beograd, br. 3, 1993.
- [13] Minić, S.: DINAMIČKI MODEL PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA PREMA STANJU MOTORNH VOZILA, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [14] Smirnov, N. N., Icković, A. A.: OBSLUŽIVANIE I REMONT AVIACIONNOJ TEHNIKI PO SOSTOJANIJU, Transport, Moskva, 1980.
- [15] Smit, K.: WHY CONDITION MONITORING? — CONDITION MONITORING AS PART OF A MAINTENANCE CONCEPT FOR COMPLEX EQUIPMENT, XII th Conference YUMO '86, Beograd, 1986.
- [16] Spiškin, G. V., Tretjakov, A. M.: PRAKTIKUM PO DIAGNOSTIROVANIJU AVTOMOBILEJ, Visšaja škola, Moskva, 1988.
- [17] Stanković, R.: IZBOR POLITIKE ODRŽAVANJA TMS, Vojnotehnički glasnik, Beograd, br. 4, 1985.
- [18] Todorović, J.: ISTRAŽIVANJE OSNOVNIH KARAKTERISTIKA POUZDANOSTI FRIKCIONIH OBLOGA KOČNICA U USLOVIMA EKSPLOATACIJE TEŠKIH MOTORNH VOZILA U NAŠOJ ZEMLJI, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1972.
- [19] Todorović, J.: KOČENJE MOTORNH VOZILA, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1988.
- [20] Todorović, J.: INŽENJERSTVO ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA — MAINTAINABILITY ENGINEERING, JUMV, Beograd, 1993.
- [21] Todorović, J.: ODRŽAVANJE TEHNIČKIH SISTEMA — NAUKA ILI VESTINA?, SYMPOIS '94, Kotor, 1994.

Mr Milenko Zivaljević,
puk. dipl. inž.
Mr Milica Kallé,
dipl. inž.
Mr Goran Pavković,
dipl. inž.

POUZDANOST SISTEMA ZA ZAUSTAVLJANJE I AUTOMATSKO KOČENJE BORBENOG AVIONA I MOGUĆNOST ODREĐIVANJA KOEFICIJENATA POGORSANJA PERFORMANSI PRIMENOM FUZZY LOGIKE

Uvod

Kod borbenih aviona novije generacije, osim vrhunskih performansi (maksimalni dolet, maksimalna brzina leta, optimalna upravljivost i stabilnost, itd.) zahteva se, tokom čitavog leta i sletanja, i visoka pouzdanost izvršenja zadatka — misije. Pri tome je jasno da pouzdanost izvršenja borbenog zadatka zavisi od pouzdanosti elemenata ugrađenih u avion.

U važne osobine aviona spada mogućnost bezbednog sletanja i zaustavljanja. Avion koji ostvaruje željene performanse u letu, a nema ugrađenu visoku pouzdanost sistema za sletanje i zaustavljanje može ugroziti bezbednost završne faze.

Nakon dodira poletno-sletne staze (PSS), avion ima određenu brzinu kretanja V, odnosno kinetičku energiju, koju treba apsorbovati kočenjem.

Kočenje i zaustavljanje aviona na PSS vrši se na jedan od sledećih načina:

— upotrebom kočnica točkova aviona;

— kočenjem na principu aerodinamičkog otpora (kočioni padobran, aerodinamičke kočnice, itd.);

— korišćenjem kontrapotiska (ri-versa) turbomlaznih propulzora (TMP);

— »hvatanjem aviona« pri sletanju na nosač aviona, i

— kombinovanjem pojedinih navedenih načina kočenja.

Apsorbovanje kinetičke energije radi zaustavljanja aviona, u praksi se najčešće vrši korišćenjem kočnica ugrađenih na točkovima glavnih nogu stajnog trapa, pri čemu se kinetička energija aviona transformiše u toplotu.

Izbacivanjem koćećeg padobrana (sl. 1), može se znatno smanjiti dužina zaustavljanja na PSS (30 do 40%) [10].

Da bi se obezbedilo optimalno kočenje, sprečilo blokiranje točkova za vreme kočenja, a pilot oslobodio dela odgovornih i složenih zadataka tokom sletanja, uveden je sistem za automatsku regulaciju kočenja (SARK).

Imajući u vidu složenost i odgovornost sistema za kočenje i zaustavljanje aviona, u radu je razmatrana pouzdanost izvršenja kočenja za slučajeve:

— normalnog kočenja sa ili bez automatske regulacije kočenja;

— kočenja sa povećanom pouzdanošću, kada se osim normalnog kočenja mogu, u slučaju potrebe, aktivirati kočioni padobran i ručno kočenje za zaustavljanje aviona.



Sl. 1 — Kočenje pedobranom aviona JAGUAR

Funkcija pouzdanosti sistema

Sa stanovišta ovog rada neophodno je ukratko opisati sledeće veze elemenata (sistema):

- rednu,
- paralelnu, i
- specifičnu (kvazi-rednu i kvazi-paralelnu).

Na osnovu Bulove algebre, redna veza elemenata u sistemu (slika 2), može se izraziti u obliku »preseka« događaja:

$$D_s = D_1 \cap D_2 \cap \dots \cap D_n$$

odnosno verovatnoće realizacije povoljnih događaja:

$$P_s(D_s) = P(D_1) \cdot P(D_2) \cdot \dots \cdot P(D_n) \quad (1)$$

Pošto verovatnoća ispravnog rada pojedinih elemenata predstavlja i njihovu pouzdanost, to se može pisati:

$$P_i(D_i) = R_i(t)$$

Odnosno, za sistem:

$$P_s(D_s) = R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) \quad (2)$$

Presek realizacije povoljnih događaja pokazuje da je pouzdanost sistema $R_s(t)$ sa rednom vezom obezbeđena sa-

mo kada je realizovan događaj D_1 (element »1« je u RADU) i događaj D_2 (element »2« je u RADU) i..... i događaj D_n (n-ti element je u RADU).

Na osnovu Bulove algebre moguće je predstaviti i paralelnu vezu elemenata u sistemu (slika 3) preko tzv. »unije događaja«. Povoljan događaj, odnosno stanje sistema u RADU realizuje se ako je realizovan ili događaj D_1 (element »1« je u RADU) ili događaj D_2 (element »2« je u RADU),

odnosno, simbolično:

$$P_s = P_1 \cup P_2$$

Pogodniji za izražavanje paralelne veze elemenata je zakon proizvoda verovatnoća, koji polazi od nepouzdanosti:

$$R_s = 1 - F_s$$

Verovatnoća da će oba elementa biti u stanju u OTKAZU je:

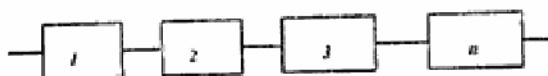
$F_s = F_1 \cdot F_2$, pri čemu za svaki element važi:

$$F_1 = 1 - R_1$$

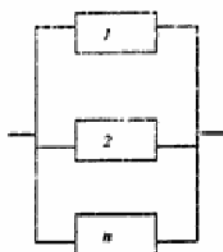
$$F_2 = 1 - R_2$$

sledi:

$$R_s = 1 - (1 - R_1) (1 - R_2) \quad (3)$$



Sl. 2 — Redna veza elemenata



Sl. 3 — Paralelna veza elemenata u sistemu

Za sistem sa više elemenata [3]:

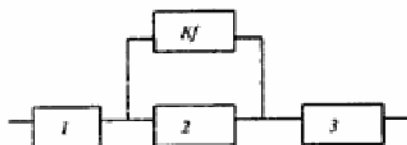
$$R(t) = \sum_{i=1}^n R_i - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n R_i(t) R_j(t) + \\ + \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=i+1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n R_i(t) R_j(t) R_k(t) + \\ + (-1)^{n-1} \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (4)$$

ili:

$$R_s(t) = 1 - (1 - R_1(t)) (1 - R_2(t)) \dots (1 - R_n(t)) \quad (5)$$

Postoje i drugi načini povezivanja elemenata u blok-šemi pouzdanosti, od kojih je za vazduhoplovne sisteme značajno pomenuti specifične (kvazi-redne i kvazi-paralelne veze), koje, po svom karakteru, imaju obeležja rednih i paralelnih veza ili, često, i jednih i drugih sa određenim specifičnostima.

Kod kvazi-rednih veza (za razliku od rednih, gde otkaz jednog elementa predstavlja otkaz čitavog sistema), otkaz jednog ili više elemenata (ne bilo kojih) ne predstavlja otkaz sistema, već



Sl. 4 — Kvazi-redna veza elemenata u sistemu

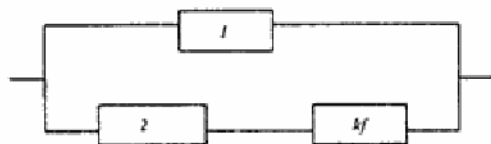
samo nastavak rada sa pogoršanim ili, često, i pogrešnim karakteristikama.

Blok-šema jednog sistema sa kvazi-rednom vezom prikazana je na slici 4.

Pouzdanost ovakvog sistema se računa:

$$R_s = R_1 [1 - (1 - R_2) (1 - K_f)] R_3 \quad (6)$$

Kvazi-paralelna veza sistema (slika 5), predstavlja vezu osnovne grane (1) čije performanse odgovaraju perfor-



Sl. 5 — Kvazi-paralelna veza elemenata u sistemu

mansama sistema i paralelne grane (2), čije su performanse nešto niže od performansi sistema.

To znači da pri otkazu grane (1), grana (2) neće ostvariti iste performanse, nego će one biti umanjene za faktor K_f , pri čemu se uzima da je:

$$K_f = \frac{\text{performanse grane (2)}}{\text{performanse grane (1)}} < 1$$

Kao ilustrativan primer ovakvih veza mogu se navesti sistemi za osnovno i pomoćno kočenje aviona ili automobila. U slučaju otkaza osnovne grane, sistem kočenja i dalje funkcioniše, ali sada sa nešto umanjenom efikasnošću.

Pouzdanost prikazanog kvazi-paralelnog sistema računa se:

$$R_s = 1 - (1 - R_1) (1 - R_2 \cdot K_f) \quad (7)$$

Sistem za kočenje i zaustavljanje borbenog aviona

Sistem za kočenje i zaustavljanje borbenog aviona (sl. 6) namenjen je za [10]:

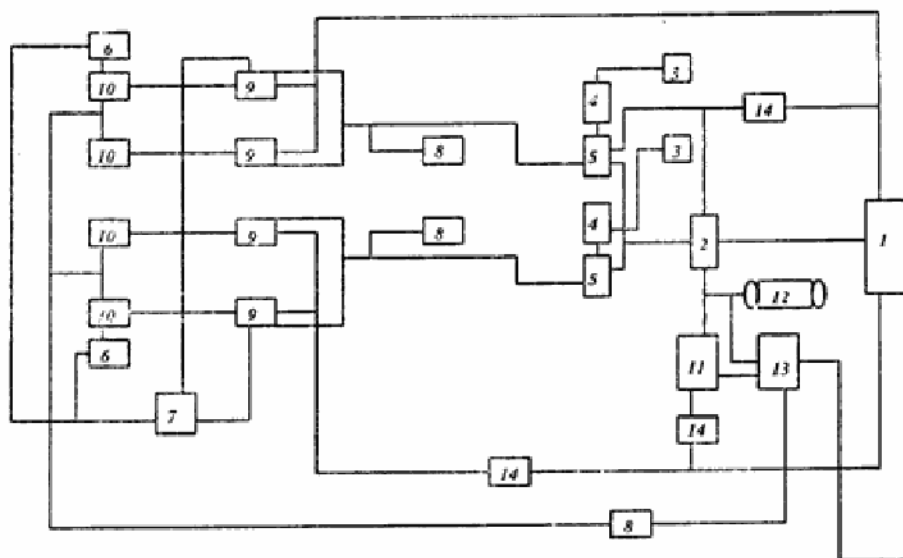
— normalno kočenje točkova, sa ili bez automatske regulacije kočenja,

— pomoćno kočenje i blokiranje točkova pri parkiranju aviona,

— diferencijalno kočenje točkova na levoj i desnoj nozi, čime se postiže upravljanje avionom u toku voženja.

Hidraulično kolo kočionog sistema napaja se hidrauličnom energijom iz os-

Kočioni sistem se sastoji od velikog broja delova. Sa stanovišta pouzdanosti, izvestan broj elemenata koji imaju istu ili sličnu funkciju možemo smatrati jednim elementom ili podsistemom. Time se blok-dijagram pouzdanosti znatno uprošćava, bez štete po funkcionalnost sistema.



Sl. 6 — Šema sistema za kočenje i zaustavljanje borbenog aviona (bez elemenata kočionog padobrana)

novnog hidrosistema, čiju hidrauličnu pumpu pogoni desni TMP.

Za kočenje aviona u slučaju da se želi postići skraćanje staze ili u slučaju otkaza na kočionom sistemu, koristi se koćeci padobran. Padobran je vezan za bravu, koja se napaja hidrauličnom energijom iz komandnog hidrosistema. Hidraulična pumpa komandnog hidrosistema napaja se energijom od levog TMP. Na taj način je, sa stanovišta pouzdanosti, sprečen otkaz oba hidrosistema jednovremeno.

Kočioni sistem je tako koncipiran da je u slučaju otkaza osnovnog hidrosistema i gubitka hidraulične energije u njemu, za kočenje obezbeđen rezervni izvor energije (hidroakumulator) koji se aktivira putem kola za ručno kočenje.

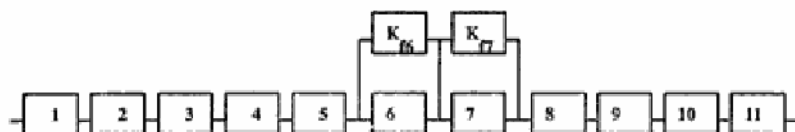
Blok-dijagram sistema za slučaj normalnog kočenja

Uprošćena šema kočionog sistema za slučaj normalnog kočenja sastoji se od sledećih elemenata:

- osnovni hidrosistem za napajanje,
- redukcioni ventil,
- nožna pumpa,
- kočioni razvodni cilindar,
- kočioni razvodni ventil,
- davači brzine u točkovima,
- upravljačka kutija,
- prekidač na pritisak,
- servorazvodnik,
- kočnica točka,
- ventil sigurnosti.

Otkaz sistema za automatsku regulaciju kočenja otežaće rad pilotu, ali neće znatno uticati na pogoršanje performansi aviona u pogledu kočenja.

Blok-dijagram pouzdanosti sistema za funkcionisanje normalnog kočenja prikazan je na sl. 7.



Sl. 7 — Blok dijagram sistema za normalno kočenje sa ili bez automatske regulacije kočenja

Kako je u trenutku t rada sistema $P(D)=R(t)$, funkcija pouzdanosti sistema za normalno kočenje definiše se na sledeći način:

$$R_{nk} = R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 [1 - (1 - R_6) (1 - K_i)] [1 - (1 - R_7) (1 - K_i)] R_8 R_9 R_{10} R_{11}, \quad (8)$$

pri čemu je uzeto da sistem funkcioniše i pri otkazu automatske regulacije kočenja (davači brzine u točkovima i upravljačka kutija) kao kvazi-redna veza, sa neznatno umanjenim performansama.

Blok-dijagram sistema za slučaj kočenja sa povećanom pouzdanošću

Sistem je koncipiran tako da u slučaju otkaza nekog od elemenata sistema normalnog kočenja, pilot ima mogućnost da uspešno završi kočenje, koristeći ručno kočenje i koćeci padobran.

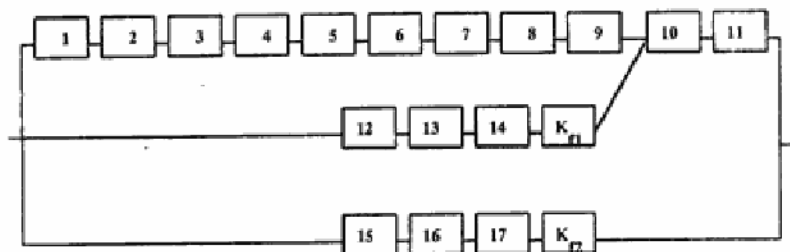
Uprošćena šema kočionog sistema za slučaj kočenja sa povećanom pouzdanošću sastoji se od sledećih elemenata:

- osnovni hidrosistem za napajanje,
- redukcioni ventil,
- nožna pumpa,

- kočioni razvodni cilindar,
- kočioni razvodni ventil,
- davači brzine u točkovima,
- upravljačka kutija,
- prekidač na pritisak,
- servorazvodnik,
- kočnica točka,
- ventil sigurnosti,
- hidroakumulator,
- razvodnik za parkiranje,
- nepovratni ventil,
- komandni hidrosistem,
- mehanizam koćecg padobrana,
- koćeci padobran.

Blok-dijagram pouzdanosti sistema za slučaj kočenja sa povećanom pouzdanošću, može se predstaviti sa dve kvazi-paralelne veze (sl. 8).

Pouzdanost sistema prikazanog na slici 8 najjednostavnije će se rešiti pre-



Sl. 8 — Blok dijagram sistema za kočenje sa povećanom pouzdanošću

ko verovatnoće događaja ispravnog rada pojedinih blokova sistema.

Funkcija pouzdanosti za ovako koncipiran sistem lakše se određuje kada se sistem podeli na blokove I, II, III i IV (sl. 9).



Sl. 9 — Blok dijagram sa definisanim događajima mogućeg ispravnog rada blokova sistema

Funkcije pouzdanosti blokova su:

blok I: $R_I = R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6 R_7 R_8 R_9$

blok II: $R_{II} = R_{10} R_{11}$

blok III: $R_{III} = R_{12} R_{13} R_{14} K_{11}$

blok IV: $R_{IV} = R_{15} R_{16} R_{17} K_{12}$

Za date blokove, tokovi izvršenja zadatka (za slučaj kočenja sa povećanom pouzdanošću) jesu:

$$D_s = D_a \cup D_b \cup D_c$$

$$D_a = D_I \cap D_{II}$$

$$D_b = D_{III} \cap D_{II}$$

$$D_c = D_{IV}$$

Verovatnoća izvršenja zadatka dobija se razvojem formule (4) za tri događaja mogućeg ispravnog rada za kočenje aviona — misija sa povećanom pouzdanošću.

Pouzdanost izvršenja zadatka je:

$$P_{abc} = P(D_s) + P(D_b) + P(D_c) - P(D_a) P(D_b) - P(D_a) P(D_c) - P(D_b) P(D_c) + P(D_a) P(D_b) P(D_c), \text{ odnosno:}$$

$$P_{abc} = P_a + P_b + P_c - P_a P_b - P_a P_c - P_b P_c + P_a P_b P_c,$$

$$P_{abc} = P_I P_{II} + P_{III} P_{II} + P_{IV} - P_I P_{II} P_{III} - P_I P_{II} P_{IV} - P_{II} P_{III} P_{IV} + P_I P_{II} P_{III} P_{IV}$$

Posle uvođenja $P(D_i)^n = P(D_i)$ i sređivanjem izraza dobija se:

$$P_{abc} = P_I P_{II} + P_{III} P_{II} + P_{IV} - P_I P_{II} P_{III} - P_I P_{II} P_{IV} - P_{II} P_{III} P_{IV} + P_I P_{II} P_{III} P_{IV}$$

Stavljajući da je $P_{abc} = R_{abc} = R_{abc}(t) = R_i(t)$ za bilo koji trenutak vremena t , dobija se:

$$R_{abc} = R_I R_{II} + R_{III} R_{II} + R_{IV} - R_I R_{II} R_{III} - R_I R_{II} R_{IV} - R_{II} R_{III} R_{IV} + R_I R_{II} R_{III} R_{IV}$$

Sređivanjem izraza dobija se:

$$R_{abc} = 1 - \{1 - R_{II}[1 - (1 - R_I)(1 - R_{III})]\}(1 - R_{IV})$$

Zamenjujući funkcije pouzdanosti blokova u prethodni izraz dobija se:

$$R_{abc} = 1 - \{1 - R_{10} R_{11}[1 - (1 - R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6 R_7 R_8 R_9)(1 - R_{12} R_{13} R_{14} K_{11})]\}(1 - R_{15} R_{16} R_{17} K_{12}) \quad (9)$$

Određivanje koeficijenata K_i primenom fuzzy logike

Radi sagledavanja doprinosa pouzdanosti sistema, za slučaj kočenja sa povećanom pouzdanošću, neophodno je poznavati pouzdanost pojedinih elemenata sistema i koeficijente K_i , koji predstavljaju faktor pogoršanja performansi u slučaju otkaza pojedinog elementa ili čitave paralelne grane. Pouzdanost elemenata moguće je odrediti praćenjem otkaza elemenata, dok je koeficijente pogoršanja performansi (K_i) kod borbenih aviona relativno teško odrediti, jer su merenja, pre svega, skupa, dugotrajna i rizična, pošto bi zahtevala namerno simuliranje pojedinih otkaza.

Problem u izračunavanju koeficijenata predstavlja i neodređenost faktora od kojih oni zavise, višeznačnost, nepreciznost i/ili nedovoljno jasni i pouzdani kriterijumi za njihovo određivanje.

U konkretnom primeru, koeficijenti se mogu dobiti merenjima. I tada, oni će predstavljati stohastičke veličine, koje za jedan avion, sa određenom težinom sletanja, zavise od obučenosti pilota, jačine vetra i temperature okoline. Zna se jedino da se po uticaju navedeni faktori

mogu rangirati sledećim redosledom: obučenost pilota, jačina vetra i temperatura, i da obučenost i jačina vetra deluju pozitivno (ako je u pravcu, s čela), a temperatura negativno, dok međusobni uticaji nisu poznati. Stoga je za određivanje ovih koeficijenata moguće primeniti fuzzy logiku, koju primenjuju piloti Vazduhoplovnog opitnog centra (VOC-a) i ostali koji poznaju performanse aviona za slučaj ispravnog rada i otkaza pojedinih sistema ili elemenata sistema.

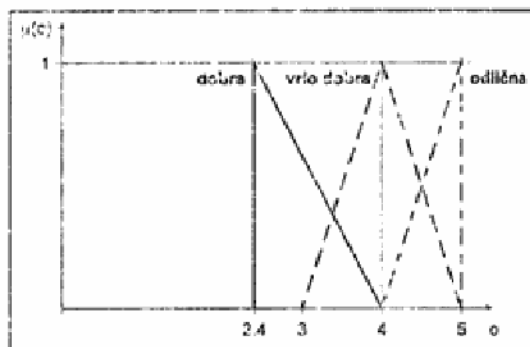
Fuzzy logiku za određivanje koeficijenata K_{Ω} , K_{Ω} , K_{Ω} i K_{Ω} primenićemo tako što uvodimo u razmatranje sledeće promenljive:

- O — fuzzy promenljiva koja označava obučenost pilota,
- V — fuzzy promenljiva koja označava intenzitet vetra,
- T — fuzzy promenljiva koja označava temperaturu vazduha,
- E — fuzzy promenljiva koja označava efikasnost kočenja.

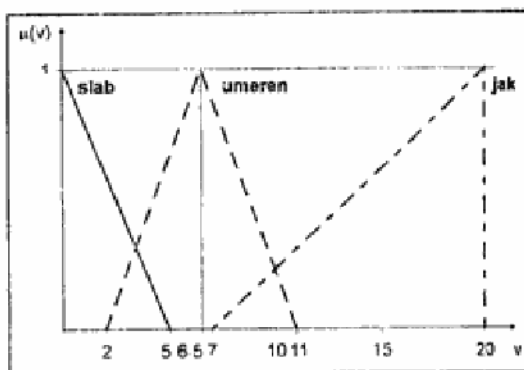
Fuzzy promenljive O, V i T predstavljaju ulazne promenljive, na osnovu čijih vrednosti treba doneti odluku o vrednosti izlazne promenljive E. Pretpostavimo da se obučenost pilota O može izraziti fuzzy skupovima kao »odlična«, »vrlo dobra« i »dobra«. Fuzzy skupovi koji opisuju obučenost pilota prikazani su na slici 10. Fuzzy promenljivoj V bilo je moguće dodeliti vrednosti »slab«, »umeren« i »jak«. Fuzzy skupovi koji opisuju intenzitet vetra prikazani su na slici 11. Pretpostavimo da se temperatura vazduha T može izraziti fuzzy skupovima »niska«, »srednja« i »visoka« (funkcije pripadnosti ovih fuzzy skupova prikazane su na slici 12). Izlazna promenljiva E, koja označava efikasnost kočionog sistema, predstavljena je fuzzy skupovima »visoka«, »srednja« i »niska« (funkcije pripadnosti ovih fuzzy skupova prikazane su na slici 13).

Autori predlažu sledeća pravila aproksimativnog rezonovanja za određivanje efikasnosti kočenja:

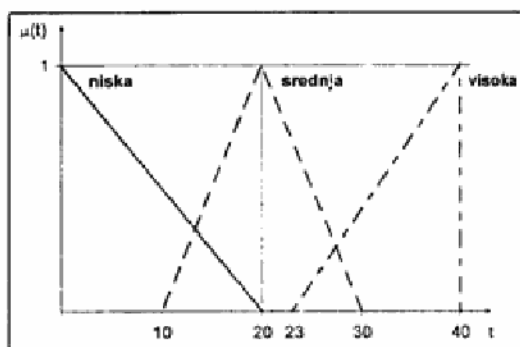
Pravilo 1: Ako je O odlična, V slab, T niska tada je E visoka
ili



Sli. 10 — Funkcije pripadnosti fuzzy skupova »dobra«, »vrlo dobra« i »odlična« obučenost pilota



Sli. 11 — Funkcije pripadnosti fuzzy skupova »slab«, »umeren«, i »jak« vetar



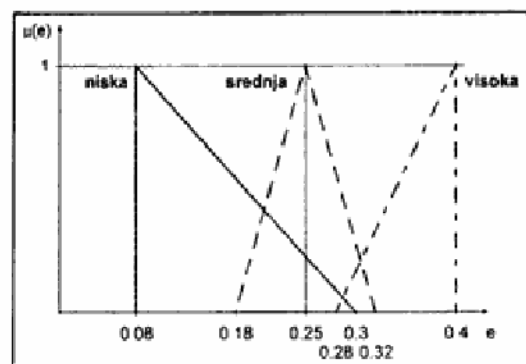
Sli. 12 — Funkcije pripadnosti fuzzy skupova »niska«, »srednja« i »visoka« temperatura

Pravilo 2: Ako je O vrlo dobra, V slab, T niska tada je E srednja

ili

Pravilo 3: Ako je O dobra, V slab, T niska tada je E niska

ili



Sl. 13 — Funkcije pripadnosti fuzzy skupova koji opisuju efikasnost

Pravilo 4: Ako je O odlična, V umeren, T niska tada je E visoka

ili

Pravilo 5: Ako je O vrlo dobra, V umeren, T niska tada je E visoka

ili

Pravilo 6: Ako je O dobra, V umeren, T niska tada je E niska

ili

Pravilo 7: Ako je O odlična, V jak, T niska tada je E visoka

ili

Pravilo 8: Ako je O vrlo dobra, V jak, T niska tada je E visoka

ili

Pravilo 9: Ako je O dobra, V jak, T niska tada je E srednja

ili

Pravilo 10: Ako je O odlična, V slab, T srednja tada je E srednja

ili

Pravilo 11: Ako je O vrlo dobra, V slab, T srednja tada je E srednja

ili

Pravilo 12: Ako je O dobra, V slab, T srednja tada je E niska

ili

Pravilo 13: Ako je O odlična, V umeren, T srednja tada je E visoka

ili

Pravilo 14: Ako je O vrlo dobra, V umeren, T srednja tada je E srednja

ili

Pravilo 15: Ako je O dobra, V umeren, T srednja tada je E niska

ili

Pravilo 16: Ako je O odlična, V jak, T srednja tada je E visoka

ili

Pravilo 17: Ako je O vrlo dobra, V jak, T srednja tada je E visoka

ili

Pravilo 18: Ako je O dobra, V jak, T srednja tada je E niska

ili

Pravilo 19: Ako je O odlična, V slab, T visoka tada je E srednja

ili

Pravilo 20: Ako je O vrlo dobra, V slab, T visoka tada je E srednja

ili

Pravilo 21: Ako je O dobra, V slab, T visoka tada je E niska

ili

Pravilo 22: Ako je O odlična, V umeren, T visoka tada je E srednja

ili

Pravilo 23: Ako je O vrlo dobra, V umeren, T visoka tada je E srednja

ili

Pravilo 24: Ako je O dobra, V umeren, T visoka tada je E niska

ili

Pravilo 25: Ako je O odlična, V jak, T visoka tada je E visoka

ili

Pravilo 26: Ako je O vrlo dobra, V jak, T visoka tada je E visoka

ili

Pravilo 27: Ako je O dobra, V jak, T visoka tada je E niska

Uočimo pravilo broj 7: Ako je O odlična, V jak, T niska tada je E visoka.

Ovo pravilo predstavlja fuzzy relaciju između obučenosti pilota (O), intenziteta vetra (V), temperature vazduha (T) i efikasnosti kočenja (E).

Izraz »Ako je O odlična, V jak i T niska« predstavlja fuzzy frazu definisanu na skupu čiji su elementi $O \times V \times T$. Označimo ovu fuzzy frazu sa X. Funkcija pripadnosti fuzzy fraze X opisana je na sledeći način:

$$\mu_X(o, v, t) = \min\{\mu_{odlična}(o), \mu_{jak}(v), \mu_{niska}(t)\}$$

Implikacija »Ako X, tada je E visoka« takođe je fuzzy fraza. Označimo ovu fuzzy frazu sa Y. Fuzzy fraza Y definisana je na skupu čiji su elementi $O \times V \times T \times E$. Funkcija pripadnosti fuzzy fraze Y je:

$$\mu_Y(o, v, t, e) = \min\{\mu_X(o, v, t), \mu_{visoka}(e)\}$$

Dve ili više fuzzy fraza povezane rečju »ili« čine fuzzy rečenicu. Označimo respektivno sa $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ fuzzy fraze koje se odnose na 27 prethodno definisanih pravila. U našem slučaju, fuzzy fraze $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ čine fuzzy rečenicu (ovu fuzzy rečenicu označimo sa Z). Funkcija pripadnosti fuzzy rečenice Z je:

$$\mu_Z = \max\{\mu_{Y1}(o, v, t, e), \mu_{Y2}(o, v, t, e), \dots, \mu_{Yn}(o, v, t, e)\}$$

Za unapred zadate vrednosti obučenosti pilota (O), intenziteta vetra (V) i temperature vazduha (T) primenom izloženog algoritma aproksimativnog rezonovanja svakoj od mogućih vrednosti izlazno promenljive E pridružen je odgovarajući stepen pripadnosti. U sledećem koraku vršimo »defazifikaciju«, odnosno izbor jedne vrednosti efikasnosti kočenja E. U ovom radu konačni izbor vrednosti efikasnosti kočenja izvršen je primenom metoda centra gravitacije (Teodorović i Kikuchi, 1991).

Numerički primer koji se odnosi na koćeci padobran — određivanje vrednosti koeficijenta K_R

U tabeli su prikazani rezultati dobijeni primenom algoritma aproksimativnog rezonovanja, tj. fuzzy logike, kao i procenjene vrednosti efikasnosti eks-

Tabela 1

Redni broj	O	V (m/s)	T (°C)	Efikasnost dobijena primenom fuzzy logike	Procenjena efikasnost od strane eksperta	Relativna greška
1.	5,0	1	5	0,36	0,37	0,03
2.	4,9	1	5	0,34	0,35	0,03
3.	4,8	1	5	0,33	0,33	0,00
4.	4,7	1	5	0,32	0,32	0,00
5.	4,6	1	5	0,31	0,30	0,03
6.	4,5	1	5	0,30	0,30	0,00
7.	4,3	1	5	0,28	0,28	0,00
8.	4,0	1	5	0,25	0,25	0,00
9.	3,7	1	5	0,22	0,23	0,04
10.	3,5	1	5	0,20	0,21	0,05
11.	3,2	1	5	0,18	0,19	0,05
12.	3,0	1	5	0,16	0,18	0,11
13.	2,8	1	5	0,16	0,17	0,06
14.	2,7	1	5	0,16	0,16	0,00
15.	2,5	1	5	0,16	0,15	0,07
16.	5,0	8	18	0,36	0,36	0,00
17.	4,8	8	18	0,32	0,36	0,11
18.	4,6	8	18	0,31	0,33	0,06
19.	4,5	8	18	0,30	0,32	0,06
20.	4,3	8	18	0,28	0,28	0,00
21.	4,0	8	18	0,26	0,26	0,00
22.	3,8	8	18	0,24	0,26	0,08
23.	3,5	8	18	0,22	0,23	0,04
24.	3,2	8	18	0,19	0,20	0,05
25.	2,8	8	18	0,16	0,17	0,06
26.	2,5	8	18	0,16	0,15	0,07
27.	5,0	12	28	0,35	0,38	0,08
28.	4,6	12	28	0,35	0,36	0,03
29.	4,0	12	28	0,35	0,32	0,09
30.	3,7	12	28	0,25	0,30	0,17
31.	3,5	12	28	0,24	0,27	0,11
32.	3,2	12	28	0,22	0,25	0,12
33.	3,0	12	28	0,17	0,21	0,19
34.	2,8	12	28	0,17	0,20	0,15
35.	2,5	12	28	0,17	0,19	0,11
36.	5,0	18	32	0,35	0,38	0,08
37.	4,6	18	32	0,35	0,36	0,03
38.	4,5	18	32	0,35	0,32	0,09
39.	4,4	18	32	0,35	0,30	0,17
40.	4,2	18	32	0,35	0,29	0,21
41.	3,8	18	32	0,29	0,26	0,12
42.	3,5	18	32	0,25	0,23	0,09
43.	3,2	18	32	0,20	0,21	0,05
44.	2,8	18	32	0,16	0,19	0,16
45.	2,5	18	32	0,16	0,16	0,00
46.	5,0	18	1	0,36	0,39	0,08
47.	2,5	1	34	0,16	0,15	0,07

Rezultati dobijeni primenom algoritma aproksimativnog rezonovanja i relativne greške njihovog poređenja sa procenom eksperata

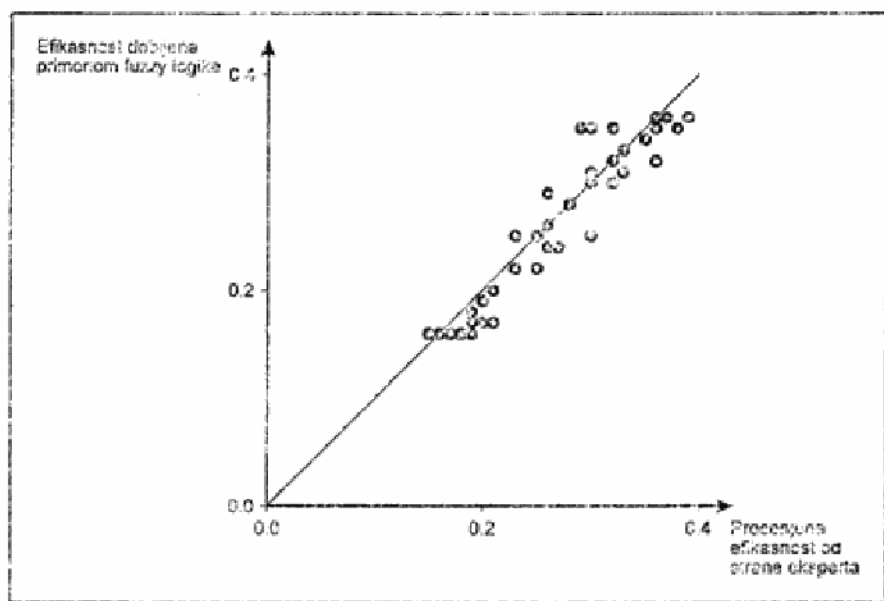
perta (pilota). Na osnovu ovih vrednosti izračunate su relativne greške, a isto poređenje ilustrirano je na slici 14.

Na sličan način, primenom istih funkcija pripadnosti za fuzzy promenljive O, V i T i istih pravila, promenom samo funkcije pripadnosti fuzzy skupa za efikasnost E dobijeni su koefici-

Zamenjujući ove vrednosti u jednačinama (8) i (9) dobija se da je pouzdanost uređaja za kočenje:

— za slučaj normalnog kočenja $R_{nk \max} = 0,622$ i $R_{nk \min} = 0,613$,

— za slučaj kočenja sa povećanom pouzdanošću $R_{abc \max} = 0,743$ i $R_{abc \min} = 0,645$.



Sl. 14 — Poređenje vrednosti efikasnosti dobijene primenom fuzzy logike i procenjenih vrednosti od strane eksperta

jenti za normalno kočenje ($K_{f6} = K_{f7} = 0,73—0,87$) i koeficijenti za pomoćno kočenje ($K_{f1} = 0,07—0,21$).

Da bi se uočili eventualni pozitivni efekti kvazi-paralelnih veza, pretpostavimo da je $R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_{17} = 0,95$, a za koeficijente K_i ćemo uzeti granične vrednosti (maksimalne i minimalne) i za te vrednosti izračunati funkcije pouzdanosti za oba slučaja kočenja. Ovo je hipotetička varijanta, jer se u realnoj situaciji teško mogu dogoditi sve negativne ili pozitivne okolnosti.

Granične vrednosti za koeficijente su:

$$K_{f1} = 0,07—0,21, K_{f2} = 0,16—0,36, \\ K_{f6} = K_{f7} = 0,73—0,87$$

Dobijena razlika nije beznačajna u korist pouzdanosti sistema za slučaj kočenja sa povećanom pouzdanošću i sa maksimalnim koeficijentima. Ona bi sigurno bila i veća da se nije povećao broj elemenata sa 11 na 17 za slučaj kočenja sa povećanom pouzdanošću što je jedna od mana paralelnih sistema. Mala je razlika u pouzdanosti kad se radi sa minimalnim koeficijentima. U tom slučaju mala je efikasnost kvazi-paralelnih veza.

Zaključak

Na osnovu izvršene analize pouzdanosti rada sistema za zaustavljanje i automatsko kočenje borbenog aviona, za

slučajeve normalnog kočenja i kočenja sa povećanom pouzdanošću proizilazi:

— da je, s obzirom na složenu funkciju cilja koju ima ovaj sistem, a posebno sa stanovišta bezbednog izvršenja zadatka, opravdano razmatrati njegov rad za oba pomenuta slučaja,

— da je sistem pravilno koncipiran sa stanovišta pouzdanosti, gde je od posebnog značaja rešenje da se napaja hidrauličnom energijom iz dva nezavisna sistema (osnovnog i komandnog) i da je postavljanjem elemenata u kvazi-redne i kvazi-paralelne veze obezbeđena značajna pouzdanost u radu. Dobivene verovatnoće izvršenja zadatka u jednom i drugom slučaju to i potvrđuju.

Za određivanje koeficijenata pogoršanja performansi po prvi put je isko-

rišćena fuzzy logika, čime su izbegnuta skupa i dugotrajna ispitivanja, koja bi mogla nepovoljno uticati i na bezbednost izvršenja zadatka, a stvoren je jedan ekspertski sistem koji se dalje može koristiti po potrebi.

Kao sledeći korak ka proširenju ovog rada, potrebno je izvršiti analizu rada sistema bez otkaza i sa otkazom pojedinih elemenata, pa na osnovu tako oblikovane šeme odrediti funkciju pouzdanosti sistema. Na taj način bi se pokazala potreba za eventualnim uvođenjem i drugih kvazi-rednih i kvazi-paralelnih veza ili povećanja njihove efikasnosti, što bi imalo pozitivnog uticaja na povećanje pouzdanosti sistema.

Literatura:

- [1] Z. Adamović: LOGISTIČKI SISTEM ODRŽAVANJA, Privredni pregled, Beograd, 1988.
- [2] E. J. Barzilović, i grupa autora: NADEŽNOST AVIACIONIH SISTEMA, Visšaia škola, Moskva, 1982.
- [3] G. Ivanović, D. Stanivuković: POUZDANOST, Tehnička uprava SSNO, 1988.
- [4] G. Ivanović, D. Stanivuković: POUZDANOST TEHNIČKIH SISTEMA, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1983.
- [5] A. Kaufmann, M. Gupta: INTRODUCTION TO FUZZY ARITHMETIC, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1985.
- [6] S. Muždeka: LOGISTIKA, Institut za nuklearne nauke — Vinča, Vinča, 1981.
- [7] R. Petrović: FUZZY SKUPOVI I FUZZY LOGIKA U ANALIZI POUZDANOSTI, naučni skup »Efektivnosti sistema i logistika«, Mašinski fakultet, Beograd, 1983.
- [8] D. Teodorović, S. Kikuchi: FUZZY SKUPOVI I PRIMENE U SAOBRAĆAJU, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, 1991.
- [9] L. I. Volkov, A. M. Šišković: NADEŽNOST LETATELNIH APARATOV, Visšaia škola, Moskva, 1975.
- [10] VTU, VAZDUHOPLOVNO TEHNIČKO UPUSTVO ZA KONKRETNI AVION, VTU, 1991.
- [11] N. Vujanović: TEORIJA POUZDANOSTI TEHNIČKIH SISTEMA, Vojnoizdavački centar, Beograd, 1990.
- [12] D. Zelenović, J. Todorović: EFEKTIVNOST SISTEMA U MAŠINSTVU, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [13] M. Živaljević: POUZDANOST SISTEMA ZA ZAUSTAVLJANJE I AUTOMATSKO KOČENJE BORBENOG AVIONA, SYM-OP-IS '94, Kotor, 1994.

Mr Miroslav Stanić,
major
Mr Zoran Branković,
ppuk, dipl. inž.

NEKE MOGUĆNOSTI VREDNOSNOG IZRAŽAVANJA PRODUKTIVNOSTI U JEDINICAMA I USTANOVAMA VOJSKE JUGOSLAVIJE ZA ODRŽAVANJE TEHNIČKIH SREDSTAVA

Uvodna razmatranja

Do sada su u literaturi razmatrani mnogi primeri produktivnosti rada. Pri tome se moglo uočiti da određena teorijska opredeljenja utiču na oblike iskazivanja i metode merenja produktivnosti [6]. Osnovni izraz za produktivnost je [1]:

$$P = \frac{Q}{t} \quad (1)$$

Bitni metodološki problemi u iskazivanju produktivnosti odnose se na određivanje vrednosti Q^1 i t^2) u izrazu za produktivnost [9].

¹) U zavisnosti od karakteristika proizvodnih i uslužnih delatnosti primenjuju se najčešće sledeći oblici za iskazivanje proizvodnje i količine izvršenih usluga Q :

— naturalni (komadi, tone, ili norma-čas NC, norma-čas usluga NC-u i mašinski čas mč, ako se radi o heterogenoj proizvodnji ili uslužnoj delatnosti preduzeća, kao što je održavanje tehničkih sredstava), i

— vrednosni (pomoću prodajnih cena u kojima se iskazuje proizvodnja ili bilo koja od njenih komponenta kao što su dohodak, dobit, akumulacija [6].

²) Problemi vezani za određivanje vrednosti t u izrazu za produktivnost ogledaju se u sledećem:

— kojim jedinicama radnog vremena meriti utrošeni rad (radnik-čas, radnik-mesec, radnik-godina), i

— koje kategorije radnika treba obuhvatiti (produktivnost rada direktnih proizvodnih radnika iz neposredne proizvodnje, produktivnost rada direktno i indirektno proizvodnih radnika i organizatora proizvodnje i produktivnost svih radnika u preduzeću) [6].

S obzirom na određene probleme u iskazivanju produktivnosti, u ovom radu je razrađen primer metodološkog pristupa za sagledavanje nekih mogućnosti vrednosnog izražavanja produktivnosti u jedinicama i ustanovama VJ za održavanje tehničkih sredstava.

Za vrednosno izražavanje produktivnosti koriste se [2]:

- fizičke merne jedinice;
- tržišna cena proizvoda i usluga;
- cena koštanja, i
- društveno potrebni rad.

Tržišna cena proizvoda i usluga kao i cena koštanja, najčešće su korišćene metode za merenje produktivnosti, pa se ovaj rad, uglavnom, zasniva na njihovim mogućnostima. Uvažavajući nedostatke ovih metoda obe se mogu koristiti kod dohodovnih ustanova, kao što su remontni zavodi, dok se kod jedinica za održavanje koristi samo metoda cena koštanja.

Problemi oko vrednosnog izražavanja produktivnosti za količinu izvršene usluge u određenom periodu sastoje se u utvrđivanju cene koštanja, planiranog i ostvarenog norma-časa usluge (NC-u) određene vrste planiranih ili izvršenih usluga, a zatim ukupne količine izvršenih usluga kao osnove za vrednosni iz-

raz produktivnosti na nivou organizacionih celina VJ za održavanje.

Da bi se izračunala cena koštanja jednog planiranog, odnosno stvarnog NČ izvršene usluge (I TP, II TP, SR ili GR nekog tehničkog sredstva),* mora se izračunati cena jednog prosečnog planiranog norma-časa direktnog radnika ($\bar{C}_{nrč}$) i jednog prosečno ostvarenog (efektivnog) radnog časa direktnog radnika ($\bar{C}_{erč}$). U tu cenu ulaze troškovi materijala, sredstava za rad i rada direktnih i indirektnih radnika, odnosno režijske radne snage. U ovom radu je u izrazu za produktivnost u brojitelju uvršten vrednosni izraz naturalne vremenske jedinice, izražen kao suma cene norma-čas us-

$$\text{luga } \sum_{i=1}^n C_{NČ-u}.$$

Veća ili manja produktivnost rada u organizacionim celinama VJ za održavanje bitno utiče na raspoloživost tehničkih sredstava, što se direktno odražava na borbenu gotovost jedinica VJ. Količina izvršenih usluga izražava se prvenstveno u naturalnim vremenskim jedinicama kod jedinica za održavanje u VJ.

To ne znači da se produktivnost ne može izražavati i u uslovima ograničenog delovanja tržišta³⁾ (dohodovne ustanove kao što su tehnički remontni zavodi) ili kada je ono potpuno isključeno (jedinice za održavanje u VJ), odnosno kada nije prisutno dejstvo ekonomske prisile u smislu snažnog uticaja na aktivnosti u racionalnoj upotrebi svih faktora proizvodnje, a posebno ljudskog faktora, tj. raspoloživog fonda radnog vremena. Primat se daje operativnim kriterijumima pomoću kojih se dobija ocena stepena izvršenja zadataka tehničkog obezbeđenja (obim i vreme izvr-

šenja zadataka, i sl.). Ne smeju se izgubiti iz vida i ekonomski kriterijumi koji mogu znatno smanjiti obim angažovanja resursa za izvršenje zadataka uz minimalne troškove, i time bitno povratno uticati na poboljšanje nivoa raspoloživosti tehničkih sredstava.

Cena koštanja prosečnog norma radnog časa i prosečnog efektivnog radnog časa

Cena koštanja prosečnog norma radnog časa

Cena planiranog prosečnog norma radnog časa ($C_{nrč}$) direktnih radnika različitih specijalnosti na održavanju tehničkih sredstava, odnosno za određenu vrstu i količinu usluge, može se izračunati za određeni period (sedmica, mesec, godina, ...) tako da svi troškovi koji mogu da se izmere ulaze u cenu. Izračunava se po obrascu [5]:

$$\bar{C}_{nrč} = \frac{C_{kp} + C_{kr} + C_p + C_{r/d} + C_{pr}}{K_{nrč}} + \frac{C_{op} + C_{zal} + C_{tr} + C_{opš}}{K_{nrč}} \text{ (din/rč)} \quad (2)$$

gde je:

- $K_{nrč}$ — planirani broj norma radnih časova direktnih radnika za izvršenje određene količine usluga u određenom periodu, (rč);
- C_{kp} — troškovi rada svih direktnih radnika u organizacijskoj celini za održavanje tehničkih sredstava (din.);
- C_{kr} — troškovi indirektnih radnika (režijska radna snaga), (din.);
- C_p — troškovi prostora za održavanje, (din.);
- $C_{r/d}$ — troškovi rezervnih delova, (din.);
- C_{pr} — troškovi potrošnog i reproduccionog materijala, (din.);

* I TP — prvi tehnički pregled; II TP — drugi tehnički pregled; SR — srednji remont; GR — generalni remont.

³⁾ Izračunata cena izvršene usluge može se upoređivati sa cenom iste usluge na tržištu (kod dohodovnih ustanova), s tim da je kod jedinica-ustanova za održavanje bitna ocena jedinice za čije potrebe se ta usluga vrši u smislu raspoloživosti tehničkih sredstava, uz što niže troškove.

- C_{op} — troškovi opreme za održavanje (din.);
 C_{zal} — troškovi zaliha r/d, p/m i r/m (din.);
 C_{tr} — troškovi transporta (din.);
 $C_{opš}$ — opšti troškovi (din.).

Troškovi rada pri izvršenju zadataka održavanja tehničkih sredstava (troškovi radne snage)

Pod radnom snagom (kadrom) za održavanje tehničkih sredstava podrazumeva se lični formacijski sastav organizacijske celine za održavanje tehničkih sredstava. Radna snaga u osnovi se deli na direktne (proizvodne) radnike i indirektno radnike (režijska radna snaga).

Pod pojmom *direktni radnik* podrazumevaju se samo ona lica (vojnici, civilna i vojna lica) koja rade na održavanju tehničkih sredstava, isključivo po radnoj listi. Sva ostala lica predstavljaju režijsku radnu snagu.

Troškovi *direktnih radnika* C_{kp} (bruto-plate radnika) izračunavaju se po obrascu:

$$C_{kp} = \sum_{i=1}^n LD_i \cdot (1 + S_d) \text{ (din.)} \quad (3)$$

gde je:

- S_d — stopa doprinosa (dobija se od finansijskih organa);
 LD_i — plate i direktnih radnika u određenom vremenskom periodu;
 n — broj direktnih radnika koji učestvuju u održavanju sredstva.

Troškovi režijske radne snage C_{kr} mogu se izračunati po istom obrascu za određeni vremenski period.

Troškovi vojničke radne snage obračunavaju se na osnovu bruto-plate kvalifikovanog radnika najniže grupe [3].

Troškovi prostora za održavanje

Prostor za održavanje je mesto na kojem se realizuju aktivnosti (programi) održavanja tehničkih sredstava. Najčešće obuhvata sledeće objekte:

- servisnu stanicu;
- akumulatorsku stanicu;
- tehničku radionicu, i
- objekte za srednji i generalni remont i druge.

Troškovi prostora za održavanje izračunavaju se po obrascu:

$$C_p = E_e + E_t + E_{sv} + E_{ip} + V_p + S_{\xi} + S_a \text{ (din.)} \quad (4)$$

gde su:

- E_e — troškovi električne energije;
 E_t — troškovi toplotne energije (drva, ugalj, lož ulje, centralno grejanje);
 E_{sv} — troškovi energije sabijenog vazduha;
 E_{ip} — troškovi energije industrijske pare;
 V_p — troškovi vode (sanitarna i industrijska);
 S_{ξ} — troškovi sredstava za čišćenje;
 S_a — troškovi održavanja objekata u kojima se vrše poslovi održavanja.

Troškovi rezervnih delova

Utrošeni, odnosno zamenjeni rezervni delovi u procesu održavanja (izdati po obrascu MP-25), imaju svoje tržišne cene preko kojih se izračunavaju troškovi rezervnih delova po obrascu:

$$C_{r/d} = \sum_{i=1}^m n \cdot C_{r/d_i} \text{ (din.)} \quad (5)$$

gde je:

- n — broj istovrsnih rezervnih delova;
 C_{r/d_i} — jedinačna cena i-te vrste rezervnih delova;
 m — broj utrošenih vrsta rezervnih delova.

Troškovi potrošnog i reprodukcionog materijala

Troškovi izdatog potrošnog i reprodukcionog materijala (izdati po obrascu MP-25) mogu se izračunati po obrascu:

$$C_{pr} = \sum_{i=1}^k n \cdot C_{pr_i} \text{ (din.)} \quad (6)$$

gde je:

- n — broj istovrsnog potrošnog i reprodukcionog materijala;
- C_{pr_i} — jedinačna cena potrošnog i reprodukcionog materijala;
- k — broj utrošenih vrsta potrošnog i reprodukcionog materijala.

Troškovi opreme za održavanje

Troškovi opreme za održavanje izračunavaju se po obrascu:

$$C_{op} = C_{ao} + C_{oo} \text{ (din.)} \quad (7)$$

gde su:

- C_{ao} — troškovi amortizacije opreme za održavanje,
- C_{oo} — troškovi održavanja opreme.

Troškovi amortizacije opreme za održavanje izračunavaju se po obrascu:

$$C_{ao} = \sum_{i=1}^p \frac{C_{o_i}}{t_i} \text{ (din./god)} \quad (8)$$

gde su:

- C_{o_i} — nabavna cena opreme za održavanje, (din.);
- t_i — dužina perioda amortizacije (u načelu ne može biti manji od 10 godina), (god.);
- p — broj grupa opreme za održavanje za koju se vrši proračun amortizacije.

Troškovi održavanja opreme izračunavaju se po obrascu:

$$C_{od} = \sum_{i=1}^z n_i \cdot C_{od_i} \text{ (din.)} \quad (9)$$

gde su:

- n_i — količina opreme i -te vrste ($i=1 \dots z$);
- C_{od_i} — troškovi održavanja opreme i -te vrste ($i=1 \dots z$);
- z — broj grupa opreme koja se koristi u održavanju sredstva.

Troškovi zaliha r/d , p/m i r/m

Određene količine rezervnih delova r/d , potrošnog p/m i reprodukcionog materijala r/m predstavljaju zalihe koje se nalaze u skladištima zbog:

— potrebe kontinualnog obezbeđenja procesa održavanja tehničkih sredstava;

— nemogućnosti nabavke potrebnih količina r/d , p/m i r/m usled nestašice na tržištu;

— mogućnosti ostvarivanja povoljnih uslova nabavke zbog nižih cena na tržištu, i slično.

Iz navedenih razloga zalihe moraju postojati. One, u vidu troškova, povećavaju ukupne troškove održavanja tehničkih sredstava zbog angažovanja novčanih sredstava. Izražavaju se obrascem:

$$C_{za} = \gamma \cdot C_k \text{ } r/d \text{ (din.)} \quad (10)$$

gde su:

- γ — koeficijent nivoa zaliha (0,1 do 0,15);
- $C_k \text{ } r/d$ — cena kontingenta r/d , p/m i r/m ;

Cena kontingenta r/d , p/m i r/m izračunava se po obrascu (5) ili (6).

Zavisno od ekonomskih kretanja ove troškove treba izračunavati jednom ili više puta u toku godine, i redovno vršiti njihovu revalorizaciju.

Troškovi transporta

Troškovi transporta tehničkih sredstava nastaju zbog njihovog transporta do mesta održavanja ili dolaska izvršilaca na mesto održavanja.

Troškovi transporta (C_{tr}) mogu se izračunati na osnovu sledećeg izraza:

$$C_{tr} = T_{pr} + D + T_p \text{ (din./sredstvo)} \quad (11)$$

gde je:

T_{pr} — troškovi prevoza — vuče tehničkog sredstva, odnosno troškovi dolaska izvršilaca;

D — troškovi dnevnica;

T_p — troškovi pakovanja.

Opšti troškovi

U opšte troškove se ubrajaju:

— troškovi kancelarijskog materijala;

— troškovi opreme zaštite na radu (radna odela, cipele, čizme, rukavice...);

— PTT troškovi;

— troškovi sanitetskog materijala;

— troškovi dopunske ishrane (mleko, sok, ...);

— troškovi sitnog inventara;

— troškovi transporta koji su vezani za funkcionisanje sistema održavanja;

— neproizvodne usluge;

— troškovi dokumentacije i informatike;

— autorski honorari;

— naknada šteta;

— ostali troškovi održavanja.

Opšti troškovi održavanja tehničkih sredstava predstavljaju sumu navedenih troškova:

$$C_{opš} = \sum_{i=1}^h C_i \text{ (din.)} \quad (12)$$

gde je:

C_i — vrsta opštih troškova,

h — broj opštih troškova.

Cena koštanja prosečnog efektivnog radnog časa

Cena prosečnog efektivnog radnog časa direktnih radnika (analogno norma radnom času) može se izračunati po obrascu:

$$\bar{C}_{erč} = \frac{C_{kp} + C_{kr} + C_p + C_{r/d} + C_{pr}}{K_{erč}} + \frac{C_{op} + C_{zal} + C_{tr} + C_{opš}}{K_{erč}} \text{ (din./rč)} \quad (13)$$

gde su sve vrednosti iste kao i u izrazu (2), osim $K_{erč}$ koji predstavlja ostvarene efektivne radne časove svih direktnih radnika različitih specijalnosti u određenom vremenskom periodu.

Cena planiranih ili izvršenih usluga

Cena koštanja planiranog ili ostvarenog norma-čas usluga određene vrste planiranih ili izvršenih usluga

a) Cena jednog planiranog NČ-u¹⁾ ($pC_{NČ-u}$) za određene količine i vrste usluga na održavanju tehničkih sredstava može se izračunati na osnovu sledećeg izraza (tabela 1):

$$pC_{NČ-u} = \bar{P}_1 \cdot \bar{C}_{nrč} \text{ (din.)} \quad (14)$$

$\bar{P}_1 = \frac{K_{nrč}}{K_p}$, gde je:

$\bar{P}_1$ — prosečan broj nrč direktnih radnika različitih specijalnosti, koji je ekvivalentan jednom pNČ-u kao mere za izvršenje određene planirane količine i vrste usluga;

K_p — ukupan broj planiranih NČ-u za izvršenje određene vrste usluga u određenom vremenskom periodu (izražen u astronomskim časovima).

Prosečan broj nrč direktnih radnika koji je ekvivalentan jednom pNČ-u (kao mere za izvršenje određene planirane količine i vrste usluga) ima svoje slabosti, jer radnici različitih specijalno-

¹⁾ To je astronomsko vreme trajanja (realno vreme, odnosno vremenski interval) određene usluge (npr. početak remonta tehničkog sredstva je u 07.00 časova, a završetak u 15.00 časova istog dana, što znači da je trajao ukupno 8 časova). Planirano i stvarno vreme se najčešće razlikuju. Ono je uslovljeno stepenom iskorištenosti kapaciteta, stepenom iskorištenosti radnog vremena i organizacijom rada.

Za izračunavanje cene jednog norma-časa određene usluge (C_{NC-u}) za period

(sedmica, mesec, godina)

		Vrste usluga i naziv sredstva					Ukupno
		II TP TAM 500	I TP Tenk T-55	Laki remont AR-55	. .	Rezerv. vreme	
		1	2	3	. .	n	
Planirana struktura za vršenje usluge u odnosu na ukupni kapacitet (%)		10	20	5	. .	10	$\Sigma = 100\%$
Broj određenih vrsta usluga	Planirano N_p	5	...	...			$\Sigma = N_p$
	Ostvareno N_s	3	...	...			$\Sigma = N_s$
Ukupni broj planiranih nrč za određenu vrstu usluge $K_{nrč}$ (nrč)		160					
Ukupni broj ostvarenih erč za određenu vrstu usluge $K_{erč}$ (erč)		72					
Ukupni broj planiranih NC-u za određene vrste usluga u određenom vremenskom periodu K_p (NC-u)		50					
Ukupni broj stvarnih NC-u za određene vrste usluga u određenom vremenskom periodu K_s (NC-u)		24					
Prosečan broj nrč direktnih radnika koji je ekvivalentan jednom pNC-u za izvršenje određene usluge $\bar{p}_i$		3,2					
Prosečan broj erč direktnih radnika koji je ekvivalentan jednom pNC-u za izvršenje određene usluge $\bar{p}_s$		3					
Prosečna planirana cena koštanja planiranog norma radnog časa direktnih radnika različitih specijalnosti $\bar{C}_{nrč}$ (din.)		100 (pretpostavka)					
Prosečna ostvarena cena koštanja ostvarenog norma radnog časa direktnih radnika različitih specijalnosti $\bar{C}_{erč}$ (din.)		90 (pretpostavka)					
Cena koštanja jednog planiranog NC-u za izvršenje određene usluge $p_{C_{NC-u}}$ (din.)		320					
Cena koštanja jednog ostvarenog NC-u za izvršenje određene usluge $s_{C_{NC-u}}$ (din.)		278					

sti nemaju istu složenost posla i kvalifikaciju. Međutim, dobra mu je strana što se može koristiti za izračunavanje produktivnosti na nivou organizacijske jedinice.

b) Cena jednog ostvarenog NČ-u (s_{NC-u}) za određene količine i vrste usluga na održavanju i remontu tehničkih sredstava može se izračunati na osnovu sledećeg izraza:

$$s_{NC-u} = \bar{P}_2 \cdot \bar{C}_{erč} \text{ (din.)} \quad (15)$$

$$\bar{P}_2 = \frac{K_{erč}}{K_s}, \text{ gde je:}$$

$\bar{P}_2$ — prosečan broj erč *direktnih radnika* različitih specijalnosti koji je ekvivalentan jednom s_{NC-u} , kao mere za izvršenje određene planirane količine i vrste usluga,

K_s — ukupan broj stvarno izvršenih NČ-u za određenu vrstu usluge u određenom vremenskom periodu (izražen u astronomskim časovima).

Primena postupka za izračunavanje cene koštanja planirane i izvršene usluge

a) Cena koštanja planirane usluge izračunava se prema izrazu:

$$pC_{koš} = R_p \cdot pC_{NC-u} \text{ (din.)} \quad (16)$$

gde je:

$pC_{koš}$ — planirana cena koštanja izvršene usluge,

R_p — broj planiranih NČ-u za izvršenje određene usluge.

b) Cena koštanja izvršene usluge izračunava se prema izrazu:

$$sC_{koš} = R_s \cdot sC_{NC-u} \text{ (din.)} \quad (17)$$

gde je:

$sC_{koš}$ — stvarna cena koštanja jedne izvršene usluge,

R_s — broj stvarnih NČ-u za izvršenje određene usluge.

Postupak izračunavanja planirane i stvarne cene koštanja za izvršenje jedne usluge održavanja prikazan je na sledećem primeru: na motornom vozilu TAM 5000 planira se izvođenje II TP. Planirani utrošak nrč (rč direktnih radnika) je:

2 automehaničara — 20 sati

1 autoelektričar — 2 sata

1 vozač — 10 sati

Na osnovu ovih podataka dobija se da je $\sum_{i=1}^3 nrč_i = 32$ sata.

Analizom tehnološkog postupka izvršenja II TP na motornom vozilu TAM 5000 dolazi se do zaključka da će *direktni radnici* iste i različitih specijalnosti timski raditi na izvršenju usluge (tehnološku celinu čine 2 automehaničara, 1 autoelektričar i vozač). Oni će zadatak završiti za 10 sati astronomskog vremena, odnosno 10 NČ-u (planirani vremenski interval trajanja vršenja usluge II TP, jer je 1 NČ-u = 1 čas astronomskog vremena). Utvrđivanje ovog intervala³⁾ zavisi od stepena iskoristivosti kapaciteta, stepena iskoristivosti radnog vremena i od organizacije rada.

Stvarni broj utrošenih efektivnih radnih časova *direktnih radnika* je:

— automehaničar 14,5 sati;

— autoelektričar 1,5 sati;

— vozač 8 sati.

Na osnovu ovih podataka dobija se da je $\sum_{i=1}^3 erč = 24,0$ sati za navedenu uslugu.

Ako je vreme početka vršenja usluge u tehničkoj radionici 7,00 časova, a vreme završetka vršenja usluge 15,00 časova, zaključuje se da je stvarno vreme trajanja vršenja usluge II TP 8 ča-

³⁾ Interval do sada nije normiran u praksi, što ne znači da na njega indirektno nije uticao normirani rad direktnih radnika. S obzirom na to da je on realnija mera za kapacitet u određenom vremenskom periodu, treba ga normirati u zavisnosti od realizacije određene vrste usluga za svaki kapacitet za održavanje posebno.

sova (1 radni dan od 8 časova). Planirano vreme trajanja vršenja usluge je 10 pNC-u (R_p) a stvarno vreme trajanja vršenja usluge je 8 sNC-u (R_s).

Pod uslovom da je izračunata cena planiranog i ostvarenog norma-čas usluga određene vrste planirane i ostvarene usluge, po izrazu (14) i (15), cena koštanja II TP TAM 5000 može se izračunati na sledeći način:

$$pC_{NC-u} = 320 \text{ (din.)},$$

$$pC_{koš} = R_p \cdot pC_{NC-u} = 10 \cdot 320 = 3200 \text{ (din.)},$$

$$sC_{NC-u} = 270 \text{ (din.)},$$

$$sC_{koš} = R_s \cdot sC_{NC-u} = 8 \cdot 270 = 2160 \text{ (din.)}.$$

Kriterijumi za vrednosno izračunavanje produktivnosti

Planirana i ostvarena produktivnost (P_p i P_s) u organizacionim celinama VJ može se izračunati primenom određenih kriterijuma (tabela 2):

a) Planirana produktivnost (P_p) izračunava se na sledeći način:

$$P_p = \frac{C_{pl}}{M_{rč}} \text{ (din./rč)} \quad (18)$$

gde je:

C_{pl} — cena koštanja ukupno planirane količine određene vrste usluga u određenom periodu;

$M_{rč}$ — broj mogućih radnih časova svih radnika u nekoj organizacionoj celini u određenom periodu.

Cena koštanja ukupno planirane količine određene vrste usluga u određenom vremenskom periodu može se izračunati prema izrazu:

$$C_{pl} = K_p \cdot pC_{NC-u} \text{ (din.)} \quad (19)$$

gde je:

K_p — ukupni broj planiranih NC-u za određenu vrstu usluge;

pC_{NC-u} — cena jednog planiranog NC-u za izvršenje određene količine i vrste usluge u određenom periodu.

b) Ostvarena produktivnost (P_s) izračunava se na sledeći način:

$$P_s = \frac{C_{st}}{S_{rč}} \text{ (din./rč)} \quad (20)$$

gde je:

C_{st} — cena koštanja ukupno ostvarene količine određene vrste usluga u određenom vremenskom periodu;

$S_{rč}$ — broj stvarnih radnih časova svih radnika u nekoj organizacionoj celini u određenom periodu.

Cena koštanja ukupno ostvarene količine određene vrste usluga u određenom periodu može se izračunati prema izrazu:

$$C_{st} = K_s \cdot sC_{NC-u} \text{ (din.)} \quad (21)$$

gde je:

K_s — ukupni broj stvarno izvršenih NC-u za određenu vrstu usluge;

sC_{NC-u} — cena jednog ostvarenog NC-u za izvršenje određene količine i vrste usluge u određenom periodu.

c) Vrednosni izraz produktivnosti na nivou organizacijske jedinice može se izračunati na osnovu sledećeg izraza:

$$P = \frac{M_{rč}}{S_{rč}} \cdot \frac{C_{st}}{C_{pl}} \cdot 100 \text{ (‰)} \quad (22)$$

Zaključak

Predloženi način merenja produktivnosti u organizacionim celinama VJ za održavanje ima sledeće prednosti:

— pored naturalnog načina izražavanja produktivnosti u organizacionim celinama VJ za održavanje može se i kvalitativno, odnosno vrednosno, izražavati produktivnost. Ona je veoma bitna sa stanovišta cena i tržišta za obavljanje navedenih usluga. Pri tome se ne

Za izračunavanje vrednosnog izraza produktivnosti za period

(sedmica, mesec, godina)

		Vrste usluga i naziv sredstva					Ukupno
		II TP TAM 500	I TP Tenk T-55	Laki remont AR-55	. . .	Rezerv. vreme	
		1	2	3	. . .	n	
Cena koštanja ukupne količine određenih vrsta usluga u određenom vremenskom periodu	PLANIRANO C _{pl} (din.)	16 000					
	OSTVARENO C _{st} (din.)	6 400					
Broj mogućih radnih časova M _{rč} = K _{nrč} + Σ rč	Direktnog rada K _{nrč}	160					180
	Indirektnog rada Σ rč	20 (Pretpostavka)					
Broj stvarnih radnih časova S _{rč} = N _{erč} + Σ rč	Direktnog rada K _{erč}	72					92
	Indirektnog rada Σ rč	20 (Pretpostavka)					
PRODUKTIVNOST RADA	Planirana produktivnost P _p (din.)	88,88					
	Ostvarena produktivnost P _s (din.)	70,43					
Produktivnost organizacione jedinice određene uslužne delatnosti P (‰)		79,2					

smeju zanemariti operativni kriterijumi koji su primarni za borbenu gotovost jedinica;

— ovaj metodološki pristup uzima u obzir ukupni rad (direktni i indirektni) i kapacitet organizacijskih celina za obavljanje određenih usluga. Osnovna jedinica za merenje kapaciteta — količinu izvršenih usluga jeste normačas usluga NČ-u. Bitna pretpostavka za naturalno i vrednosno izražavanje produktivnosti je potreban nivo usavršenih normi za održavanje.

Mora se imati u vidu da se, pored rada *direktnih radnika* različitih specijalnosti, može normirati i interval (koji

je u ovom slučaju izražen u NČ-u) vršenja određenih usluga koji je uslovljen stepenom iskorištenosti kapaciteta (preduzeća, pogona, mašine ili bilo koje druge proizvodne jedinice), stepenom iskorištenosti radnog vremena i organizacijom rada. Najveći deo poslova koji obavljaju *direktni radnici* različitih specijalnosti je normiran, što se ne može reći i za interval vršenja određenih usluga koji bi trebalo normirati za svaki kapacitet za održavanje posebno;

— prethodno opisani matematički model za vrednosno izražavanje produktivnosti može se automatizovati, tako da se svi potrebni podaci mogu brzo i tačno izračunavati.

Literatura:

- [1] A. Dragičević: Leksikon političke ekonomije, Informator, Zagreb, 1984.
- [2] S. Kukoleča i drugi: Ekonomika i organizacija proizvodnje, Savremena administracija, Beograd, 1989.
- [3] TU SSNO: Uputstvo za rad organa tehničke službe pozadine garnizona — kasarne, TU-V, 51, 1978.
- [4] R. Petković i drugi: Organizacija održavanja tehničkih materijalnih sredstava, CVTS-VVTS KoV JNA, Zagreb, 1988.
- [5] Izrada modela troškova životnog ciklusa TMS, Institut »Boris Kildrič« Vinča, Beograd, 1985.
- [6] R. Stanojević: Produktivnost rada kao kriterijum za izbor optimalnog programa proizvodnje, Industrija 3/80, str. 27—38.
- [7] N. Čubra: Savetovanje o produktivnosti u vojnim ustanovama koje posluju po principu sticanja i raspodele dohotka, Pozadina 3/87, str. 69—96.
- [8] M. Petrović: Cinioci unapređenja produktivnosti rada u TRZ kopnene vojske, Pozadina, str. 73—81.
- [9] M. Banović i drugi: Raspodela dohotka i ličnih dohodaka kao raspodela produktivnosti rada u vazduhoplovnim zavodima, Pozadina 4/87, str. 81—87.
- [10] M. Stanić: Mogućnost preciznog merenja produktivnosti u dohodovnim ustanovama i jedinicama JNA za tehničko održavanje, Pozadina 1/90, str. 66—84.
- [11] S. Vasiljković i drugi: Merenje produktivnosti rada u remontnim zavodima ratne mornarice, Pozadina 4/87, str. 87—93.
- [12] M. Nikolić: Efikasnost funkcionisanja sistema tehničkog obezbeđenja ZTJ u oružanoj borbi, doktorska disertacija, CVTS KoV JNA, Zagreb, 1989.

Mr Ljubiša Tančić,
major, dipl. inž.

IZBOR OPTIMALNIH BALISTIČKIH PARAMETARA U FAZI PROJEKTOVANJA ORUĐA

Uvod

Balističko projektovanje podrazumeva određivanje optimalnih osnovnih konstruktivnih karakteristika cevi, uslova punjenja i energetske karakteristika opaljenja na osnovu taktičko-tehničkih zahteva (TTZ) ili propisa o kvalitetu proizvoda (PKP) koji se postavljaju pred oruđe, i definisana je kroz tri osnovna zadatka:

— *klasični zadatak* definiše kalibar cevi, masu projektila i početnu brzinu projektila, a određuje karakteristike kanala cevi, uslove punjenja oruđa, osnovne karakteristike punjenja i sve podatke neophodne za proračun cevi, projektila i lafeta;

— *uopšteni zadatak* usvaja maksimalni domet za oruđe zemaljske artiljerije, probojnost na zadanoj daljini cilja za protivoklopna oruđa ili horizontalnu daljinu i visinu cilja za protivavionska oruđa, odabira kalibar oruđa, masu projektila, početnu brzinu projektila i sve ostale parametre, kao i klasični zadatak. Očigledno da je klasični zadatak jedan deo uopštenog zadatka;

— *uprošćeni zadatak*, u odnosu na klasični, definiše još neka dodatna ograničenja. Tako, na primer, projektovano oruđe mora da koristi istu municiju kao neko već postojeće oruđe tog kali-

bra, ili istu cev, hidroelastični sistem, lafet, itd. Ovaj zadatak se rešava kao i klasični, s tim što su neki parametri unapred zadani i ne treba ih analizirati. Ovaj zadatak obuhvata i problem modifikacije nekog dela postojećeg oruđa na bazi promene unutrašnjebalističkih parametara.

Klasičan zadatak može da se reši tabličnim i analitičkim metodama. Tablične metode su starije i daju neke srednje podatke, tako da ne nalaze veliku primenu. Analitičke metode daju sistem odgovarajućih jednačina na osnovu teorije unutrašnje balistike. Izbor parametara vrši se rešenjem sistema jednačina, uz odgovarajuće kriterijume nalaženja optimalnog rešenja. Od analitičkih metoda uglavnom se koriste metoda Sluhockog, metoda Serebrjakova i metoda Čujeva [1, 2].

Uopšteni zadatak sastavljen je, uglavnom, od dva dela. Prvi deo predstavlja postupak izbora optimalnog oruđa, a drugi deo je klasičan zadatak balističkog projektovanja. U ovom radu biće obrađena metoda Čujeva prema [1, 2] za oruđa zemaljske artiljerije (ZA).

Današnja teorija ratovanja predviđa veći domet ZA, pa je tendencija razvoja artiljerijskih oruđa da se modifikuju postojeća ili konstruišu nova oruđa sa što boljim performansama.

Cilj ovog rada je da se na osnovu definisanih željenih podataka kao što su: početna brzina projektila $V_0=820$ m/s, masa projektila $m=46$ kg, maksimalni pritisak barutnih gasova $p_m \leq 300$ MPa i dužina vodišta projektila $L_k \approx 39$ kalibara — odrede optimalni balistički parametri posebno: najpogodniji barut, masa baruta i zapremina barutne komore na osnovu kriterijuma cene artiljerijskog oruđa.

Korišćene oznake i unutrašnjebalistički parametri:

$\frac{W_0}{m}, \frac{W_0}{d^3}$ — zapremina barutne komore,

koja se definiše kao relativni odnos prema masi projektila ili kalibru na treću;

$\frac{L_c}{d}$ i $\frac{L_k}{d}$ — dužina cevi i kanal cevi de-

finišu se u relativnom odnosu sa kalibrom cevi;

$\lambda_u = \frac{X_u}{X_0}$ — relativni put projektila de-

finiše se kao odnos ukupnog puta i dužine barutne komore;

$\chi = \frac{X_0}{X_{kom}}$ — koeficijent proširenja ba-

rutne komore predstavlja odnos dužine barutne komore i stvarne dužine barutne komore;

$\Delta = \frac{\omega}{W_0}$ — gustina punjenja predstavlja odnos mase baruta i barutne komore;

$\frac{\omega}{m}$ — masa baruta se daje u relativnom odnosu prema masi projektila;

$K_m = \frac{m}{d^3}$ — koeficijent mase projektila predstavlja odnos mase projektila i kalibra na treću;

$\frac{I_k}{d}$ — ukupni impuls pritiska barutnih

gasova takođe se daje u odnosu na kalibar i koristi se za definisanje modela baruta;

$B = \frac{S^2 I_k^2}{\phi m f \omega}$ — parametar Drozdova ob-

jedinjuje prethodna tri parametra, a predstavlja osnovnu karakteristiku za određivanje maksimalnog pritiska i položaja projektila na kraju sagorevanja. Smanjenjem parametra B raste p_m , a tačka kraja sagorevanja se pomera ka dnu cevi;

$K_k = \frac{X_k}{X_u}$ — relativni put projektila na

kraju sagorevanja predstavlja odnos puta na kraju sagorevanja i ukupnog puta projektila u cevi;

$K_e = \frac{E_0}{d^3}$ — koeficijent moći oruđa pred-

stavlja odnos kinetičke energije projektila na ustima cevi i kalibra na treću;

$K_\omega = \frac{E_0}{\omega}$ — koeficijent iskorišćenja ma-

se punjenja predstavlja odnos kinetičke energije na ustima cevi i mase punjenja;

$K_0 = \frac{E_0}{E}$ — koeficijent korisnog dejstva

barutnog punjenja predstavlja odnos kinetičke energije na ustima cevi i raspoložive energije barutnog punjenja tj. potencijala baruta;

N — vek cevi podrazumeva broj metaka koji može da se ispali iz cevi, a da cev ima karakteristike (V_0 i p_m) u dozvoljenim granicama.

Ograničenja pri balističkom projektovanju:

$L_c \leq L_{cdoz}$ — dužina cevi gde je $L_c = L_\alpha + L_k + L_{gk}$, pri čemu je $L_k = f(\Delta, \omega, p_m, \chi)$; $m_c \leq m_{cdoz}$ — masa cevi;

$\Delta_{min} \leq \Delta \leq \Delta_{mx}$ — gustina punjenja dvostruko ograničena;

$N(L_k, p_m, \Delta, \chi) \geq N_{doz}$ — dozvoljeni vek cevi (minimalni);

$p_m \leq p_{mdoz}$ — dozvoljeni maksimalni pritisak barutnih gasova;

$\frac{\omega}{\Delta} = W_{dov}$ — zapremina barutne komore;

$K_k < 0,8$ — položaj kraja sagorevanja;
 $\chi_{mn} \leq \chi \leq \chi_{mx}$ — koeficijent proširenja barutne komore.

Opis metode Čujeva

Nedostatak metoda Sluhockog i Se-rebrjakova [1, 2] jeste u tome što važni parametri, kao što su: maksimalni pritisak barutnih gasova p_m i koeficijent proširenja barutne komore χ , a kod Sluhockog i gustina punjenja Δ , ne variraju. Oni se biraju na osnovu opita pri projektovanju. Opit je, u svakom slučaju, neophodan, ali dostignuta naučno-tehnička saznanja omogućuju promenu

karakteristika baruta, cevnih čelika, zahteva za konstrukcijom, itd., što uslovljava da što više parametara varira. Zbog toga treba tražiti nove pristupe problemu i nove metode. Prema [1] dat je jedan od mogućih prilaza ka rešavanju klasičnog zadatka, a razmatra se i uopšteni zadatak. U ovom radu posmatra se klasični zadatak.

Polazna varijanta definiše se praktično isto kao u metodi Sluhockog, a onda se poboljšava metodama operacionih istraživanja. Za izbor polazne varijante koristi se tablica slična tablici Sluhockog samo sa pouzdanijim i realnijim rezultatima. Tablica je sastavljena za koeficijent mase projektila $K_m = 15\,000 \text{ kg/m}^3$, tabela 1. Ukoliko stvarna vrednost K_m bitno odstupa od tablične, treba preračunati koeficijent moći oruđa K_o i koeficijent iskorišćenja mase punjenja K_ω u odnosu na tablične.

Tabela 1

Vrednosti karakteristika za $K_m = 15\,000 \text{ kg/m}^3$

$10^{-7} K_o$ J/m ³	P_{mkr} MPa	Δ kg/m ³	χ	$10^{-4} K_\omega$ J/kg	L_c/d	V_o m/s
50	125	470	1,01	136	12	252
100	170	510	1,02	134	18	362
200	195	580	1,09	130	29	573
300	220	640	1,18	127	39	627
400	245	680	1,28	123	47	725
500	270	710	1,39	120	53	810
600	295	720	1,5	116	59	888
700	320	740	1,61	113	63	957
800	340	740	1,73	111	66	1025
900	365	740	1,85	108	69	1085
1000	390	740	1,98	106	71	1145
1100	415	750	2,07	103	73	1200
1200	440	750	2,14	101	75	1254
1300	465	760	2,2	100	77	1305
1400	490	780	2,25	98	80	1355
1500	515	810	2,3	96	82	1403
1600	540	850	2,34	95	86	1450

Prema jednoj od teorema balističke sličnosti, za balistički slična oruđa kod kojih je isti maksimalni pritisak barutnih gasova p_m i masa baruta ω važi relacija:

$$V_{01} = V_{02} \sqrt{\frac{\varphi_2 m_2}{\varphi_1 m_1}} \quad (1)$$

Pomoću ove teoreme može se naći uslov za korišćenje tabele 1, ako je $K_m \neq 15\,000$. Neka je za zadate podatke V i m , $K_m = 15\,000$ i neka je za oruđe sa $K_m = 15\,000$, pripadajuća brzina projektila V_{15} , a masa m_{15} . Za oba oruđa masa baruta je (po teoremi) ω_{15} ista. Tada, na osnovu (1) i izraza za $\varphi = \alpha + \frac{1}{3} \frac{\omega}{m}$ ako je $\alpha = 1$, važi:

$$V_{15}^2 \left(m_{15} + \frac{1}{3} \omega_{15} \right) = V^2 \left(m + \frac{1}{3} \omega_{15} \right)$$

Stavljajući u ovaj izraz

$$\omega_{15} = \frac{m_{15} V_{15}^2}{2K_m}$$

i oznake

$$A_1 = \frac{m}{m_{15}} \quad (2)$$

$$A_2 = 6K_m \quad (3)$$

dobija se jednačina oblika:

$$V_{15}^4 + (A_2 - V^2) V_{15}^2 - A_1 A_2 V^2 = 0$$

iz koje proističe:

$$V_{15}^2 = - \frac{A_2 - V^2}{2} + \sqrt{\frac{(A_2 - V^2)^2}{4} + A_1 A_2 V^2} \quad (4)$$

U daljem postupku izračuna se K_m za dati kalibar i iz tabele 1 odredi približno K_m . Zatim se računaju veličine:

$$m_{15} = 15\,000 d^3,$$

odnosno A_1 , A_2 i V_{15}^2 , pa se odredi koeficijent moći oruđa

$$K_{e15} = \frac{m_{15} V_{15}^2}{2d^3}$$

Pomoću ove vrednosti nalaze se iz tabela 1 vrednosti za: p_{mkr} , Δ , χ , K_m^* i konačno izračunava

$$\omega = \frac{m_{15} V_{15}^2}{2K_m^*} \quad (5)$$

Ovi podaci su polazni za projektovanje oruđa sa $K_m = 15\,000$. Ukoliko su odstupanja za K_m mala (neznatna) direktno se uzimaju iz tabele 1.

Kao kriterijum za izbor optimalnog rešenja Čujev predlaže cenu koštanja (u daljem tekstu CK) artiljerijskog oruđa. Pre nego što se definiše izraz za CK koji će se koristiti pri balističkom projektovanju, daju se opšta razmatranja za određivanje CK oruđa [1].

CK artiljerijskog oruđa sastoji se od CK razvoja, proizvodnje i eksploatacije. CK razvoja (C_r) uključuje troškove naučnoistraživačkog rada (NIR-a), projektovanja, izrade opitnih modela i ispitivanja. Troškovi zavise od stepena inovacije (realizacija principijelno novih ideja je skuplja od modernizacije) i CK oruđa u procesu proizvodnje (C_p). Prema američkim izvorima važi odnos:

$$C_r = (200 \div 2000) C_p \quad (6)$$

CK proizvodnje se obično definiše izrazom

$$C_p = C_{p1} n_p^\mu \quad (7)$$

gde je:

C_{p1} — CK proizvodnje prvog komada;

n_p — broj proizvedenih oruđa;

μ — eksponent, obično se uzima u granicama $\mu \approx 0,7$.

C_{p1} se može odrediti sumiranjem rashoda kroz sve proizvodne operacije. Međutim, obično se koriste približne metode. Najčešće se koristi analogija sa sličnim oruđem, gde u proporciju ulaze mase oruđa:

$$C_{p11} = C_{p22} \frac{M_1}{M_2} \quad (8)$$

Ako su razlike u masama velike uzima se njihov odnos sa eksponentom $2/3$. Moguće je korišćenje i složenijeg izraza u obliku:

$$C_{pi} = k_p x^a y^b \quad (9)$$

gde su:

x, y — osnovni tehnički parametri od bitnog uticaja na CK oruđa;

k_p, a, b — parametri koji se određuju obradom raspoloživih podataka (obično metodom najmanjih kvadrata).

CK skladištenja (C_s) uključuje CK održavanja skladišta, manipulacionih poslova, zaštite i definiše se sa:

$$C_s = \int_0^T C_{s1} n_p dt \quad (10)$$

gde je:

C_{s1} — CK skladištenja jednog oruđa godišnje,

T — ukupno vreme čuvanja oruđa.

$$C_{s1} = C_{sk1} + \sum_i \frac{C_{bi}}{\alpha_i} + C_0 n_0 \quad (11)$$

gde je:

C_{sk1} — CK skladištenja i opreme u godini svedena na jedno oruđe;

C_{bi} — CK pojedinih blokova i agregata oruđa;

α_i — amortizacioni period;

C_0 — CK jedne osobe personala godišnje;

n_0 — broj osoba neophodnih za opsluživanje jednog oruđa.

Ukoliko je sredstvo na eksploataciji u određenoj jedinici važi izraz (10), odnosno (11), samo je neophodno uzeti u obzir troškove tipične za jedinicu, a i dopunske troškove za obuku vojnika (utrošak municije, goriva i maziva za nastavu, amortizaciju sredstva u toku

nastave, itd.) koji se uzimaju po određenim normativima.

Na taj način, ukupni troškovi su:

$$C = C_r + C_{p1} n_p + \int_0^T C_{s1} n_p dt \quad (12)$$

Ne treba zaboraviti i na troškove municije koji se izražavaju analognim formulama. Pored toga, za normalnu eksploataciju i borbenu upotrebu artiljerijskih oruđa neophodan je čitav niz mehanizama, uređaja i organa za opsluživanje. To su, pre svega, remontni organi, transportna sredstva (za vuču, za dotur municije, itd.), prateća sredstva (metrološka, topografska, balistička), itd. Dakle, ukupni troškovi oruđa su:

$$C^* = C + \sum_i n_i C_i \quad (13)$$

gde je:

C_i — CK elemenata koji opslužuju oruđe;

n_i — broj elemenata sveden na jedno oruđe.

U svakom konkretnom slučaju neophodno je ograničiti se na najmanji mogući broj razmatranih elemenata.

Kao primer, napišimo formulu za određivanje CK u slučaju borbene upotrebe oruđa:

$$C_{bz} = \frac{C_{kz} n_{op}}{n_p n_{pb}} + \frac{(C_r + C_s) n_{op}}{N} + \frac{(C_{p0} + C_{s0}) k_o n_{op}}{P_i} + \delta C \quad (4)$$

gde je:

k_c, k_o — koeficijenti koji uzimaju u obzir borbene gubitke;

n_{op} — broj opaljenja neophodan za rešavanje borbenog zadatka bez uzimanja u obzir dejstva vatre protivnika i zastoja pri gađanju;

N — vek oruđa;

p_b — verovatnoća bezotkaznog dejstva;

C_{po}, C_{so} — CK proizvodnje i skladištenja za izvođenje jednog opaljenja;

δC — dopunski troškovi.

$$\delta C = \frac{k_c n_{op}}{N} \sum_i n_i C_i \quad (15)$$

Pri balističkom projektovanju oruđa često se zanemaruje CK razvoja, što je dopustivo ako se oruđe proizvodi u velikim količinama. Takođe se zanemaruje CK skladištenja, jer se osnovna masa oruđa i municije proizvodi u ratno vreme. Tako se dobija relacija:

$$C = \left(C_{po} k_o + \frac{C_p k_c}{N} \right) n_{op} \quad (16)$$

Koeficijenti borbenih gubitaka k_o i k_c mogu se odrediti iz modela borbenih dejstava, mada se u praksi, po pravilu, određuju iz analize prethodnih ratova, često uzimajući da je $k_o = k_c$.

Izraz (16) se detaljnije analizira, tako da se C_{po} razlaže na sastavne elemente. To se radi za oruđe ZA.

CK barutnog punjenja je:

$$C_{bp} = C_\omega \omega \quad (17)$$

gde je:

C_ω — CK kilograma baruta.

CK čaure je:

$$C_{ch} = k_{ch} k_{chi} \omega \left(\frac{p_m}{\alpha_p} \right)^{h_{ch}} \quad (18)$$

gde je:

k_{ch} — koeficijent koji vezuje CK čaure sa masom punjenja razmeštenog u njoj;

k_{chi} — koeficijent ponovnog korišćenja čaure;

h_{ch} — pokazatelj uticaja p_m na CK čaure;

α_p — popravni koeficijent koji se uvođa radi pogodnijeg proračuna.

CK projektila je $C_{pr} = k_{pr} m \left(\frac{p_m}{\alpha_p} \right)^{h_{pr}} f(E_{pr})$ (19)

gde je:

k_{pr} — koeficijent koji vezuje masu projektila sa njegovom CK;

h_{pr} — pokazatelj uticaja p_m na CK projektila;

$f(E_{pr})$ — funkcija uticaja zahteva za efikasnošću projektila na CK projektila.

CK cevi je $C_c = k_{cev} M_c \left(\frac{p_m}{\alpha_p} \right)^{h_c} \left(\frac{L_c}{d} \right)^{h_{cl}}$ (20)

gde je:

k_{cev} — koeficijent koji vezuje CK cevi sa njenom masom,

h_c, h_{cl} — pokazatelji uticaja p_m i L_c na CK cevi.

Masa cevi može se odrediti približnom metodom, izvedeći proračun cevi na otpornost u proseku zadnjaka i usta cevi:

$$k_{m1} = \frac{3\sigma_e + 2.2n_z p_{mkr}}{3\sigma_e - 4.48n_z p_{mkr}} \quad (21)$$

$$k_{m2} = \frac{3\sigma_e + 2n_u p_u}{3\sigma_e - 4n_u p_u} \quad (22)$$

$$M_c = k_{cev} \rho_c \frac{\pi d^2}{4} \left\{ X_u (k_{m1} - 1) + X_m (\chi k_{m1} - 1) + (X_u - X_m) \left[\frac{\chi k_{m1}}{3} + \frac{1}{3} \sqrt{k_{m2} (1 + \chi k_{m1})} \right] \right\} \quad (23)$$

gde je:

ρ_c — zapreminska masa čelika za cev;

σ_e — dozvoljeno naprezanje čelika;

n_z, n_u — neophodne rezerve otpornosti cevi (koeficijenti sigurnosti) u preseku zadnjaka i usta cevi.

CK lafeta je:

$$C_1 = k_1 M_1 \quad (24)$$

gde je:

k_1 — koeficijent koji vezuje CK lafeta i njegovu masu;

M_1 — masa lafeta.

Radijus zone dejstva projektila je:

$$r_z = k_z \sqrt[3]{\alpha_z m \left(\frac{\alpha_p}{p_m} \right)^{h_z}} \quad (25)$$

gde je:

α_z — koeficijent punjenja projektila eksplozivom pri $p_m = a_p$.

Veličina n_{op} je funkcija od r_z i K_k .

Na osnovu (17) do (25) izraz (16) može se konačno napisati u obliku:

$$C = k_0 \left[C_{bp} + C_{ch} + C_{pr} + \frac{1}{N} (C_c + C_i) \right] n_{op} \quad (26)$$

To je izraz za kriterijum koji omogućava izbor optimalnog rešenja. Redosled i metodologija proračuna su: polazeći od K_e biraju se Δ , p_{mkr} , χ , $K\omega$ i računa se ω , tj. dobija se polazna varijanta balističkog rešenja. Zatim se izvodi UB proračun i nalaze parametri X_m , X_u , p_0 iz kojih se određuje M_e i L_e/d . Dobljeni podaci omogućuju da se izračuna C . Dalje se koristi tzv. »metoda koordinatnog silaska«. Prvo se menja Δ (vođeci računa o ograničenjima) dok se ne dobije minimalno C . Zatim se, sa tako određenim Δ , menja p_{mkr} dok se opet ne dobije minimalno C . Zatim se sa tim Δ i p_{mkr} menja χ . Analogno se postupa sa ω , a zatim se ponovo varira Δ , p_{mkr} , χ i ω . Na taj način može se naći globalni minimum ukupnih troškova.

Izvođenje proračuna izloženim postupkom bez primene računara vrlo je teško, a primena računara uz korišćenje

tabela nema smisla. Zbog toga se koristi približna metoda, tj. posmatra se uprošćeni slučaj sa pritiskom forsiranja $p_0 = 0$, koji daje zadovoljavajuće rešenje.

Za dalji izvod koristi se izraz (6.29) iz metode Serebrjakova [1, 2]:

$$\frac{W_k}{m} = \frac{\omega}{m} \frac{1}{\Delta} \left[\frac{1 - \alpha \Delta}{\left(1 - \frac{B\theta}{2} \right)^{\frac{1}{\theta}} (1 - r_0)^{\frac{1}{\theta}}} + \alpha \Delta \right] \quad (26a)$$

gde je:

r_0 — koeficijent korisnog dejstva koji se definiše kao odnos iskorišćene energije u momentu kada je projektil na ustima cevi i raspoložive energije;

θ — odnos specifičnih toplota umanjen za jedan.

Dalje sledi:

$$X_u = \frac{\omega(1 - \alpha \Delta)}{\Delta n_s d^2} \left[\frac{1}{(1 - r_0)^{\frac{1}{\theta}} \left(1 - \frac{B\theta}{2} \right)^{\frac{1}{\theta}}} - 1 \right] \quad (27)$$

Takođe, mogu se lako izvesti relacije:

$$X_m = \frac{\omega}{\Delta n_s d^2} (1 - \alpha \Delta) [F_1(\theta) - 1] \quad (28)$$

$$F_1(\theta) = \left(\frac{2 + 2\theta}{2 + \theta} \right) \quad (29)$$

$$p_u = \frac{f \Delta}{(1 - \alpha \Delta) \left(1 - \frac{B\theta}{2} \right) \left[1 + \frac{X_u \Delta n_s d^2}{\omega(1 - \alpha \Delta)} \right]^{1-\theta}} \quad (30)$$

$$K_k = \frac{\omega(1 - \alpha \Delta)}{\Delta n_s d^2 X_u} \left[\left(1 - \frac{B\theta}{2} \right)^{\frac{2}{\theta}} - 1 \right] \quad (31)$$

Rezultati proračuna programskih rešenja metode Čujeva

$10^{-3} K_0$ J/m ³	Δ kg/m ³	P_{mkr} MPa	χ	$10^{-4} K_{00}$ J/kg	CK "uj"
421,13	686,34	250,28	1,30	122,37	118638,6
421,13	600,00	203,33	1,12	129,00	110609,2
421,13	610,00	207,50	1,14	128,50	111149,7
421,13	620,00	211,67	1,15	128,00	111752,8
421,13	630,00	215,83	1,17	127,50	112426,7
421,13	640,00	220,00	1,18	127,00	113181,4
421,13	650,00	226,25	1,21	126,00	114128,8
421,13	660,00	232,50	1,23	125,00	115185,7
421,13	670,00	238,75	1,26	124,00	116366,0
421,13	680,00	245,00	1,28	123,00	117688,0
421,13	690,00	253,33	1,32	122,00	119222,8
421,13	700,00	261,67	1,35	121,00	120962,9
421,13	600,00	200,00	1,11	129,40	110592,4
421,13	600,00	215,00	1,16	127,60	110899,4
421,13	600,00	230,00	1,22	125,40	111885,4
421,13	600,00	245,00	1,28	123,00	113423,7
421,13	600,00	260,00	1,35	121,20	115328,6
421,13	600,00	275,00	1,41	119,20	117719,3
421,13	600,00	200,00	1,02	136,00	108171,3
421,13	600,00	200,00	1,12	129,00	110861,7
421,13	600,00	200,00	1,22	125,40	113180,0
421,13	600,00	200,00	1,32	121,91	115537,7
421,13	600,00	200,00	1,42	118,91	117835,9
421,13	600,00	200,00	1,52	115,45	120332,1
421,13	600,00	200,00	1,62	112,83	122642,5
421,13	600,00	200,00	1,72	111,17	124654,2
421,13	600,00	200,00	1,82	108,75	126971,4
421,13	600,00	200,00	1,92	106,92	129095,5
421,13	600,00	200,00	2,02	104,67	131444,3
421,13	600,00	200,00	2,12	101,57	134280,5
421,13	600,00	200,00	2,22	99,20	136864,2
421,13	600,00	200,00	2,32	95,50	140369,5
421,13	600,00	200,00	1,02	134,00	108400,1
421,13	600,00	200,00	1,02	130,00	109006,9
421,13	600,00	200,00	1,02	126,00	109813,3
421,13	600,00	200,00	1,02	122,00	110821,8
421,13	600,00	200,00	1,02	118,00	112037,4
421,13	600,00	200,00	1,02	114,00	113467,9
421,13	600,00	200,00	1,02	110,00	115123,7
421,13	600,00	200,00	1,02	106,00	117018,5
421,13	600,00	200,00	1,02	102,00	119169,4
421,13	600,00	200,00	1,02	98,00	121597,8

$$X_0 = \frac{\omega}{\Delta n_s d^2} \quad (32)$$

$$\frac{L_c}{d} = \frac{\omega}{\Delta n_s d^3 \chi} + \frac{X_u}{d} + 1,5 \quad (33)$$

Korišćenje formula (27) do (33) znatno je lakše nego korišćenje tabela ako se proračun izvodi na računaru.

Rezultati proračuna metodom Čujeva

Za opisani metod sastavljeno je programsko rešenje u programskom jeziku fortran za PC računar tipa 386. Konceptija programskog rešenja ogleda se u redosledu proračuna, dok se za određivanje nekih koeficijenata koristi metoda najmanjih kvadrata, a za izbor globalnog-ukupnog minimuma troškova koristi se metoda koordinatnog silaska. Rezultati proračuna programskog rešenja metode Čujeva dati su u tabelama 2 i 3:

Analizirajući rezultate proračuna (tabele 2 i 3) programskog rešenja metode Čujeva uočava se da po kriterijumu cene optimalno rešenje ima sledeće veličine parametara (red ispod naglašenog u tabeli):

$\Delta = 600 \text{ kg/m}^3$, $p_{mkr} = 200 \text{ MPa}$, $\chi = 1,02$, $K\omega = 136,00 \cdot 10^4 \text{ J/kg}$, $C = 108171,3 \text{ n.j.}$, $X_m = 0,478 \text{ m}$, $p_m = 218,63 \text{ MPa}$, $X_u = 9,573 \text{ m}$, $p_u = 32,17 \text{ MPa}$, $\omega = 11,53 \text{ kg}$, $V_0 = 362 \text{ m/s}$, $L_c/d = 69 \text{ kalibara}$, $M_c = 2346,7 \text{ kg}$.

Međutim, s obzirom na postavljene zahteve da je maksimalni pritisak barutnih gasova do 300 MPa, početna brzina oko 820 m/s, a dužina cevi oko 39 kalibara, može se primetiti da ima dovoljno prostora za usvajanje rešenja koje nema neki veliki porast cene, ali ima maksimalni pritisak barutnih gasova i početnu brzinu projektila približno zadanim vrednostima, a i dužina cevi je, takođe, u dozvoljenim granicama. Usvo-

jeno rešenje ima sledeće parametre (naglašeni red).

$\Delta = 600 \text{ kg/m}^3$, $p_{mkr} = 275 \text{ MPa}$, $\chi = 1,41$, $K\omega = 119,20 \cdot 10^4 \text{ J/kg}$, $C = 117719,3 \text{ n.j.}$, $X_m = 0,545 \text{ m}$, $p_m = 299,3 \text{ MPa}$, $X_u = 5,36 \text{ m}$, $p_u = 68,17 \text{ MPa}$, $V_0 = 825,60 \text{ m/s}$, $L_c/d = 41 \text{ kalibar}$, $\omega = 13,16 \text{ kg}$, $M_c = 2568,8 \text{ kg}$.

Za ovo rešenje vrši se dalji proračun, odnosno unutrašnjebalističko projektovanje. Na osnovu analize sprovedene u literaturi [3] usvaja se barut NCD-031 sa svim fizičko-hemijskim i balističkim karakteristikama bitnim za unutrašnjebalistički proračun:

$\varphi = 1,1169$, $\theta = 0,25$, $f = 919889 \text{ J/kg}$, $\alpha = 0,00105 \text{ m}^3/\text{kg}$, $u_1 = 6,3 \cdot 10^{-10} \text{ m/sPa}$, $2e_0 = 0,001 \text{ m}$, $k = 1,11$, $\lambda = -0,10266$.

Rezultati UB proračuna dobijaju se postojećim programskim rešenjem [4, 5] na Katedri naoružanja BTA (normalno modificiranog za rešenje konkretnog problema) i ilustruju se dijagramima zavisnosti (sl. 1) i (sl. 2).

Očigledno je da dijagrami zavisnosti unutrašnjebalističkih karakteristika u potpunosti ispunjavaju definisani cilj u uvodu.

Nakon ove faze projektovanja sledi projektovanje unutrašnje trase cevi [6] sa svim detaljima, kao što su: olučenje, prelazni konus, barutna komora, itd. Posle projektovanja unutrašnje trase cevi sledi projektovanje spoljne trase [7] i idejno rešenje metka [8].

Radi komparativne analize priložen je tabelarni pregled proračunskih karakteristika projektovanog oruđa kalibra 155 mm [9, 10].

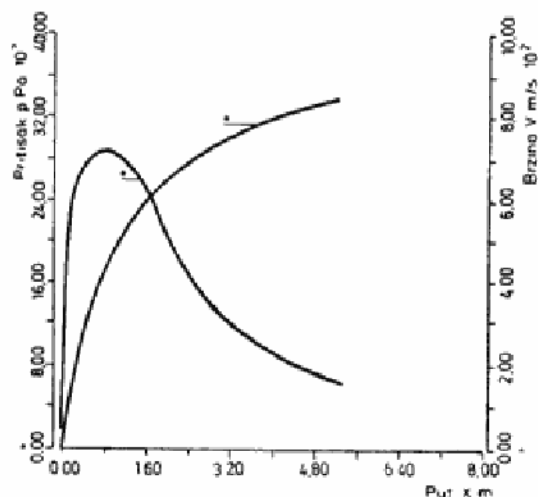
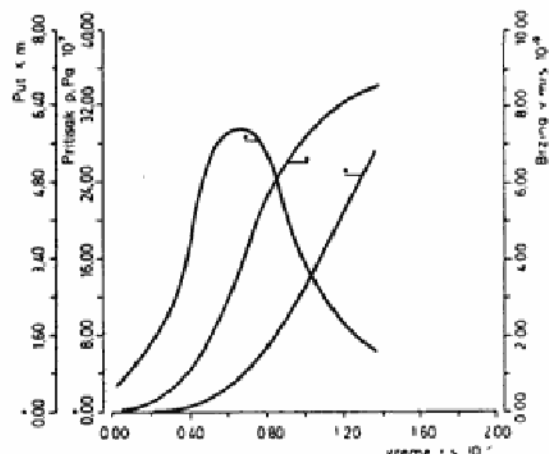
Tabela sadrži uporedne vrednosti pojedinih parametara nekih izvedenih oruđa kalibra 155 mm iz zapadnih zemalja i cevi projektovane u ovom radu. Parametri projektovanog oruđa ispunili su sva ograničenja definisana u postavci zadatka. Upoređivanjem sa parametrima oruđa iz zapadnih zemalja uočava se da parametri projektovanog topa imaju približno srednju vrednost, a neki od njih su optimalne vrednosti, što opravdava primenu odabrane metode u radu.

Rezultati proračuna programskog rešenja metode Čujeva

X_m , m	p_m , MPa	X_u , m	p_u , MPa	V_u , m/s	L_e/d	ω , kg	M_c , kg
0,350	272,64	7,568	48,26	742,96	55	12,82	2776,6
0,503	221,89	8,624	38,65	591,00	63	12,16	2324,4
0,483	226,41	8,510	39,45	600,00	62	12,20	2353,7
0,463	230,93	8,417	40,19	609,00	61	12,25	2388,4
0,444	235,44	8,345	40,84	618,00	61	12,30	2429,1
0,425	239,96	8,298	41,39	627,00	60	12,35	2476,6
0,408	246,71	8,101	42,95	651,50	59	12,45	2522,4
0,392	253,46	7,934	44,43	676,00	58	12,55	2577,1
0,376	260,20	7,799	45,81	700,50	57	12,65	2642,0
0,360	266,94	7,695	47,06	725,00	56	12,75	2718,5
0,345	275,94	7,502	48,92	753,33	55	12,85	2813,0
0,330	284,94	7,348	50,62	781,67	53	12,96	2924,7
0,502	218,28	8,878	37,41	583,80	65	12,12	2337,0
0,509	234,54	7,847	43,02	616,20	58	12,29	2299,7
0,518	250,76	7,012	49,15	666,20	52	12,51	2304,7
0,528	266,94	6,330	55,73	725,00	48	12,75	2347,1
0,536	283,14	5,807	61,75	776,00	44	12,94	2442,0
0,545	299,30	5,360	68,17	825,60	41	13,16	2568,8
0,478	218,63	9,573	32,17	362,00	69	11,53	2346,7
0,503	218,26	8,839	37,75	591,00	64	12,16	2346,4
0,518	218,05	8,506	40,90	666,20	62	12,51	2417,4
0,533	217,84	8,209	44,14	755,91	60	12,86	2488,5
0,546	217,65	7,973	47,09	831,27	58	13,19	2566,9
0,563	217,43	7,722	50,67	900,55	56	13,58	2636,3
0,576	217,25	7,546	53,53	962,67	55	13,90	2719,2
0,584	217,13	7,440	55,41	1019,33	54	14,11	2816,3
0,597	216,95	7,294	58,23	1070,00	53	14,42	2900,5
0,607	216,81	7,189	60,43	1117,31	52	14,67	2993,1
0,621	216,63	7,068	63,23	1169,44	51	14,98	3079,1
0,639	216,37	6,913	67,24	1238,57	50	15,44	3154,9
0,655	216,17	6,804	70,44	1325,00	49	15,81	3241,5
0,680	215,83	6,649	75,67	1425,50	48	16,42	3317,1
0,485	218,52	9,351	33,69	502,67	68	11,70	2302,1
0,500	218,31	8,937	36,90	562,00	66	12,06	2219,9
0,515	218,08	8,560	40,36	700,50	63	12,45	2146,5
0,532	217,85	8,217	44,06	781,67	61	12,85	2081,3
0,550	217,59	7,905	48,02	849,00	60	13,29	2023,8
0,570	217,33	7,623	52,25	911,00	58	13,76	1973,5
0,590	217,04	7,368	56,76	1065,00	57	14,26	1930,2
0,613	216,73	7,139	61,56	1085,00	55	14,79	1893,4
0,637	216,41	6,933	66,68	1227,00	54	15,37	1863,2
0,663	216,06	6,751	72,11	1305,00	54	16,00	1839,4

Karakteristike projektovanih oruđa kalibra 155 mm

Oruđe i poreklo	Haubica 155 mm FH-77 (III)	Haubica 155 mm M198 (SAD)	Haubica 155 mm M114 (SAD)	Top-hau- bica 155 mm TRIL40 (F)	Top-hau- bica 155 mm GHN-45 (A)	Projekto- vani top 155 mm
Kalibar d, mm	155	155	155	155	155	155
Masa pro- jektila m, kg	43	43,5	43,8	43,6	46,5	46
Masa ba- rutnog pu- njenja ω , kg	10,8	11,5	6,3	10,5	15,5	13,16
Početna br- zina pro- jektila V_0 , m/s	815	823	564	810	897	824
Energija E_0 , kJ	14281	147,32	6966	14303	18305	15645
$K_0 10^3$, kJ/m ³	3,83	3,96	1,87	3,84	4,92	4,21
$K\omega$, kJ/kg	1,32	1,28	1,11	1,36	1,18	1,19
$K_m 10^3$, kg/m ³	11,55	11,68	11,76	11,71	12,22	12,35

Sl. 1 — Dijagram zavisnosti $p(x)$ i $V(x)$ Sl. 2 — Dijagram zavisnosti $p(t)$, $V(t)$ i $X(t)$

Zaključak

Rad prezentira rešenje jednog zadatka unutrašnjebalističkog projektovanja oruđa kalibra 155 mm analitičkom metodom Čujeva, koja kao kriterijum za izbor optimalnog rešenja koristi cenu koštanja artiljerijskog sistema.

Osnovni cilj ovog rada definisan je u naslovu, a ogleda se u izboru optimalnih balističkih parametara, i to prvenstveno: najpogodnijeg modela i tipa baruta, mase baruta, zapremine barutne komore, na osnovu cene koštanja artiljerijskog oruđa. Kasnije se vrši projektovanje unutrašnje trase cevi sa svim detaljima kao što su: olučenje, prelazni konus, barutna komora, itd. Posle projektovanja unutrašnje trase cevi sledi projektovanje spoljne trase i idejno rešenje metka, što se zbog obimnosti u ovom radu ne daje. Ovako projektovano oruđe, u poređenju sa postojećim oruđima istog kalibra, na zapadu ima vrlo dobre, čak i optimalne karakteristike, što opravdava primenu i verifikuje odabranu metodu proračuna.

Tendencija usavršavanja postojećih i razvoj novih oruđa jeste da se poveća domet (preko 40 km) i dijapazon dome-

ta koji se mogu ostvariti promenom barutnog punjenja (npr. korišćenjem modularnih barutnih punjenja). Radi se i na tome da se poveća preciznost, tačnost i brzina gađanja (najmanje 4 metka za 15 sekundi). Usavršava se i municija, a povećava uspešnost dejstva na cilju, vrši se osposobljavanje za izvršavanje zadataka protivoklopne borbe na velikim daljinama (razvojem »inteligentne« municije sa senzorskim upaljačem ili sa samonavođenjem na završnom delu putanje). Povećava se polje dejstva po pravcu i po visini i usavršavaju i automatizuju uređaji za pokretanje cevi. Smanjuje se ukupna masa oruđa, a time i masa cevi, radi prenošenja i prevoženja vazдушnim putem ili se projektuju samohodna oruđa koja ostvaruju bolja svojstva taktičke i strategijske pokretljivosti. To su tendencije razvoja artiljerijskih sistema za naredni period koje bi trebalo da budu putokaz i smernice budućeg razvoja i kod nas.

Realizacija svih ovih budućih zadataka zavisi prvenstveno od raspoloživih materijalnih, tehničko-tehnoloških mogućnosti zemlje, a korišćenje kriterijuma cene koštanja artiljerijskog sistema je opravdano samo ako se postiže bolja efikasnost artiljerijskog sistema.

Literatura:

- [1] J. V. Čujev: Projektovanje stvoljnih kompleksa, Mašinstrojenje, Moskva, 1976.
- [2] M. Cvetković: Unutrašnje balističko projektovanje, TSC, Zagreb, 1993.
- [3] Baruti jugoslovenske proizvodnje, VTI, Beograd, 1981.
- [4] M. Cvetković: Unutrašnja balistika, CVTS, Zagreb, 1985.
- [5] Lj. Tančić: Zbirka zadataka iz unutrašnje balistike, VTA, Beograd, 1994.
- [6] Z. Pavličić: Definisanje barutnog punjenja i projektovanje cevi kalibra 155 mm — Diplomski rad, VVTS, Zagreb, 1991.

- [7] Lj. Tančić: Dimenzionisanje cevi artiljerijskog oruđa pomoću računara, VTG-1/80, Beograd, 1990.
- [8] N. Kršić: Osnovi konstrukcije municije, TSC, Zagreb, 1973.
- [9] Z. Ristić: Osnove naoružanja, VVTS, Zagreb, 1989.
- [10] M. Kalezić: Tendencije razvoja naoružanja u svetu, predavanje, CVTS, Zagreb, 1988.

Uvod

Mikrotalasna snaga je, pored frekvencije, najznačajnija veličina u mikrotalasnoj tehnici. Zbog toga je vrlo važno da se što tačnije izmeri.

U ovom radu su opisane greške koje se javljaju pri merenju mikrotalasne snage. Sve definicije su u skladu sa standardom [1]. Teorijska razmatranja prenosa snage u mikrotalasnim sistemima i uzroka grešaka pri merenjima mikrotalasne snage nalaze se u poglavljima 3 i 4, a pri tome je korišćena literatura [2], [3], [4] i [5]. Konačno, u poglavlju 5 opisani su automatizovani postupci za merenje KST-a i prenos faktora baždarenja glava za mikrotalasne vatmetre: HP 8481A/H, HP 8484A, HP 8478B i HP 478A. U odštampanim rezultatima merenja date su i nesigurnosti sa kojima se za dati postupak određuje KST i vrši prenos faktora baždarenja.

Oznake i definicije:

— *vod* je materijalna struktura koja formira neprekidni put između dve tačke i koristi se za usmeravanje prostiranja glavnog dela elektromagnetne energije duž puta;

— *talasovod* je vod od provodne cevi koja može sadržati dielektrični materijal;

— *karakteristična talasna impendansa* je odnos kompleksne amplitude transferalnog talasa električnog vektora prema transferzalom magnetnom vektoru u datoj tački za progresivni elektromagnetski talas na datoj frekvenciji, pri čemu je znak izabran tako da realni deo bude pozitivan;

— *karakteristična impendansa* Z_0 voda bez gubitaka za dati tip prostiranja je veličina koja se dobije kada se pomnoži karakteristična talasna impendansa voda odgovarajućim faktorom;

— *konjugovane impendanse* Z i Z^* su dve impendanse koje imaju realne delove iste veličine, a imaginarne delove iste veličine, ali suprotnog znaka tj.
 $Z = X_1 + jY_1$; $Z^* = X_2 + jY_2$; $X_1 = X_2$;
 $Y_1 = -Y_2$, (1)

— *impedansa izvora* je impendansa koja predstavlja izvor snage na ulaznom priključku uređaja na koji se priključuje;

— *koeficijent refleksije voda* Γ je odnos kompleksnog broja koji predstavlja fazu i amplitudu vektora električnog reflektovanog talasa b prema kompleksnom broju koji predstavlja fazu i am-

plitudu vektora električnog incidentnog talasa a u nekoj tački voda

$$\Gamma = \frac{b}{a} = \rho \quad |\Phi|, \quad (2)$$

— koeficijent refleksije izvora u sistemu Z_0 je:

$$\Gamma_g = \frac{Z_g - Z_0}{Z_g + Z_0} \quad (3)$$

— koeficijent refleksije opterećenja je:

$$\Gamma_{op} = \frac{Z_{op} - Z_0}{Z_{op} + Z_0} \quad (4)$$

gde su Z_g i Z_{op} ulazne impedanse izvora i opterećenja, respektivno,

— naponski koeficijent stojećeg talasa (KST) je odnos amplituda napona koje odgovaraju maksimumu i minimumu stojećeg talasa. Koeficijent stojećeg talasa u homogenom vodu je:

$$KST = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (5)$$

— slabljenje refleksije na spoju voda i impedanse je odnos, izražen u dB, reflektovanog i incidentnog talasa. Slabljenje refleksije je mera nejednakosti dve impedanse i jednako je modulu recipročne vrednosti koeficijenta refleksije:

$$S.R. = 20 \log_{10} \left| \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 - Z_2} \right| \quad (6)$$

gde su Z_1 i Z_2 dve navedene impedanse,

— reflektometar je merni uređaj za merenje odnosa amplitude reflektovanog talasa i odgovarajuće amplitude incidentnog talasa u sredini prostiranja,

— matrica razdeljenih parametara $[S]$ je matrica kompleksnih brojeva koji predstavljaju koeficijente prostiranja i refleksije elemenata voda,

— faktor sprege usmerenog spreznjaka (reflektometarskog mosta) T je

odnos snage dovedene na jedan priključak i raspoložive snage na drugom priključku,

— usmerenost usmerenog spreznjaka (reflektometarskog mosta) D je odnos:

— raspoložive snage na jednom od priključaka, kada se samo progresivni talasi prostiru do drugih priključaka u jednom od smerova;

— prema raspoloživoj snazi na istom priključku kada se obrne smer prostiranja između ista dva priključka.

Raspoloživa snaga izvora, definisana za pozitivnu otpornost izvora P_g je snaga koja se potroši na kompleksno konjugovanom prilagođenom opterećenju.

Izlazna snaga generatora P_{go} je snaga koja se potroši na opterećenju sa karakterističnom impedansom Z_0 .

Očitana snaga P_o je snaga očitana na indikatoru mikrotalasnog vatmetra.

Faktor baždarenja bolometarske glave K_b je odnos supstituisane snage P_{sub} u bolometru prema ukupnoj snazi koja se u sistemu sa karakterističnom impedansom Z_0 dovodi na bolometarsku glavu.

Efektivni koeficijent korisnog dejstva η_e je odnos mikrotalasne snage potrošene u bolometru (osetljivi element) P_{sub} prema ukupnoj mikrotalasnoj snazi potrošenoj u bolometarskoj glavi. Važi relacija:

$$K_b = (1 - |\Gamma_v|^2) \cdot \eta_e \quad (7)$$

gde je Γ_v koeficijent refleksije vatmetra.

Prilagođenost na vod ili talasovod je uslov da je impedansa opterećenja vezanog za vod ili talasovod jednaka karakterističnoj impedansi voda ili talasovoda (Z_0 prilagođenje).

Konjugovana prilagođenost je uslov za maksimalni prenos snage kod kojeg je impedansa opterećenja konjugovana — kompleksna izlaznoj impen-

dansi uređaja na koji se opterećenje priključuje.

Neprilagođenost na vod ili talasovod je uslov kada impendansa opterećenja ne prilagođava impendansu priključka izvora na koji je opterećenje vezano.

Razdešenost na vod ili talasovod (Zo razdešenost) je uslov kada impendansa opterećenja vezanog na vod ili talasovod nije jednaka karakterističnoj impendansi voda ili talasovoda.

Ostale oznake koje se koriste u tekstu:

- Pgop — snaga koju izvor predaje opterećenju sa proizvoljnom impendansom različitom od Zo,
Pd — disipirana snaga na opterećenju,
Pi — incidentna (upadna) snaga na opterećenju,
Pr — reflektovana snaga od opterećenja,
Psub — substituisana snaga u glavi vatmetra,
Mu± — gornja, odnosno donja granica nesigurnosti,
Kb — faktor baždarenja etalonske glave,
Ppom — snaga izmerena pomoćnom glavom pri prenosu faktora baždarenja,
Ptest — snaga izmerena testirajućom glavom pri prenosu faktora baždarenja,
Pstd — snaga izmerena etalonskom glavom pri prenosu faktora baždarenja,
Mukb — nesigurnost određivanja faktora baždarenja,
W — ukupna greška instrumenta (vatmetra) — apsolutni odnos:

$W = 1,0146$ za 8481A

$W = 1,02447$ za 8481H

$W = 1,02392$ za 8484A

$W = 1,01953$ za 8478B,

σ — standardna devijacija

Greške merenja mikrotalasne snage zbog neprilagođenosti

U merenjima mikrotalasne snage najveće greške se javljaju zbog neprilagođenosti. Izvor mikrotalasne snage (mikrotalasni generator) najčešće je od merne tačke odvojen mikrotalasnim komponentama: vodovima, usmerenim sprežnicima, modulatorima, oslabljivačima, mešačima, razdelnicima snage, usmerenim mostovima, itd. Sve ove komponente smatraju se delom generatora, odnosno zajedno sa izvorom snage predstavljaju ekvivalentni generator.

Da bi se analizirali efekti neprilagođenosti na tačnost merenja mikrotalasne snage, mora se dati mikrotalasni opis opterećenja, uključujući glavu vatmetra, ekvivalentnog generatora i prenosa snage između izvora i opterećenja. Karakteristična impendansa Zo, koja se koristi za opisivanje mikrotalasnih generatora gotovo je uvek $50\ \Omega$, jer se ova otpornost lako simulira preko čitavog željenog frekventnog područja vodom karakteristične impendanse $50\ \Omega$ sa završetkom bez refleksije.

Kao što u mikrotalasnom opsegu frekvencija napon gubi smisao, tako i impendansa ustupa mesto koeficijentu refleksije. Impedansa se menja duž voda i zavisi od mesta na vodu. Koeficijent refleksije ima konstantnu amplitudu, a fazni ugao ovog fazora je linearna funkcija rastojanja od opterećenja.

Ako su a_{op} i b_{op} vektori reflektovanog i incidentnog talasa na opterećenju, tada je:

$$\left. \begin{aligned} P_i &= |a_{op}|^2 \\ P_r &= |b_{op}|^2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

gde su P_i i P_r incidentna, odnosno reflektovana snaga, respektivno.

Snaga koja se disipira na opterećenju je:

$$P_d = P_i - P_r = |a_{op}|^2 - |b_{op}|^2 \quad (9)$$

Po nekim metodama merenja koeficijenta refleksije Γ_{op} , veličine a_{op} i b_{op} mere se nezavisno, a zatim se utvrđuje njihov odnos kako je to dato u definicijama. U nekim slučajevima lakše je izmeriti vrednost veličine koja nastaje međusobnim uticajem vektora a_{op} i b_{op} . Ova veličina zove se stojeći talas i ima svoj maksimum i minimum. Odnos maksimuma i minimuma stojećeg talasa za opterećenje je koeficijent stojećeg talasa:

$$(KST)_{op} = \frac{|a_{op}| + |b_{op}|}{|a_{op}| - |b_{op}|} = \frac{1 + |b_{op}/a_{op}|}{1 - |b_{op}/a_{op}|} = \frac{1 + |\Gamma_{op}|}{1 - |\Gamma_{op}|} \quad (10)$$

Kao što Γ_{op} karakteriše mikrotalasno opterećenje, to Γ_g karakteriše mikrotalasni generator. Jednačina koja karakteriše mikrotalasni generator je:

$$b_g = b_s + \Gamma_g a_g \quad (11)$$

gde je:

b_g — talas koji od generatora ide prema opterećenju,

a_g — talas koji dolazi na generator od drugih komponenti,

Γ_g — koeficijent refleksije generatora,

b_s — interno generisani talas unutar generatora.

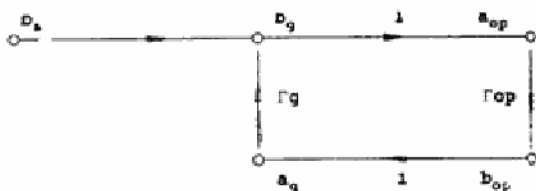
Snaga koju generator predaje opterećenju, čija je impedansa jednaka karakterističnoj impedansi, jeste:

$$P_{gzo} = |b_s|^2 \quad (12)$$

Sada se može razmatrati prenos snage sa generatora na opterećenje. Praktičan način vizuelnog praćenja prenosa snage kroz komponente nekog mikrotalasnog sistema je primena dijagrama toka signala (sl. 1).

Sa slike 1 lako se uočava efekat neprilagođenosti ili refleksije. Prvo, snaga koja dolazi sa generatora reflektuje se od opterećenja. Ova reflektovana snaga se rereflektuje od generatora

i kombinujući se sa snagom stvorenom u generatoru daje novi incidentni talas koji dolazi na opterećenje. Ovaj novi upadni talas se ponovo reflektuje od opterećenja i proces se nastavlja.



Sl. 1 — Dijagram toka prenosa mikrotalasne snage od izvora do opterećenja

Kombinujući jednačinu iz definicije koeficijenta refleksije (3) sa jednačinom (11), a imajući u vidu da sa sl. 1 proističe $b_{op} = a_g$ i $b_g = a_{op}$, imamo:

$$a_{op} = \frac{b_s}{1 - \Gamma_g \Gamma_{op}} \quad (13)$$

$$b_{op} = \frac{b_s \Gamma_{op}}{1 - \Gamma_{op} \Gamma_g}$$

Uvrštavajući ove vrednosti u jednačinu (8) dobijamo:

$$P_i = |b_s|^2 \frac{1}{|1 - \Gamma_{op} \Gamma_g|^2} \quad (14)$$

$$P_r = |b_s|^2 \frac{1}{|1 - \Gamma_{op} \Gamma_g|^2}$$

Disipirana snaga na opterećenju je saglasno (9):

$$P_d = P_{op} = P_i - P_r |b_s|^2 \frac{1 - |\Gamma_{op}|^2}{|1 - \Gamma_{op} \Gamma_g|^2} \quad (15)$$

Uočimo dva karakteristična slučaja gornje jednačine.

Prvo, slučaj kada je $\Gamma_{op} = 0$, odnosno kada je $Z_{op} = Z_0$ tada je:

$$P_{gop/Z_{op}=Z_0} = P_{gzo} = |b_s|^2 \quad (16)$$

Ovaj slučaj nam pomaže da odredimo b_s , talas koji se generiše interno u generatoru.

Drugi je slučaj kada je koeficijent refleksije generatora jednak konjugovano-kompleksnoj vrednosti koeficijenta refleksije opterećenja, tj. $\Gamma_g = \Gamma_{op}^*$, odnosno kada je generator konjugovano prilagođen opterećenju. Ako je ovaj uslov zadovoljen, generator daje maksimalnu snagu na opterećenje; ova snaga zove se raspoloživa snaga izvora i iznosi:

$$P_g = \frac{|b_s|^2}{1 - |\Gamma_g|^2} \quad (17)$$

Upoređujući jednačine (16) i (17) vidi se da važi:

$$P_g \geq P_{gzo} \quad (18)$$

Na osnovu prethodnih razmatranja mogu se analizirati greške merenja koje nastupaju zbog neprilagođenosti. Kada se glava mikrotalasnog vatmetra spoji na generator, meri se snaga P_{gop} iz izraza (15). Snaga koja karakteriše generator je ona koja se predaje na opterećenje koje je jednako karakterističnoj impendansi Z_0 . To je snaga P_{gzo} iz izraza (16). Odnos navedenih snaga je:

$$\frac{P_{gzo}}{P_{gop}} = \frac{|1 - \Gamma_g \Gamma_{op}|}{1 - |\Gamma_{op}|^2} \quad (19)$$

ili izraženo u dB:

$$10 \log \frac{P_{gzo}}{P_{gop}} = 10 \log(1 - \Gamma_{op} \Gamma_g) - \\ - 10 \log(1 - |\Gamma_{op}|^2)$$

Gornji odnos u dB zove se slabljenje zbog Z_0 neprilagođenosti. Konjugovana prilagođenost je slučaj Z_0 neprilagođenosti. U slučaju kada je odnos (19) manji od jedinice, generator daje više snage nekom opterećenju nego Z_0 . Takav je slučaj kada su opterećenje i generator konjugovano prilagođeni.

Opšta formula za prenos snage između izvora mikrotalasne snage i opterećenja dobija se iz realnih uslova kada ni Z_g ni Z_{op} nisu jednaki Z_0 . U tom slučaju formula za prenos snage može se predstaviti kao:

$$\frac{(1 - |\Gamma_g|^2)(1 - |\Gamma_{op}|^2)}{|1 - \Gamma_g \Gamma_{op}|^2} \quad (20)$$

U ovoj formuli slabljenja zbog Z_0 neprilagođenosti izvora, odnosno opterećenja su: $(1 - |\Gamma_g|^2)$ i $(1 - |\Gamma_{op}|^2)$, respektivno. Izraz $|1 - \Gamma_g \Gamma_{op}|^2$ predstavlja nesigurnost u prenosu snage, pa, prema tome, i nesigurnost u merenju snage. Granice nesigurnosti dobijaju se iz izraza $(1 \pm |\Gamma_g| |\Gamma_{op}|)^2$. Nesigurnost se često definiše kao »najveće dozvoljeno odstupanje greške«. Iz izraza (20) maksimalne granice nesigurnosti u dB su:

$$M_n + = 10 \log(1 + |\Gamma_g| |\Gamma_{op}|) \quad (21)$$

$$M_n - = 10 \log(1 - |\Gamma_g| |\Gamma_{op}|)$$

Iz izraza (19) i (20) je jasno da je za što tačnija merenja snage važno da koeficijenti refleksije izvora i glave vatmetra budu što manji. Da bi se smanjio koeficijent refleksije generatora, između izvora i vatmetra često se umeće oslabljivač malog koeficijenta refleksije i poznatog slabljenja. Tada govorimo o ekvivalentnom koeficijentu refleksije generatora:

$$\Gamma_{ge} = S_{22} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_g}{1 - S_{11} \Gamma_g} \quad (22)$$

gde su S_{22} i S_{11} ulazni i izlazni koeficijenti refleksije oslabljivača, respektivno, a S_{12} i S_{21} slabljenja oslabljivača u oba smera.

U slučaju oslabljivača od 20 dB uticaj koeficijenta refleksije se smanjuje 100 puta i važi $\Gamma_{ge} = S_{22}$.

Ostale greške pri merenju mikrotalasne snage

Greške bolometarske glave

Snaga koja dolazi na bolometarsku glavu je razlika incidentne i reflektovane snage. Međutim, ova snaga se ne disipira na senzorskom elementu glave, jer se jedan deo izrači u prostor, a je-

dan deo prolazi kroz razne elemente uređaja. Meri se samo ona snaga koja se disipira na senzorskom elementu glave.

Da bi se mogla meriti, disipirana mikrotalasna snaga mora se pretvoriti u jednosmerni ili niskofrekventni ekvivalent koji se označava sa P_{sub} .

Efektivni koeficijent korisnog dejstva glave je:

$$\eta_e = \frac{P_{sub}}{P_{gop}} \quad (23)$$

Faktor baždarenja glave je najznačajniji parametar, pored KST koji karakteriše bolometarsku glavu.

Ovaj parametar predstavlja kombinaciju efektivnog koeficijenta korisnog dejstva i gubitka zbog neprilagođenosti (što se vidi iz definicije). Važi relacija:

$$K_b = \frac{P_{sub}}{P_i} = \eta_e \frac{P_{gop}}{P_i} = \eta_e (1 - |\Gamma_{op}|^2) \quad (24)$$

Savremeni vatmetri imaju mogućnost korigovanja svog pokazivanja, uzimajući u obzir vrednost K_b za određenu frekvenciju. Vrednosti K_b naznačene su na svakoj glavi, a ovaj faktor se obavezno utvrđuje pri svakoj kalibraciji (baždarenju) glave.

Kako se faktor baždarenja koristi za korekciju koeficijenta korisnog dejstva i gubitka zbog neprilagođenosti, to ostaje samo nesigurnost zbog neprilagođenosti. U vezi sa K_b javlja se još jedna neželjena nesigurnost: nesigurnost određivanja K_b u laboratorijama proizvođača ili drugim ovlašćenim laboratorijama.

Greške vatmetara

Neke od grešaka koje se javljaju pri merenju mikrotalasne snage dolaze od elektronike vatmetra. Ove greške uslovljavaju da se javi razlika između P_{oe} i P_{sub}/K_b .

Vatmetri za termopretvaračke i diodne glave poseduju referentni izvor snage (referentni oscilator) frekvencije 50 MHz i snage 1 mW sa nesigurnošću 1,2%, što direktno ulazi u ukupnu grešku merenja.

Merenje snage termistorskom glavom odvija se u zatvorenoj petlji, pa su ovakvi vatmetri oslobođeni navedene greške.

Referentni oscilator ima vlastiti koeficijent refleksije. Ovaj koeficijent refleksije referentnog izvora, zajedno sa koeficijentom refleksije glave, daje vlastitu nesigurnost zbog neprilagođavanja. Zbog niske frekvencije ova nesigurnost je mala i iznosi $\pm 0,01$ dB, odnosno $\pm \pm 0,2\%$.

Greška mernog instrumenta je kombinacija više grešaka i iznosi $\pm 1\%$ za analogne, odnosno $\pm 0,5\%$ ± 1 digit za digitalne instrumente.

Grešku električne nule i automatskog nulovanja nalazimo kod svih tipova vatmetara. Pre merenja snage potrebno je podesiti nulu na najosetljivijem opsegu vatmetra. Ova greška je reda: $\pm 0,2\%$. Šum ili kratkotrajna stabilnost utiče na tačnost merenja snage i potiče iz raznih izvora unutar glave ili instrumenta.

Drift ili dugotrajna stabilnost utiče na promenu indikacije instrumenta u toku dužeg vremena (jednog sata) za stalnu ulaznu snagu, temperaturu i napon napajanja vatmetra.

Važno je napomenuti da su sve navedene greške međusobno nezavisne, pa se može računati srednja kvadratna greška kao koren zbira kvadrata pojedinih grešaka.

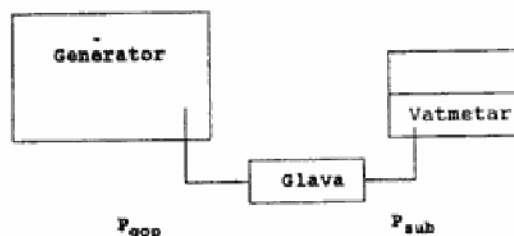
Apsolutni odnos, koji se dobije iz ukupne nesigurnosti, iznosi za glavu 8481A — 1,0146, za glavu 8481H — 1,02447, za glavu 8484A — 1,02447 i za glavu 8478B — 1,01953.

Jednačina merenja snage

Razmotrićemo odnos snage $P_{o\check{e}}$ na vatmetru i snage koju generator troši na karakterističnu impendansu Z_o (ovo je snaga P_{gzo}).



a)



b)

Sl. 2 — a) Povezivanje generatora i opterećenja — b) Povezivanje generatora i mikrotalasnog vatmetra

Veza između snage disipirane na opterećenju Z_o i snage disipirane na glavi vatmetra glasi:

$$P_{gzo} = \frac{|1 - \Gamma_{op}\Gamma_g|^2}{1 - |\Gamma_{op}|^2} \cdot P_{gop} \quad (25)$$

Ovde glavu vatmetra smatramo opterećenjem. Kada P_{gop} zamenimo iz izraza (4.2), dobijamo:

$$P_{gzo} = |1 - \Gamma_{op}\Gamma_g|^2 \cdot \frac{1}{\eta_c(1 - |\Gamma_{op}|^2)} \cdot P_{sub} \quad (26)$$

Prvi faktor na desnoj strani izraza (4.4) jeste nesigurnost zbog neprilagođenja, a izraz u imeniocu drugog faktora je faktor baždarenja glave vatmetra K_b , pa je:

$$P_{gzo} = M_u \cdot \frac{1}{K_b} \cdot P_{sub} \quad (27)$$

Snaga očitana na vatmetru $P_{o\check{e}}$ razlikuje se od snage P_{sub} . Postoji više izvora grešaka u elektronici vatmetra koji uslovljavaju netačno pojačanje i prikazivanje snage P_{sub} . Ove greške vatmetra označimo simbolom m , dok postavljanje nule, šum i drift uslovljavaju da, kada je $P_{sub} = 0$ nije i $P_{o\check{e}} = 0$, već postoji neko pokazivanje instrumenta t . Zato je:

$$P_{o\check{e}} = P_{sub} \cdot m + t \quad (28)$$

Usavršavajući (28) i (27) ima se:

$$P_{gzo} = \frac{M_u(P_{o\check{e}} - t)}{K_b \cdot m} \quad (29)$$

U idealnom slučaju je $M_u = 1$, $K_b = 1$, $t = 0$, pa je i $P_{gzo} = P_{o\check{e}}$.

Najgori slučaj nesigurnosti

Kada se računa najgori slučaj nesigurnosti, sabiraju se ekstremne vrednosti svih grešaka, tako da se dobije maksimalno moguće odstupanje $P_{o\check{e}}$ od P_{gzo} . Najveća pojedinačna komponenta nesigurnosti u tom slučaju je nesigurnost zbog neprilagođenosti.

RSS nesigurnost

Najgori slučaj nesigurnosti je vrlo konzervativan i krajnje pesimistički prilaz procene nesigurnosti. Mnogo realističniji prilaz računanja ukupne nesigurnosti je nalaženje korena iz sume kvadrata pojedinačnih nesigurnosti (RSS nesigurnosti). Ova metoda se zasniva na činjenici da je većina grešaka koje se javljaju pri merenjima mikrotalasne snage međusobno nezavisna. RSS

nesigurnost za jednačinu merenja snage (29) bila bi:

$$\frac{\Delta P_{gzo}}{P_{gzo}} = \left[\left(\frac{\Delta M_u}{M_u} \right)^2 + \left(\frac{\Delta K_b}{K_b} \right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m} \right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{P_{o\dot{e}}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (30)$$

Svaki od članova u jednačini (30) može se naći, takođe, koristeći RSS metod za njegove komponente, pa važi:

$$\frac{\Delta m}{m} = \left[\left(\frac{\Delta m_1}{m_1} \right)^2 + \left(\frac{\Delta m_2}{m_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta m_n}{m_n} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (31)$$

Programi za merenje KST i prenos faktora baždarenja glava mikrotalasnih vatmetara

Za merenje KST i prenos faktora baždarenja glava za mikrotalasne vatmetre koriste se dve različite konfiguracije mesnih uređaja, pa su zato i urađena dva posebna programa u BASIC-u. Pored toga, za prenos faktora baždarenja glava 8481A/H, 8484A koristi se jedan program, a za prenos faktora baždarenja termistorske glave 8487B koristi se modifikacija ovog programa, jer se donekle razlikuje merna oprema koja se koristi. Pored ova dva osnovna programa koja rade u realnom vremenu, postoji i program pomoću kojeg se formira matrica podataka koji ulaze u proračun maksimalne moguće greške pri određivanju KST i faktora baždarenja. Ovi podaci odnose se na karakteristike standardnih (etalonskih) glava (KST, Kbe) i karakteristike merne opreme i kreirani su kao posebna datoteka »CALPOD« na disketi računara HP9826. Veza između programa za određivanje KST i programa za prenos faktora baždarenja ostvaruje se preko dve datoteke »BE« i »AJ« u koje program za određivanje KST upisuje vrednosti KST i maksimalne moguće greške određivanja KST za glave koje se testiraju.

Program za formiranje matrice ulaznih podataka

Program za formiranje matrice podataka A(21, 17) poziva se naredbom GET »KONSTRUKT«, a pokreće naredbom RUN. Matrica A(21, 17) smeštena je u datoteci podataka »CALPOD«. Matrica ima 21 vrstu, jer se merenja vrše na toliko frekvencija (50 MHz, 100 MHz, 500 MHz, 1—18 GHz). Kolone matrice sadrže sledeće podatke:

- | | |
|-----------|---|
| Kolona 1 | Frekvencija u GHz |
| Kolona 2 | Faktor baždarenja standardne (etalonske) glave 8481A |
| Kolona 3 | Nesigurnost faktora baždarenja std. glave 8481A |
| Kolona 4 | Koeficijent refleksije standardne (etalonske) glave 8481A |
| Kolona 5 | Faktor baždarenja standardne (etalonske) glave 8478B |
| Kolona 6 | Nesigurnost faktora baždarenja standardne (etalonske) glave 8478B |
| Kolona 7 | Koeficijent refleksije standardne (etalonske) glave 8478B |
| Kolona 8 | Koeficijent refleksije reflektometarskog mosta 11666A |
| Kolona 9 | Usmerenost reflektometarskog mosta 11666A |
| Kolona 10 | Dozvoljena granična vrednost KST za glavu 8484A |
| Kolona 11 | Dozvoljena granična vrednost KST za glavu 8481A |
| Kolona 12 | Dozvoljena granična vrednost KST za glavu 8481H |
| Kolona 13 | Dozvoljena granična vrednost KST za glavu 8478B |
| Kolona 14 | Faktor baždarenja standardne (etalonske) glave 8484A |
| Kolona 15 | Nesigurnost faktora baždarenja std. glave 8484A |
| Kolona 16 | Koeficijent refleksije standardne (etalonske) glave 8484A |

Kolona 17 Koeficijent refleksije razdelnika snage WE 1870A

Program KONSTRUKT omogućava:

- formiranje nove matrice A(21, 17) ili inicijalno formiranje ove matrice,
- menjanje pojedine kolone matrice A,
- menjanje pojedinog elementa matrice A,
- prikazivanje na displeju sadržaja matrice A,
- štampanje sadržaja matrice A.

Program za određivanje KST glava za mikrotalasne vatmetre

KST glava za mikrotalasne vatmetre određuje se uz pomoć programa »KST GLAVA«. Koristi se reflektometrijska metoda merenja koeficijenta re-

fleksije, a zatim se ovaj koeficijent preračunava u KST.

Povezivanje mernih instrumenata prikazano je na slici 3.

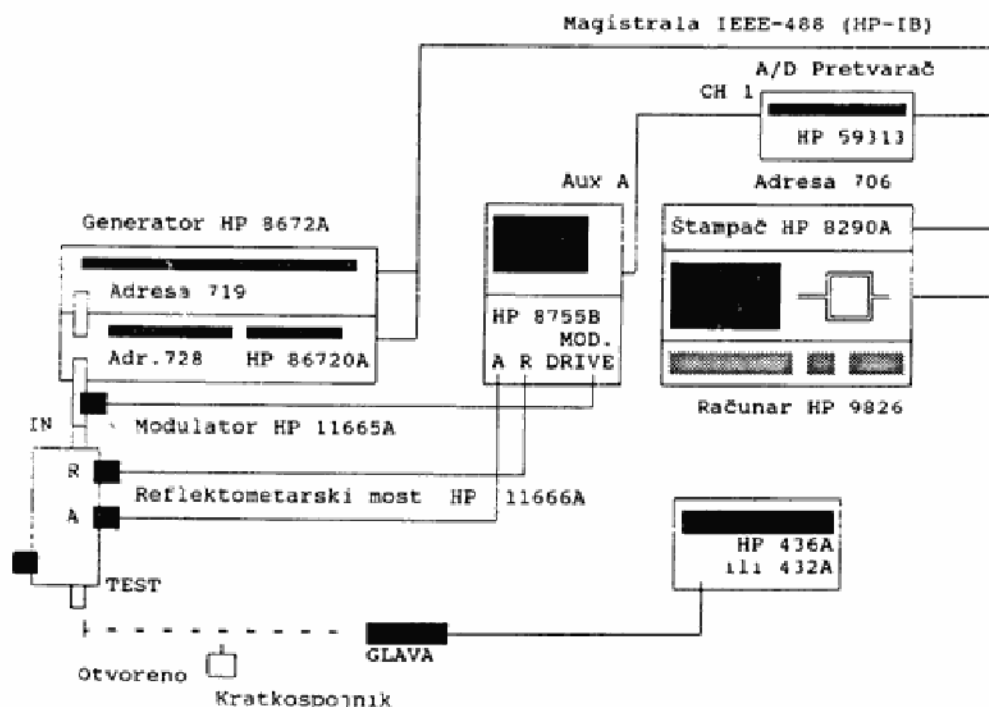
Početno postavljanje mernih instrumenata dato je na sledeći način:

a) analizator prebrisavajuće amplitude

HP 8755B
kanal: CHANNEL 1
referentni nivo: REFERENCE
LEVEL — 00 dB
VERNIER — OFF
dB / DIV — 5
DISPLAY — A/R

b) Generator signala HP 8672A:

RANGE dBm: — 110
meter mode: — LEVEL
RF OUTPUT: — OFF
OUTPUT LEVEL VERNIER: krajnji levi položaj (min)



Sl. 3 — Šema povezivanja mernih instrumenata za automatsko određivanje KST

ALC — INT
AM — OFF
FM DEVIATION MHz — OFF

- c) jedinica za proširenje frekventnog opsega HP 86720A:
OUTPUT VERNIER — krajnji levi položaj (min)
- d) A/D pretvarač HP 59313A — koristi se kanal 1 (CH1)
- e) displej HP 182T — koristi se analogni izlaz AUX A.
- f) modulator HP 11665B i reflektometrijski most HP 11666A povezani su kao na slici 3.

Kao izlaz sa displeja 182T, odnosno analizatora amplitude 8755B, koristi se izlaz na zadnjoj strani displeja AUX A. Za izabrano 5 dB/div na analizatoru amplitude imamo odnos $0,1 \text{ V} = 1 \text{ dBm}$ i ova relacija se koristi u programu. Kanal 1 (CH1) A/D pretvarača podešen je za maksimalnu vrednost 2,5 V ulaza, što odgovara broju 1023. Formula za A/D pretvaranje, koje se koristi u programu je:

$$U = k \cdot N \quad (32)$$

$$k = \frac{\text{ulazni puni opseg}}{\text{izlazni puni opseg}} = \frac{2,5}{1023} \quad (33)$$

gde je U proračunati napon iz digitalne forme N izlaza iz A/D pretvarača.

Program prvo očitava matricu A (21/17) iz datoteke »CALPOD«. Zatim se meri refleksija pri otvorenom, odnosno kratko spojenom TEST terminalu reflektometarskog mosta. Generator signala HP 8672A i njegova jedinica za proširenje frekvencije HP 86720A su programirani, tako da sa navedenom 21 frekvencijom daju izlazni nivo od +10 dBm za glavu 8481A/H i 8478B a — 7 dBm za glavu 8484A. Ovaj signal biva oslabljen, jer modulator ima svoje unešeno slabljenje, a nominalno slabljenje reflektometarskog mosta na TEST terminalu je 9 dB.

Nakon registrovanja vrednosti refleksije za kratkospojen i otvoren TEST terminal reflektometarskog mosta, na vatmetar se spoji glava čiji se KST traži. Nakon temperaturne stabilizacije glave, ona se priključuje na TEST terminal reflektometarskog mosta. »REFERENCE LEVEL« na kanalu 1 analizatora amplitude 8755B postavi se na — 20 dBm, a program ovaj fakat uzima u obzir pri merenjima. Programom se dalje upravlja određivanjem slabljenja refleksije, a odatle se računa koeficijent refleksije i KST. Rezultati merenja i obrade rezultata merenja štampaju se u 5 kolona: frekvencija — F (GHz), koeficijent refleksije — K.REF., maksimalna moguća greška nalaženja koeficijenta refleksije — DELT.Kref., koeficijent stojećeg talasa — KST i dozvoljeni maksimalni koeficijent talasa za datu glavu — dozv.KST (tabela 1).

Nakon štampanja rezultata K.REF. i DELT.Kref. se upisuju u matrice B(21,20) i E(21,20). Ove matrice sadrže do 20 podataka o koeficijentima refleksije i greškama koeficijenta refleksije raznih glava čiji se KST traži i upisuju se u datoteke »BE«, »AJ« na disketi. Ovi podaci se koriste za određivanje nesigurnosti faktora baždarenja u programu »FB GLAVA«, odnosno »FB 8478B«.

Maksimalna moguća greška merenja koeficijenta refleksije za reflektometrijske metode određuje se na sledeći način:

Sematski prikaz bilo kog reflektometra prikazan je na slici 4.

Ovde je:

- A — snaga koja direktno teče sa ulaza na izlaz sistema preko kojeg se vrši testiranje, nezavisno od uređaja koji se testira;
- T — faktor skaliranja sistema;
- C — prilagođenost izvora, odnosno ekvivalentna refleksija gledajući sa izlaza reflektometra.

Tabela 1

Koeficijent refleksije i KST		Model HP 8484A		
Serijski broj: 1635A00861		Datum: 26. 11. 1993.		
F (GHz)	K. Ref	DELT. KRef	KST	Dozv. KST
0,05	0,06112	0,03782	1,13020	1,15000
0,10	0,04907	0,03656	1,10320	1,15000
0,50	0,04901	0,03648	1,10310	1,15000
1,00	0,04942	0,03671	1,10400	1,15000
2,00	0,04805	0,03675	1,10100	1,15000
3,00	0,05593	0,03762	1,11850	1,15000
4,00	0,05586	0,03839	1,11830	1,20000
5,00	0,06018	0,03911	1,12810	1,20000
6,00	0,06438	0,03989	1,13760	1,20000
7,00	0,06260	0,04007	1,13360	1,20000
8,00	0,06754	0,04091	1,14490	1,20000
9,00	0,06557	0,03991	1,14030	1,20000
10,00	0,06304	0,03947	1,13460	1,30000
11,00	0,06898	0,03985	1,14820	1,30000
12,00	0,06484	0,03887	1,13870	1,30000
13,00	0,06539	0,04177	1,13990	1,30000
14,00	0,06475	0,04213	1,13850	1,30000
15,00	0,06859	0,04295	1,14730	1,30000
16,00	0,07580	0,04467	1,16400	1,30000
17,00	0,07917	0,04558	1,17200	1,30000
18,00	0,08201	0,04558	1,17870	1,30000
Napomene				
Kref — Koeficijent refleksije				
DELT.Kref — Greška koeficijenta refleksije				
KST — Koeficijent stojećeg talasa				
Dozv.KST — Maksimalni dozvoljeni KST				

Preko Masonovog [4] zakona dobija se:

$$\Gamma_m = A + \frac{(1+T) \cdot \Gamma_A}{1 - C\Gamma_A} \quad (34)$$

Sve veličine u gornjoj jednačini su kompleksni brojevi. Zanedmarujući uticaj faze proračunavamo maksimalnu moguću grešku kao slučaj sabiranja najgorih mogućnosti grešaka za navedene veličine:

$$E = \Gamma_M - \Gamma_A = A + \frac{1+T}{1 - C\Gamma_A} - \Gamma_A \quad (35)$$

Nakon uprošćavanja dobija se:

$$E \approx A + T \cdot \Gamma_A + C \cdot \Gamma_A^2 \quad (36)$$

S obzirom na to da je T nepoznato, meri se otvorenim reflektometrom, a zatim jedinicom koja se testira, pa se dobije:

$$\begin{aligned} \Gamma_{\text{otvoreno}} &= \Gamma_A + (A + T \cdot \Gamma_A + C \cdot \Gamma_A^2); \\ \Gamma_A &= -1 \end{aligned} \quad (37)$$

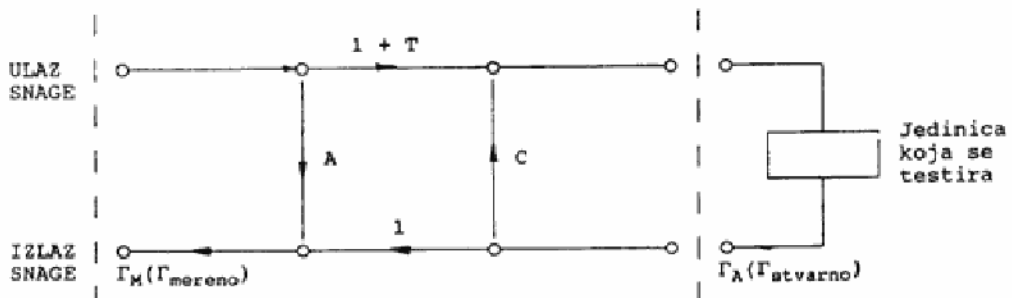
$$\Gamma_{\text{test}} = \Gamma_T = \Gamma_A + (A + T \cdot \Gamma_A + C \cdot \Gamma_A^2) \quad (38)$$

Iz (37) je:

$$\Gamma_{\text{otvoreno}} = \Gamma_o = -1 + (A - T + C) \quad (39)$$

Merenje se obavlja nalaženjem odnosa Γ_T i Γ_o pa je:

$$\Gamma_{\text{displej}} = \Gamma_d = \frac{\Gamma_T}{\Gamma_o} = \frac{\Gamma_A + A + T \cdot \Gamma_A + C \cdot \Gamma_A^2}{1 - (A - T + C)} \quad (40)$$



Sl. 4 — Prenošenje mikrotalasne snage u reflektometarskom sistemu

Nakon uprošćavanja dobija se:

$$\Gamma_d = \Gamma_A + [A - (A+C) \cdot \Gamma_A + C \cdot \Gamma_A^2] \quad (41)$$

Nesigurnost računanja koeficijenta refleksije je:

$$\Delta\Gamma = \Gamma_d - \Gamma_A = A + (A+C) \Gamma_A + C \Gamma_A^2 = A + B \Gamma_A + C \Gamma_A^2 \quad (42)$$

gde je $B = A + C$ greška kalibracije. Gornja formula se može napisati i kao:

$$\Delta\rho = A + B\rho + C\rho^2 \quad (43)$$

jer je ρ skalarni ekvivalent koeficijenta refleksije. Iz gornjeg izraza drugi sabirak se može ukinuti, jer je B jednako nuli kada se vrši kalibracija reflektometarskog sistema tako što se referentni nivo određuje kao aritmetička sredina merenja otvorenog i kratkospojenog reflektometra. To je urađeno u našem programu i postupku merenja.

U našem konkretnom slučaju $A = D_r/T$, što je ekvivalentna usmerenost reflektometarskog mosta, a $C = \rho_c + |TD_i|$ je ekvivalentni koeficijent refleksije reflektometarskog mosta. Inače, C malo utiče na vrednost $\Delta\rho$ jer se množi sa ρ^2 .

*Program za prenos faktora
baždarenja glava 8481A/H
i 8484A*

Merna oprema za određivanje faktora baždarenja glava 8481A/H i 8484A

povezana je kao što je prikazano na slici 5.

Postupak merenja, upravljano programom »FB GLAVA« je:

— kalibrisanje svih glava (pomoćne, standardne, testirajuće) vrši se na referentnom oscilatoru vatmetra sa adresom 713;

— pomoćna glava HP 8484A se na razdelnik snage povezuje preko oslabljivača 30 dB;

— testirajuća glava 8484A se na razdelnik snage priključuje preko oslabljivača 30 dB, glava 8481A preko oslabljivača 6 dB, a glava 8481H preko oslabljivača 3 dB;

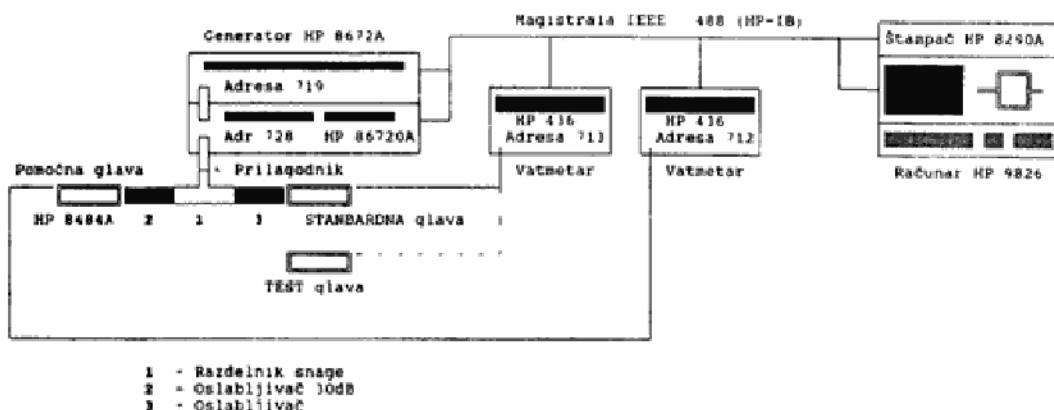
— na razdelnik snage se prvo vežuju standardna i pomoćna glava. Vršiti se očitavanje vatmetra na zadatim frekvencijama i nalazi se odnos:

$$P_1 = \frac{P_{pom}}{P_{std}} \quad (44)$$

Navedeno merenje se obavlja 10 puta i uzima se aritmetička sredina da bi se smanjio uticaj slučajne greške.

— Standardna glava zamenjuje se testirajućom i opet se obavljaju ista merenja, a registruje se odnos:

$$P_2 = \frac{P_{pom}}{P_{test}} \quad (45)$$



Sl. 5 — Šema povezivanja mernih instrumenata za automatsko prenošenje faktora baždarenja

Tabela 2

Faktor baždarenja glave Model HP 8484H
 Serijski broj: 2645A7773 Datum: 27. 12. 93
 Kao etalon korištena glava: HP 8484A
 Serijski broj: 2046A06332
 Atest standardne glave: 259 od: 10. 1993.
 izdat od ML-02

F (GHz)	Fak. B. STD.	Fak. B. Test	Nes. F. B. (%)
0,05	1,0000	1,0000	0,00
0,10	0,9876	0,9859	5,99
0,50	0,9534	0,9532	5,69
1,00	0,9481	0,9362	5,19
2,00	0,9347	0,9324	5,14
3,00	0,9279	0,9217	4,81
4,00	0,9285	0,9198	5,00
5,00	0,9361	0,9288	5,20
6,00	0,9453	0,9325	5,42
7,00	0,9507	0,9304	5,06
8,00	0,9538	0,9225	5,34
9,00	0,9555	0,9116	5,20
10,00	0,9603	0,9361	5,61
11,00	0,9615	0,9243	5,57
12,00	0,9707	0,9463	5,60
13,00	0,9348	0,9083	6,17
14,00	0,9592	0,9285	6,95
15,00	0,9641	0,9217	6,99
16,00	0,9547	0,9100	6,94
17,00	0,9234	0,8597	7,29
18,00	0,8437	0,7942	7,24

NAPOMENE

Fak. B. STD — Faktor bažd. standardne glave

Fak. B. Test — Faktor bažd. testirajuće glave

Nes. F. B. — Nesigurnost faktora baždarenja u (%)

Da bi se smanjile greške prenosa faktora baždarenja, nađen je kompromis između potrebne snage izvora i smanjenja KST izvora umetanjem oslabljivača između izvora i glava. U toku merenja standardnom i testirajućom glavom pet puta se postavlja nula na vatmetrima (na 50 MHz, 1, 6, 9, 14 GHz). Kalibrisanje glava na istom referentnom oscilatoru smanjuje ukupne greške merenja.

Rezultati merenja štampaju se u četiri kolone: frekvencija »F(GHz)«, faktor baždarenja etalonske glave — »Fak. B.STD.«, faktor baždarenja testirajuće glave — »Fak.B.test« i nesigurnost faktora baždarenja »Nes.F.B.[%]« (tabela 2). Za korisnika se, po potrebi, može štampati i još jedna kopija rezultata.

Najgori slučaj nesigurnosti faktora baždarenja, izražen u procentima, računa se kao:

$$M'_{ukb} = \frac{K_{bmax} - K_b}{K_b} \cdot 100 = \left(\frac{K_{bmax}}{K_b} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (47)$$

K_{bmax} je najveća moguća vrednost za K_b i računa se kao:

$$K_{bmax} = K_{bemax} \cdot M_u \cdot W \quad (48)$$

gde je:

K_{bemax} — najveća moguća vrednost koeficijenta baždarenja etalonske glave,

M_u — nesigurnost zbog neprilagođenja,

W — maksimalna moguća greška vatmetra.

Iz (47) i (48) dobijamo:

$$M'_{ukb} = \left[\left(\frac{M_{ue}}{100} + 1 \right) M_u \cdot W - 1 \right] \cdot 100\% \quad (49)$$

gde je:

M_{ue} — nesigurnost određenja faktora baždarenja etalonske glave.

Ovo merenje se, zbog već navedenih razloga, ponavlja 10 puta i nalazi se srednja vrednost P_2 .

— Prenos faktora baždarenja vrši se po formuli:

$$K_b = K_{bs} \cdot \frac{P_2}{P_1} \quad (46)$$

Nesigurnost zbog neprilagođenosti se računa kao:

$$M_u = (1 + |\Gamma_g| \cdot |\Gamma_e|)(1 + |\Gamma_t| \cdot |\Gamma_s|) \quad (50)$$

gde je:

Γ_g — ekvivalentni koeficijent refleksije generatora;

Γ_e — koeficijent refleksije etalonske glave;

Γ_t — koeficijent refleksije testirajuće glave, ali kada se na njega doda i nesigurnost određivanja koeficijenta refleksije.

U izrazu (49) figuriše nesigurnost određivanja faktora baždarenja kao funkcija svih sistematskih grešaka koje se javljaju tokom merenja. U ovaj izraz nisu uvrštene slučajne greške merenja.

Da bi se uticaj slučajnih grešaka merenja sveo na što manje vrednosti, merenja standardnom i testirajućom glavom izvode se po 10 puta uzastopno, a aritmetička sredina se uzima kao rezultat merenja. Ocenu navedenih rezultata merenja vršimo preko standardne devijacije, i to kao:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \pm \sqrt{\frac{\sum_i (P_{1j} - \bar{P}_1)^2}{n-1}} = \\ &= \pm 1/3 \sqrt{\sum_i (P_{1j} - \bar{P}_1)^2} \end{aligned} \quad (51)$$

gde je:

$$\bar{P}_1 = \frac{1}{10} \sum_i P_{1j}$$

odnosno:

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \pm \sqrt{\frac{\sum_i (P_{2j} - \bar{P}_2)^2}{n-1}} = \\ &= \pm 1/3 \sqrt{\sum_i (P_{2j} - \bar{P}_2)^2} \end{aligned} \quad (52)$$

gde je:

$$\bar{P}_2 = \frac{1}{10} \sum_i P_{2j}$$

Ukupna standardna devijacija je:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 \quad (53)$$

Uzimajući u obzir relacije (49) i (53) imamo ukupnu nesigurnost merenja:

$$M_{ukb} = M'_{ukb} + n\sigma \quad (54)$$

gde je $n=2$ za verovatnoću 95% (što se i koristi u programu), a $n=3$ za verovatnoću 99%.

Ukoliko se u izrazu (47), javi neka vrednost $K_b > 1$ (ili $> 100\%$), vrši se normalizacija, što je u programu predviđeno i izvedeno.

Program za prenos faktora baždarenja glava 8478B

S obzirom na to da vatmetar HP 432A uz koji se koriste termistorske glave HP 8478B i HP 478A ne poseduje HP-IB interfejs, to se povezivanje instrumenata za prenos faktora baždarenja navedenih glava nešto razlikuje od konfiguracije date na sl. 5. Naime, izlaz RECORD (na zadnjoj ploči instrumenata) vatmetra HP 432A povezan je na A/D pretvarač HP 59313. Na vatmetar HP 432A povezuje se prvo etalonska (standardna), a zatim glava koja se testira. Kanal A/D pretvarača na koji se dovodi signal RECORD podešen je na maksimalni ulaz 5V, što odgovara maksimalnom digitalnom izlazu 1023.

Zaključak

Da bi se nesigurnost merenja mikrotalasne snage svela na najmanju meru, potrebno je vršiti baždarenje glava za mikrotalasne vatmetre. KST glava mora biti u propisanim granicama, a faktor baždarenja mora se što tačnije odrediti. Uobičajeno je da se glave baždare jednom godišnje.

Automatsko baždarenje glava, kako je to pokazano u ovom radu, znatno

ubrzava proces merenja KST i prenos faktora baždarenja. Osim toga, nesigurnost ručnog (korak po korak) određivanja faktora baždarenja iznosi oko

$\pm 10\%$, dok se iz priloženih tabela vidi da je ta nesigurnost kod opisane metode automatskog prenošenja faktora baždarenja ispod 7% .

Literatura:

- [1] JUS L.G7.101: Mikrotalasni instrumenti — Termini i definicije, Savezni zavod za standardizaciju, BEOGRAD, 1980.
- [2] HP Application Note 64-1: Fundamentals of RF and Microwave Power Measurement, 1978.
- [3] HP Application Note 64-2: Extended Application of Automatic Power Meters, 1978.
- [4] HP Application Note 183: High Frequency Swept Measurement, 1978.
- [5] Ely C. P.: Swept — Frequency Techniques, Proceedings of the IEEE, Vol 55, No 8, 1967, str. 991—1001.
- [6] M. Unković: Greške merenja mikrotalasne snage i programi za merenje KST-a i prenos faktora baždarenja glava za mikrotalasne vatmetre HP8481A/H, HP8484A, HP8478B, HP478A; Interno uputstvo, ML36, Tivat, 1994.

Mr Branko Đedović,
major, dipl. inž.

SIMULACIJA NA RAČUNARU ELEKTROHIDRAULIČNOG SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA VOJNOTEHNIČKIM OBJEKTOM NEPOVOLJNIH KARAKTERISTIKA

Uvod

Radi ispitivanja ponašanja elektrohidrauličnog sistema automatskog upravljanja, na bazi savremene teorije i nove tehnologije sistema upravljanja (metoda prostora stanja), u radu je prikazana tehnika simulacije modela upravljanja na digitalnom računaru. Objekat upravljanja predstavljen je obrtnom masom velikog momenta inercije koja se obrće u horizontalnoj ravni — kupola zajedno sa cevi borbenog sredstva. Simulacija procesa na digitalnom računaru vršena je radi izvođenja kompleksne analize kvaliteta ponašanja sistema pri realizaciji zadatka upravljanja.

Efikasnost pogotka cilja i verovatnoća njegovog uništenja borbenim sredstvima naoružanja u direktnoj je zavisnosti od tačnosti praćenja cilja preciznim ugaonim položajem i brzinom ugaonog pomeranja po pravcu i elevaciji cevi oruđa. Ciljevi — sistemi naoružanja, proizvodi su novih tehnologija, a njihova konstrukcija rezultat primene najnovijih tehničkih, teoretskih i praktičnih saznanja niza multidisciplinarnih nauka. Njihove performanse i taktičko-tehničke karakteristike ispoljene su visokim dinamičkim svojstvima pa se pred konstruktore izvršnih organa sistema za upravljanje vatrom oruđa postavlja zada-

tak projektovanja visoke preciznosti položaja i maksimalne brzine reagovanja. Ovaj zadatak prati niz ograničenja fizičke i tehničke prirode.

Dosadašnja rešenja u realizaciji upravljačke konture izvršnih organa sistema upravljanja vatrom, kod nas i u svetu, dala su samo delimično zadovoljavajuće rezultate.

Predloženi rad ima za cilj da ukaže na mogućnosti istraživanja koncipiranog rešenja simulacijom na digitalnom računaru i ispitivanja ponašanja servosistema pri različitim kombinacijama promenljivih parametara, radi izbora najpovoljnijeg rešenja.

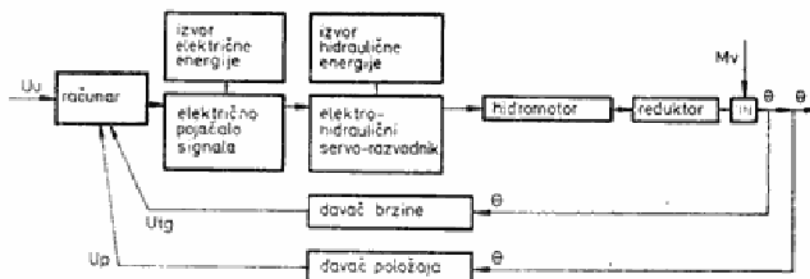
Realizacija upravljačke funkcije

Elektrohidraulički sistem automatskog upravljanja obrtnom masom velikog momenta inercije koncipiran je od:

- upravljačkog podsistema,
- podsistema izvršnih organa.

Upravljački podsistem omogućava potpuno definisanje algoritma upravljanja i formiranje upravljačkog signala na izlazu iz mikroračunara kojim se utiče na podsistem izvršnih organa.

- Upravljački podsistem sačinjavaju:
- informacioni sistem;



Sl. 1 — Principijelna šema sistema upravljanja

U_u — Upravljački signal, M_v — Obrtni moment, Θ — Ugao, U_{tg} — Signal povratne veze brzine, U_p — Signal povratne veze položaja

- upravljački blok operatora;
- mikroračunar sa interfejsima, A/D i D/A konvertorima;
- elektronski pojačavač signala, i
- davači informacija povratnih sprege.

Podsistem izvršnih organa omogućuje realizaciju upravljačke funkcije generisanjem fizičkih veličina koje definišu statičke i dinamičke karakteristike objekta upravljanja.

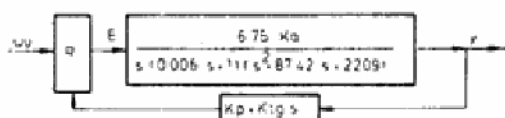
Podsistem izvršnih organa sačinjavaju:

- elektronsko pojačalo signala sa izvorom električne energije;
- elektrohidraulični dvostepeni servorazvodnik sa izvorom hidraulične energije;
- hidromotor, i
- reduktor.

Principijelna šema elektrohidrauličnog sistema automatskog upravljanja obrtnom masom prikazana je na slici 1.

Za analitičko ispitivanje dinamičkih karakteristika objekta upravljanja, nakon statičkog proračuna i izbora hidrauličnih komponenti za zadani momenat inercije obrtne mase, postavljene su odgovarajuće diferencijalne jednačine kojima je opisan podsistem izvršnih organa u sistemu automatskog upravljanja.

Opisani sistem upravljanja predstavljen je blok-dijagramom koji je prikazan na slici 2.



Sl. 2 — Blok dijagram elektrohidrauličnog sistema upravljanja

U_u — Upravljački signal, ε — Signal na izlazu iz regulatora, R — Regulator, Y — Izlazna veličina sistema, K_a — Koeficijent pojačanja elektronskog pojačala, K_p — Koeficijent senzora položaja, K_{tg} — Koeficijent tahogeneratora, S — Laplaceov operator

Sinteza digitalnog sistema upravljanja

U projektu posmatranog sistema upravljanja primenjen je digitalni regulator koji, u poređenju sa analognim, s obzirom na mogućnost programiranja, poseduje veću fleksibilnost i dopušta prilagođavanje regulatora karakteristikama objekta bez izmene fizičke realizacije.

Pošto je projektovani sistem hibridni, sadrži digitalne i analogne komponente, te koristi digitalni upravljački uređaj, neophodno je izvršiti konverziju analognih u digitalne signale, i obratno. Konverzija digitalnih signala u analogne realizuje se primenom ekstrapolatoranultog reda.

U postupku sinteze digitalnog sistema automatskog upravljanja prvo je određena »z« transformacija prenosne fun-

kcije ekstrapolatora nultog reda i prenosne funkcije kontinualnog dela sistema.

Primenom bilinearne transformacije i digitalnom korekcijom sistema — projektovanjem digitalnog regulatora, na bazi komparacije logaritamske am-

plitudne i fazne karakteristike, koja zadovoljava zahtevane performanse sistema sa logaritamskom amplitudnom i faznom karakteristikom nekorigovanog sistema, sledi prenosna funkcija otvorenog kola digitalnog korigovanog sistema upravljanja:

$$Gr \cdot Gho \cdot Gpr(w) = \left[\frac{0,83 \cdot Ka \cdot (0,664 \cdot w - 1) \cdot (1,444 \cdot w + 1) \cdot (1,585 \cdot w + 1)}{(w + 1) \cdot (w + 1) \cdot (w + 1)} \right] \cdot \left[\frac{1}{(0,664 - 1) \cdot (0,143 \cdot w + 1)} \right]$$

gde je:

Gr — prenosna funkcija regulatora,

Gho — prenosna funkcija ekstrapolatora nultog reda,

Gpr — prenosna funkcija kontinualnog dela sistema upravljanja,

w — operator bilinearne transformacije.

Simulacija sistema upravljanja na računaru

Za ispitivanje ponašanja elektrohidrauličnog sistema automatskog upravljanja obrtnom masom u horizontalnoj ravni, osim matematičke analize, izvršena je i simulacija na digitalnom računaru SYBER 170, korišćenjem programskog jezika FORTRAN.

Simulirana je prethodno dobijena prenosna funkcija sistema upravljanja u obliku:

$$\frac{Gr \cdot Gho \cdot Gpr}{1 + Gr \cdot Gho \cdot Gpr} = \frac{22,798 \cdot w^2 + 30,169 \cdot w + 9,96}{0,143 \cdot w^4 + 1,429 \cdot w^3 + 1,429 \cdot w^2 + 3,143 \cdot w + 1}$$

Izborom faznih promenljivih stanja, jednačine stanja sistema upravljanja izražavaju se relacijama:

$$\dot{x}_1 = x_2,$$

$$\dot{x}_2 = x_3,$$

$$\dot{x}_3 = x_4,$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_4 &= \frac{1}{0,143} \cdot (U_u - 1,429 \cdot x_4 - \\ &\quad - 24,157 \cdot x_3 - 33,21 \cdot x_2 - 10,96 \cdot x_1) \\ y &= 22,80 \cdot x_3 + 30,17 \cdot x_2 + \\ &\quad + 9,96 \cdot x_1. \end{aligned}$$

Matrični oblik jednačina glasi:

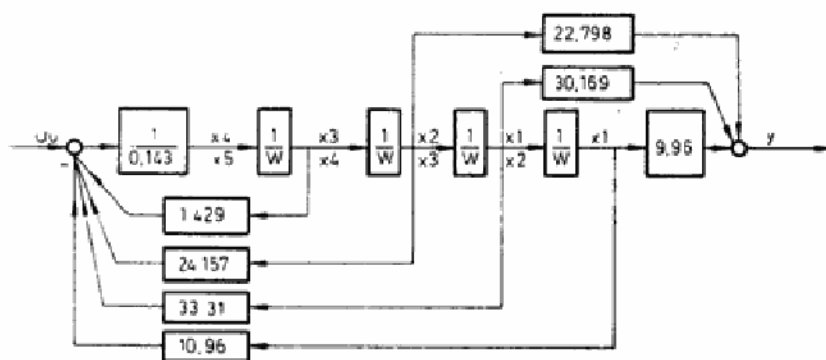
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -76,6 & -233 & -169 & -10 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 7 \end{bmatrix} \cdot U_u$$

$$\underline{y} = [9,96 \quad 30,17 \quad 22,80] \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

Blok-dijagram jednačine stanja sistema upravljanja prikazan je na slici 3.

Dijagrami odziva sistema upravljanja obrtnom masom u horizontalnoj ravni, simuliranog na računaru, za raz-

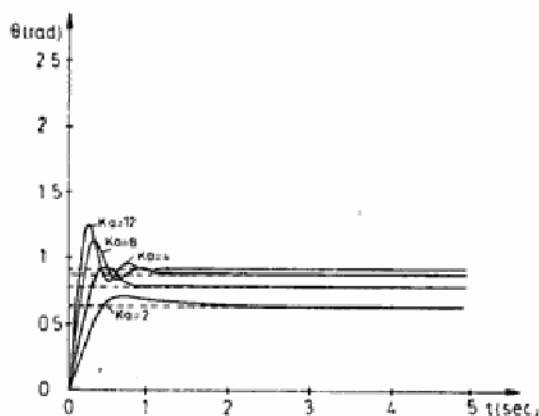
ranja odnosa ulazne promenljive i izlaza. Ona se otklanja uvođenjem linearnog pojačanja u sistem. Za pojačanje $K_a=12$ greška je u dozvoljenim granicama.



Sl. 3 — Blok dijagram promenljivih stanja sistema upravljanja simuliran na digitalnom računaru

U_u — Upravljački signal, Y — Izlazna veličina sistema, $\hat{X}_1$ do $\hat{X}_4$ — Fazne promenljive stanja, X_1 do X_5 — Fazne promenljive stanja

ličite faktore pojačanja elektronskog pojačala K_a ($K_a=2$ i $K_a=12$) izgledaju kao na slici 4.



Sl. 4 — Dijagram odziva sistema upravljanja za jediničnu odskočnu funkciju za različito pojačanje K_a

Analizom dijagrama uočava se da je greška ustaljenog stanja $e=10\%$ za pojačanje $K_a=2$, što ne odgovara projektnim zahtevima. Greška ustaljenog stanja je posledica neusklađenog skali-

Program za simulaciju teoretskog modela sistema upravljanja na digitalnom računaru SYBER 170 u FORTRAN-u dat je u sledećim naredbama:

```
0010 INTER N, K
0020 REAL X, Y (5), H, YIZLAZ
0030 REAL Q (5), YPRIME (5)
0040 EXTERNAL
0050 H=0.001
0060 N=5
0070 X=0.0
0080 DO 13 I=1,N
0090 Q(I)=0.0
0100 YPRIME(I)=0.0
0110 Y(I)=0
13 0120 CONTINUE
0130 II=0
0140 DO 10 K=1,4000
0150 CALLRUNKT (N, X, H, Y, Q,
YPRIME)
0160 YIZLAZ=22.798 Y(3)+30.17
Y(2)+9.96 Y(1)
0170 II=II+1
0180 IF(II.LT.20) GO TO 10
0190 WRITE (6, )X, YIZLAZ
0200 WRITE (6, )X, Y(1), Y(2),
Y(3), Y(4)
```

```

0210 II=0
10 0220 CONTINUE
13 0230 STOP
0240 END
0250 SUBROUTINE RUNKUT (N<
<X, H, Y, Q, YPRIME)
0260 DIMENSION Y(N), Q(N), YPR-
IME(N), GILL(16)
0270 DATA GILL/0.,.5,0.,.5,.
5,. 29893,1.70711,. 16167,
2., 1.,1.,2.,.5,. 29893,1.
70711,.5/
0280 DO 60 J=1.4
0290 X=X+GILL(J) H
0300 CALL DJDN (N, X, Y, YPRI-
ME)
0310 DO 80 I=1, N
0320 S=GILL(4+J) (YPRIME(I)-
-GILL(8+J) Q(I) )
0330 Y(I)=Y(I)+S H
0340 Q(I)=Q(I)+3 S-GILL(12+J)
YPRIME(I)
80 0350 CONTINUE
60 0360 CONTINUE
0370 RETURN
0380 END
0390 SUBROUTINE DJDN (N, X,
Y, TPRIME)
0400 INTEGER N
0410 REAL Y(N), YPRIME(N)
0420 YPRIME(1)=Y(2)
0430 YPRIME(2)=Y(3)
0440 YPRIME(3)=Y(4)
0450 YPRIME(4)=(1-1.429 Y(4)-
-24.157 Y(3)-33.31 Y(2)-
-10.96 Y(1))/0.143

```

```

0460 RETURN
0470 END

```

Iz dijagrama odziva digitalnog sistema na jediničnu odskočnu funkciju za $K_a=12$ (slika 4), slede pokazatelji rada sistema u prelaznom i stacionarnom stanju:

— vreme uspona	$T_u=0,18$ s,
— vreme smirenja (za $e=2\%$)	$T_s=0,58$ s,
— preskok sistema	$M_p=1,32$,
— predominantna vremenska konstanta . . .	$T_d=0,09$ s,
— vreme kašnjenja	$T_k=0,08$ s.

Navedeni pokazatelji ukazuju na zadovoljavajuće ponašanje sistema upravljanja obrtnom masom u prelaznom i stacionarnom stanju, odnosno na postignutu zahtevanu preciznost položaja i brzohodnost.

Zaključak

Na temelju analize realizacije sistema automatskog upravljanja obrtnom masom, simulacijom na digitalnom računaru dobijeni su pokazatelji kvaliteta rada sistema u prelaznom i stacionarnom stanju, koji ukazuju na zadovoljavajuće ponašanje sistema upravljanja, bez izrade fizičkog modela. Simulacija je omogućila proučavanje uticaja promene pojedinih parametara na sistem u celini.

Literatura:

- [1] Abdull, R., i Ciner, P.: Elektrohidraulički servosistemi, Zagreb, 1985.
- [2] Besekerskiy, V. A., i Izrancev, V. V.: Sistemi avtomatičeskovo upravlenija s mikro EBM, Moskva, 1987.
- [3] Đedović, B.: Mikroročunarska implementacija digitalnog regulatora pozicionog sistema automatskog upravljanja rotacijom, HIPNEF '88.
- [4] Grujić, Z.: Hidraulički servosistemi, Zagreb, 1978.
- [5] Kvakernak, H., i Sivan, R.: Linear Optimal Control Systems, J. Wiley, 1972.
- [6] Spechart, F. H., i Green, W. L.: A GUIDE TO USING CSMP — The Continuous System Modeling Program, EngleWood Cliffs 1976.

Dragutin Mišović,
dipl. inž.

POSTUPAK KRATKOTRAJNOG NITRIRANJA U MEŠAVINI GASOVA — NIKOTRIRANJE

Uvod

U radu su obrađeni rezultati dobijeni nikotriranjem čelika za cementaciju, poboljšanje, alatnih čelika, kao i sivog liva. Ovi materijali se najčešće upotrebljavaju u proizvodnji i remontu r/d i TMS.

Da bi se lakše razumeo i prikazao postupak nikotriranja podsetićemo se postupka nitriranja.

Retko koji postupak termičke obrade ima toliko savremenih oblika kao nitriranje, pa su se njime naučnici najčešće bavili. Prateći savremena dostignuća u oblasti hemijsko-termičke obrade, Tehnički remontni zavod iz Čačka snabdeo se savremenom opremom za izvođenje ovog postupka.

Analizom karakteristika pojedinih rezervnih delova i nekih novih proizvoda, nameće se zaključak da ovaj postupak može imati široku primenu u procesu njihove proizvodnje.

Nitriranje i postupci nitriranja

Nitriranje je hemijsko-termički postupak, koji se sastoji u zagrevanju metala na temperaturi između 500°C i 580°C , pri kojoj je njegova površina izložena delovanju sredstava koja oda-ju azot.

Sredstvo za nitriranje može biti: čvrsto (prah), tečno (sona kupka), gasno (razni gasovi ili mešavina gasova) ili ijonizovani gas (ionitiranje).

Svim postupcima nitriranja je zajedničko da se odvijaju ispod 600°C , tj. ispod temperaturne granice transformacije A_1 , tako da se struktura u jezgru tretiranog dela ne menja. U jezgru ne dolazi do promene feritne strukture, već ona zadržava svoju prostorno centriranu kubnu rešetku.

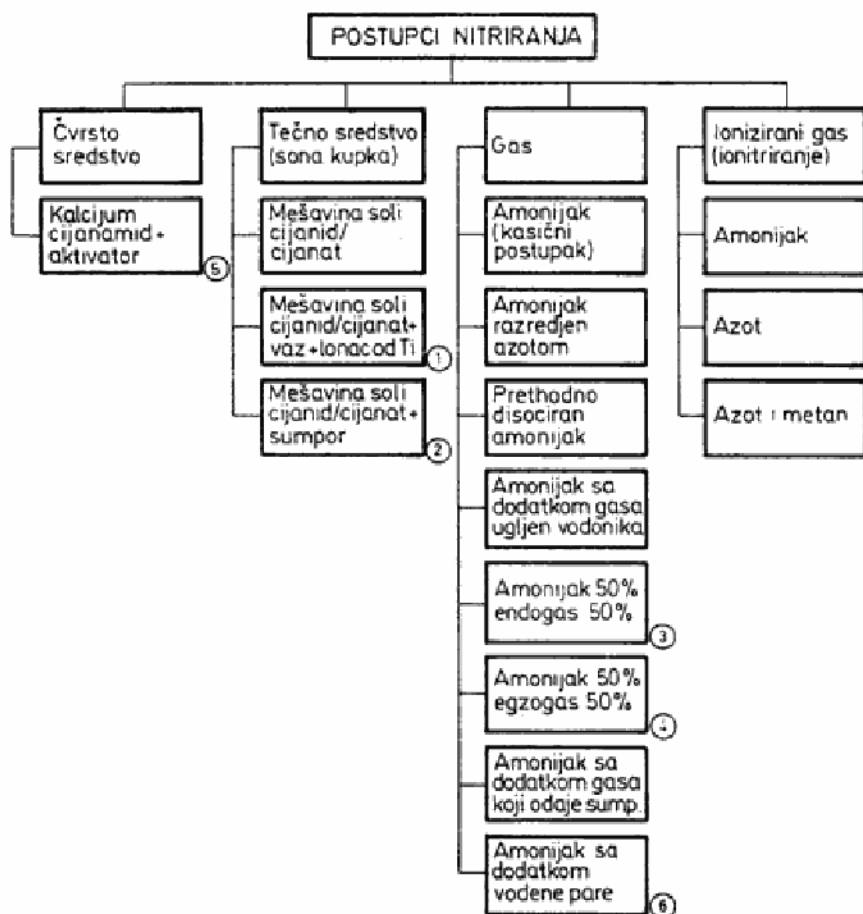
Kod većine postupaka nitriranja u površini metala, osim azota, istovremeno difunduje najmanje još jedan ili više drugih elemenata, kao što su ugljenik, kiseonik, sumpor, tj. radi se o postupcima sa istovremenom difuzijom više elemenata.

Svrha i oblast primene nitriranja

Veliki je broj primena postupaka nitriranja na delovima od kojih se traže sledeće karakteristike:

— velika otpornost na habanje (prvenstveno adheziono);

— povećana dinamička izdržljivost kod promenljivog dinamičkog opterećenja (prvenstveno na savijanje i torziju);



Sl. 1 — Šema postupka nitriranja

— visoka površinska tvrdoća i određena dubina sloja radi otpornosti na visoki lokalni pritisak i udare;

— antikoroziona otpornost (prvenstveno kod nelegiranih čelika);

— tvrdoća na površini i otpornost na habanje pri povišenim temperaturama.

Nitrirani sloj se uglavnom, sastoji od tzv. zone spojeva (ZS) na samoj površini i difuzione zone (DZ) koja se nalazi ispod nje. Zona spojeva koja je znatno manje debljine od difuzione zone nosilac je otpornosti na habanje, a difuziona zona ima presudnu ulogu kada se radi o dinamičkoj izdržljivosti i otpornosti na pritisak.

Gvozdeni materijali koji su pogodni za nitriranje

U pogledu primene materijala za nitriranje, treba posebno naglasiti razliku između *klasičnog* postupka nitriranja u discociranom amonijaku i ostalih *kratkotrajnih* postupaka nitriranja, kod kojih osim azota difundira i ugljenik uz, eventualno, još neki element.

Kod *klasičnog* gasnog nitriranja upotrebljavaju se samo tzv. čelici za nitriranje, tj. grupa čelika za poboljšanje sa oko 0,35% C i legiranim elementima koji stvaraju nitride (Cr, Al, Mo, V).

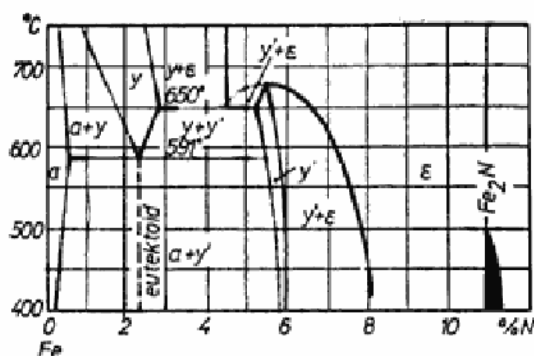
Kod ostalih *kratkotrajnih* postupaka nitriranja primenjuju se različiti

čelici: nelegirani, niskolegirani čelici za cementaciju, niskolegirani za poboljšanje, nisko i srednjelegirani alatni čelici, alatni čelici za topli rad, brzorezni čelici, austenitno-nerđajući čelici.

Osim ovih, tim postupcima se nitriraju i gvozdeni livovi: sivi liv, nodularni liv kao i delovi od sinterovanog gvođenog praha.

Struktura i osobine karakterističnih zona u nitriranom sloju

Na dijagramu stanja gvožđe-azot (Fe-N) (sl. 2) predstavljena je temperaturna granica pretvaranja A_1 za gvožđe sa azotom i iznosi 591°C . Budući da su temperature nitriranja kod svih postupaka niže ne dolazi do stvaranja austenita u nitriranom sloju.



Sl. 2 — Dijagram stanja Fe-N

Atomi azota, koji iz sredstva za nitriranje prelaze na površinu metala i difundiraju u njegovu unutrašnjost, mogu, prema dijagramu stanja (sl. 2), sa gvožđem stvoriti sledeće strukturne faze:

- α — gvožđe sa intersticijski rastopljenim atomima azota;
- γ' — gvozdeni nitrid Fe_4N (kubno površinski centrirana rešetka) sadrži 5,7 do 6,1% N;

- ϵ — gvozdeni nitrid Fe_{2-3}N (heksagonalna rešetka) sadrži od 7,8% N (kao FeN) do 11,3% N (kao Fe_2N);
- ξ — gvozdeni nitrid Fe_2N (ortoromboidna rešetka), koja se vrlo retko javlja (jer je za nju potrebna visoka koncentracija azota), nema značaja kod tehničkih procesa nitriranja.

Ako se nitrira legirani čelik onda se, osim gvođenih nitrida, stvaraju nitridi sa prisutnim legirajućim elementima (elementi koji naročito lako stvaraju nitride su Al, Cr, Mo, V, Ti).

I pored različitih postupaka nitriranja kod kojih postoje razlike u uslovima transporta azota i ostalih elemenata koji difunduju, kao i njihovim potencijalima, slojevi dobijeni nitriranjem su slični po svojoj konstituciji.

Konstitucija nitriranog sloja se karakteriše geometrijskim faktorima, koncentracijom i strukturom. Za geometrijski izgled preseka nitriranog sloja karakteristične su dve zone:

- zona spojeva na samoj površini,
- difuziona zona ispod površine.

U današnje vreme primenjuju se nitrirani slojevi dobijeni raznim postupcima kod kojih pojedine karakteristike mogu biti u sledećim granicama:

- debljina zone spojeva 0 do 30 μ ,
- debljina difuzione zone 0,002 do 1 μ .

Zona spojeva

Površinski deo nitriranog sloja koji obično sadrži 6 do 10% azota a debljina mu je 8 do 20 μ , naziva se zona spojeva.

Tvrdoća zone spojeva iznosi:

- kod nelegirajućih čelika 700 do 900 HV_{0,01},
- kod legirajućih čelika 1000 do 1500 HV_{0,01}.

Kod nelegirajućih čelika zona spojeva se sastoji od:

- ϵ — gvozdenih nitrida tipa $Fe_{7-8}N$;
- γ' — gvozdenih nitrida tipa Fe_4N ;
- gvozdenih karbida Fe_3C ;
- gvozdenih karbonitrida $Fe_xC_yN_z$;
- α — gvožđa u kojem su intersticijski rastopljeni atomi N (α kristali mešanci).

Kod legiranih čelika u zoni spojeva mogu se nalaziti i:

- nitridi prisutnih legirajućih elemenata (Cr, Al, Ti, V, Mo), i
- karbonitridi prisutnih legirajućih elemenata.

Površinski deo zone spojeva je porozan. Poroznost čelika nitriranih u snoj kupki iznosi 25 do 30% njene debljine. Ispitivanja na habanje su pokazala da poroznost zone spojeva negativno utiče na otpornost na habanje. Kod procesa nikotriranja ova poroznost je znatno manja.

Difuziona zona

Ispod zone spojeva, u smeru jezgra materijala, nastavlja se ostali deo nitriranog sloja koji se naziva difuziona zona.

Azot koji difundira ispod zone spojeva u difuzionu zonu kod nelegirajućih čelika može se nalaziti kao:

- intersticijski otopljen u rešetki α -gvožđa;
- gvozdeni nitrid Fe_4N ;
- gvozdeni karbonitrid.

Kod legirajućih čelika mogu, osim toga, biti prisutni nitridi i karbonitridi legirajućih elemenata.

Kod klasičnih metoda nitriranja, da bi se postigla dovoljna visoka tvrdoća površine, moraju se koristiti specijalni čelici u kojima se obrazuju posebni nitridi. Zona spojeva ovih čelika,

zbog svoje krтости, ne predstavlja sloj otporan na habanje pa se odstranjuje. Nitriranje ovih čelika traje približno između 30 i 80 časova.

Zbog krte zone spojeva i dugog vremena obrade, ovi postupci ne mogu da se prošire na niskolegirane i nelegirane čelike radi poboljšanja njihove otpornosti na habanje.

Za nitriranje niskolegiranih i nelegiranih čelika primenjuje se postupak u sonom rastopu. Ovim postupkom dobijaju se znatno bolje karakteristike zone spojeva ali je veliki nedostatak ograničeno vreme nitriranja i što je soni rastop veoma otrovan.

Postupak koji obezbeđuje izuzetne karakteristike nitriranog sloja (mehaničke karakteristike, kratko vreme nitriranja, neotrovnost postupka) jeste nikotriranje.

Postupak nikotriranja

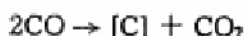
Nikotriranje je postupak termičke obrade pod zaštitom gasa, koji se odvija na temperaturama oko $570^{\circ}C$, tj. ispod γ oblasti u sistemu gvožđe-azot.

Iz atmosfere, koja se sastoji od 50% amonijaka i 50% endogasa, dobija se disocijacijom amonijaka azot u atomskom stanju na osnovu reakcije:



Za nitriranje je od odlučujuće važnosti potencijal azota dotične atmosfere koja zavisi od udela NH_3 , odnosno od stepena disocijacije amonijaka.

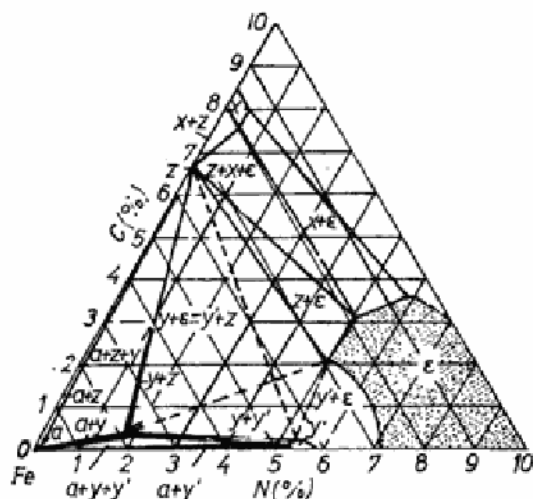
Sa druge strane, iz endogasa, koji sadrži 23% ugljen-monoksida, dolazi ugljenik koji takođe, difunduje u površinu metala na osnovu reakcije:



Kod ove vrste termičke obrade postiže se dobra otpornost na habanje i povećanje otpornosti na zamor.

Pošto se ovaj postupak izvodi u zaštitnoj atmosferi, postoji mogućnost

da se utiče na obrazovanje zone spojeva. S obzirom na sadržaj azota i ugljenika proces vremenski nije ograničen.



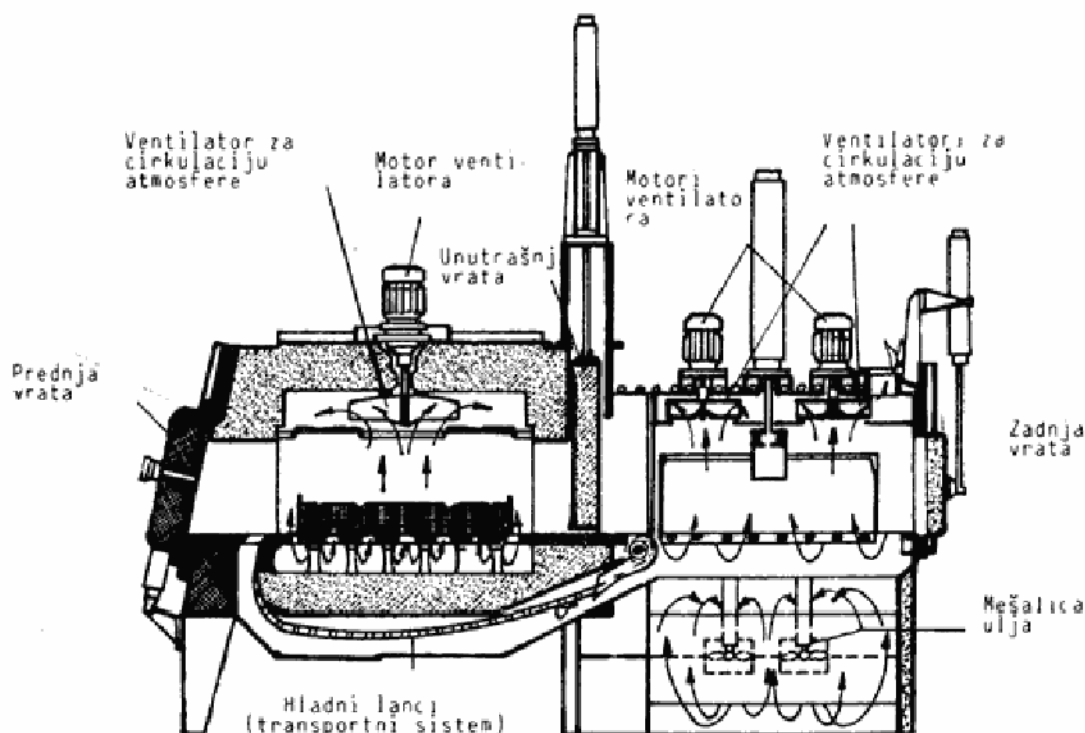
Sl. 3 — Dijagram Naumann-Langenscheidt

Za otpornost na habanje nekog dela odlučujuća je zona spojeva. Dodavanjem azota i ugljenika kod nikotriranja se suzbija obrazovanje γ — karbonitrat i povećava težnja ka obrazovanju samo ϵ — karbonitrida. Što je zona spojeva bogatija ugljenikom, tim je veća njena otpornost na habanje. Iz faznog dijagrama Fe-C-N, prema Naumani Langenscheidt (sl. 3), vidi se ϵ — faza koja ima veliku rastvorljivost za ugljenik i azot.

Hemijskom analizom je utvrđeno da kod Č. 1220 posle 3 časa nikotriranja ima 8,20% azota. Sadržaj ugljenika u spojnoj zoni je 1,65%.

Postupak nikotriranja može da se izvodi u automatskim višenamenskim pećima. Čitav uređaj sastoji se od sledećih jedinica:

- višenamenske peći,
- generatora endotermnog gasa,



Sl. 4 — Peć za izvođenje procesa nikotriranja

— isparivačke stanice za amonijak i propan.

Pri upotrebi endotermnog gasa, na temperaturi ispod 750°C , postoji opasnost od eksplozije zbog paljenja gasa sa vazduhom u peći pa se mora voditi računa da se to ne desi. Zbog toga su vrata na peći snabdevena plamenom zavesom koja, pri otvaranju vrata, pali smešu gasa i vazduha obrazovanu tom prilikom.

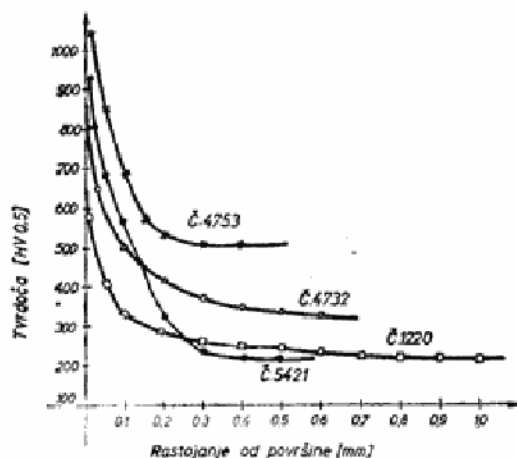
Dodatni faktor sigurnosti je ugradnja u radni prostor peći, ENDEXO-reorte. Ona direktno snabdeva radni prostor peći vrućim zaštitnim gasom, temperature preko 1000°C .

Nikotriranje čelika za razne namene

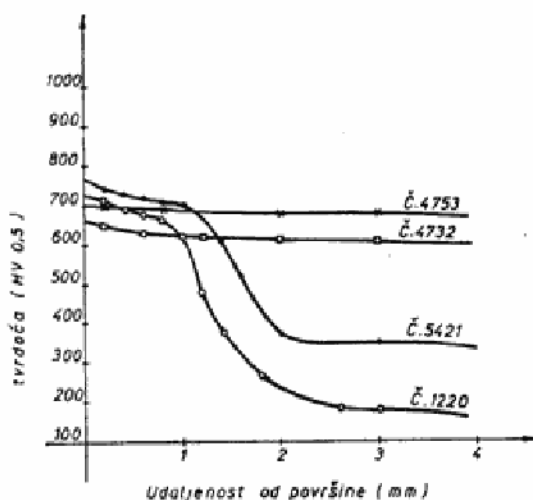
Izvršeno je nikotriranje čelika za cementaciju ugljeničkog i niskolegiranog (Č.1220 i Č.5421), čelika za poboljšanje (Č.4732) i alatnog čelika (Č.4753).

Na sl. 5 prikazana je tvrdoća nikotriranog sloja navedenih čelika.

Uočava se da su dobijene tvrdoće u sloju do 0,2 mm znatno veće u odnosu na tvrdoće koje se postižu cementacijom, kalenjem i poboljšanjem navedenih čelika, što se vidi upoređenjem rezultata koji su prikazani na sl. 5 i sl. 6.



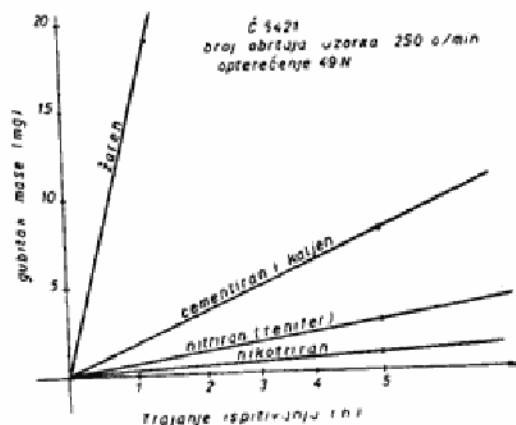
Sl. 5 — Tvrdoća nikotriranog sloja



Sl. 6 — Tvrdoća čelika posle cementacije, kaljenja i poboljšanja

Metalografska ispitivanja su pokazala dobre karakteristike nikotriranog sloja i njegove prednosti u odnosu na druge oblike nitriranja.

Da bi se pokazale tribološke karakteristike nikotriranog sloja, izvršeno je ispitivanje otpornosti na trošenje čelika Č.5421, koji je žaren, cementiran, nitriran i nikotriran.



Sl. 7 — Otpornost na trošenje čelika Č. 5421

Rezultati pokazuju povećanu otpornost na trošenje ovog čelika posle nikotriranja. Ova otpornost ostaje i bit-

nije se ne menja do temperature 600°C, što je interesantno za delove koji rade na povišenim temperaturama.

Ovom prilikom prikazani su rezultati nekoliko karakterističnih nikotriranih slojeva kako bi se stekla slika o mogućnostima primene ovog postupka u proizvodnji rezervnih delova i sklopova.

Zaključak

Postupkom nikotriranja znatno se poboljšavaju najznačajnije karakteristike čelika i sivog liva u odnosu na do-

sad primenivanje metode termičke obrade — poboljšanje, cementacija i nitriranje.

Postupak daje široke mogućnosti primene materijala nezavisno od njihove namene.

Na taj način mogu se razrešiti i neki problemi koji nastaju zbog nedostatka odgovarajućih materijala.

Konstruktorima i tehnolozima stoji na raspolaganju jedna od najsavremenijih metoda hemijsko-termičke obrade, koju što češće treba da propisuju u tehničkoj dokumentaciji.

Literatura:

- [1] H. Walzel: Kann das Nitotrierverfahren das Badnitrieren ersetzen.
- [2] H. J. Eckstein: Technologie der Wärmebehandlung von Stahl.
- [3] Metterlungen Band 31 (1976): Aspekte des Kurzzeintitrierens — Harterei-Technische.
- [4] Cornelis, H. Luiten: Nitotrieren von stahl und Gu lisen.
- [5] Tehnološki postupci Tehničkog remontnog zavoda Čačak.

Dragan Aleksov,
dipl. inž.
Vladan Skoković,
dipl. inž.
Ljiljana Šarenac-Stojanović
dipl. inž.
Dejan Prokić,
el. tehničar

MERNI VIŠEKANALNI UREĐAJ ZA ISPITIVANJE KVALITETA ELEKTRIČNIH IZVORA ENERGIJE UPRAVLJAN PERSONALNIM RAČUNAROM SA PASIVNIM I AKTIVNIM ELEMENTIMA ZA PRAŽNENJE M/N MVU-16

Uvod

U radu je prikazan način praćenja stanja i ispitivanja kvaliteta akumulatora. Firma M/N CORP. razvila je šesnaestokanalni uređaj za istovremeno snimanje naponske karakteristike pražnjenja akumulatora, utvrđivanje degradacije kvaliteta ćelija, merenje kapaciteta akumulatora i formiranje baze podataka o akumulatorima tokom vremena eksploatacije. Uređaj je konstruisan tako da omogućava pražnjenje akumulatora preko pasivnih ili aktivnih elemenata.

Brojnost i raznovrsnost elektrohemijskih izvora električne energije proizvodi izvesne probleme u praćenju njihovog stanja u proizvodnji, eksploataciji i skladištenju. Podaci o stanju akumulatora tokom njihovog veka eksploatacije višestruko su korisni, kako za korisnike zbog uvida u mogućnosti korišćenja, tako i za proizvođače radi praćenja tehnologije proizvodnje i obezbeđenja sirovinske osnove. U tu svrhu formiran je informacioni sistem, koji omogućava praćenje kvaliteta električnih izvora energije, a kao podrška informacionom sistemu razvijen je meri uređaj, lak i jednostavan za upotrebu.

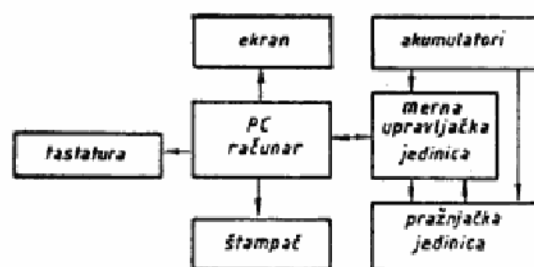
Merni uređaj za praćenje stanja akumulatora

M/N MVU-16 sastoji se od PC računara kao upravljačko-akvizicione jedinice, mernoupravljačke jedinice i pražnjačke jedinice. Blok-šema uređaja prikazana je na sl. 1.

Za PC računar urađen je specijalni softver koji se sastoji od sistemskog, komunikacionog i aplikativnog softvera.

Sistemski softver omogućava višeprogramski rad — multitasking, odnosno istovremeni rad svih raspoloživih kanala. Svaki kanal predviđen je za jedan zadatak (task) koji se, po potrebi, u okviru aplikativnog programa, može uključivati, pratiti i isključivati. Svaki task se pušta sa sistemskim taktom računara i, po završenom poslu, predaje vreme sledećem tasku, odnosno kanalu. Inače, firma M/N CORP. razvila je multitasking za istovremeno izvršenje 265 nezavisnih zadataka — taskova.

Komunikacioni softver odnosi se na komunikaciju između računara i mernoupravljačke jedinice koja se obavlja preko paralelnog interfejsa, odnosno namenski razvijene I/O kartice 8255. Osnovni takt upravljanja i akvizicije podataka u komunikacionom soft-



Sl. 1 — Blok šema M/N MVU-16

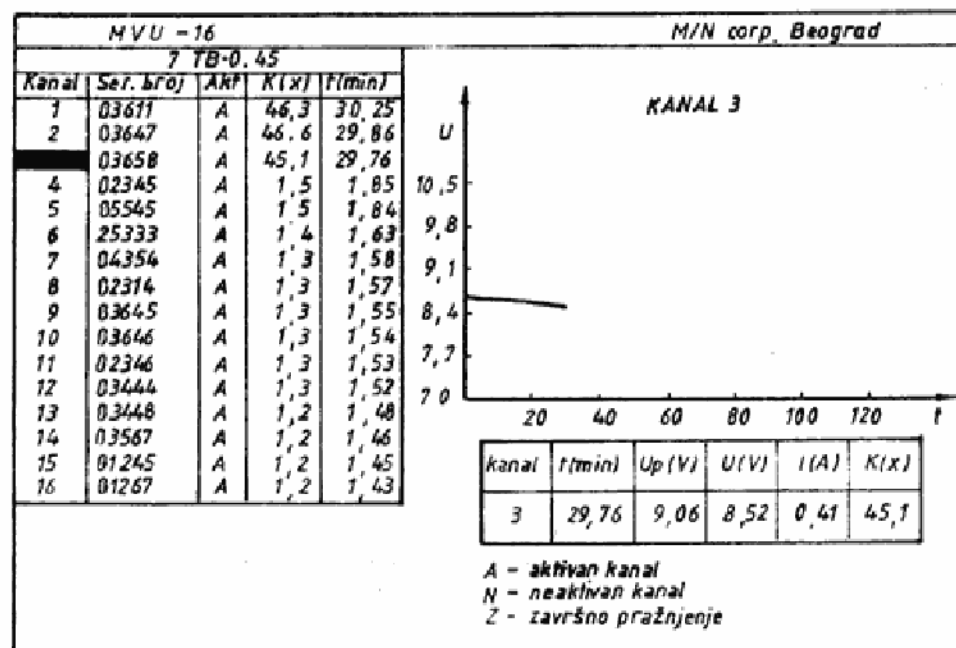
veru može se podešavati, u zavisnosti od potrebe, do vremena od 1 μ s. Učestanost merenja pri radu svih šesnaest kanala je ispod jedne sekunde za svaki kanal. Istovremeno se meri vreme u svakom kanalu, tako da se dobija naponska karakteristika pražnjenja za svaki kanal u realnom vremenu.

Aplikativni softver sastoji se od devetnaest taskova, šesnaest za kanale, jedan za komunikaciju operator — sistem, jedan za komunikaciju računar — mernoupravljačka jedinica i jedan za štampanje rezultata ispitivanja.

Mernoupravljačka jedinica sastoji se od modula za merenje napona, merenje struje, uključivanje i isključivanje kanala i za identifikaciju pražnjačkih jedinica. Napon akumulatora se meri direktno, preko razdelnika, a struja pražnjenja posredno preko mernog otpornika u pražnjačkoj jedinici.

Pražnjačka jedinica može da bude pasivna (akumulator se prazni pomoću odgovarajućih otpornika) ili aktivna (pražnjenje se vrši preko aktivnog elementa čija struja može da se zadaje i reguliše u funkciji vremena).

Firma M/N CORP. razvila je pasivne pražnjačke jedinice za familiju hermetički zatvorenih nikl-kadmijumovih akumulatora od 2 V do 36 V i struje pražnjenja od 0,1 A do 3,6 A. Svaka pražnjačka jedinica ima svoj kod za identifikaciju. Rukovanje uređajem je potpuno pojednostavljeno. Preko taska za komunikaciju operator — sistem omogućen je izbor proizvođača i tip akumulatora, odnosno kod aktivne pražnjačke jedinice izbor struje za praž-



Sl. 2 — Ekran uređaja M/N MVU-16

njenje u funkciji vremena. Po unosu serijskog broja akumulatora, koji je prethodno priključen na sistem, pritiskom na taster startuje se pražnjenje akumulatora u odgovarajućem kanalu. Po potrebi, može se dobiti ranije stanje svakog akumulatora.

Na ekranu (sl. 2), osim tekstualnih podataka za izmereni napon, struju, vreme pražnjenja i predati kapacitet, svaki kanal ima i grafički izlaz u realnom vremenu. Uvek se prikazuje samo jedna grafika za izabrani kanal («foreground»), dok se petnaest grafika obrađuje u memoriji («background»). Operator, pritiskom na taster strelice, može da skroluje i da bira kanal koji će biti prikazan na ekranu. U toku ispitivanja, na osnovu naponske karakteristike svakog od akumulatora, mogu se uočiti i degradacije pojedinih ćelija.

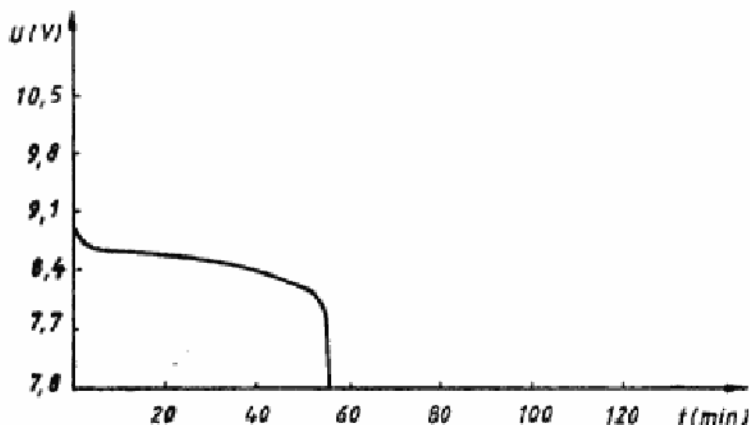
Nakon pražnjenja (sl. 3), po unapred zadatom kriterijumu, omogućen je grafički izlaz na štampač, tako da se dobije dokument koji daje naponsku karakteristiku pražnjenja akumulatora, vreme pražnjenja akumulatora i predati kapacitet. Istovremeno, u posebnoj datoteci pamte se svi podaci značajni za akumulator (datum ispitivanja, proizvođač, tip akumulatora, serijski broj akumulatora, predati kapacitet i vreme

pražnjenja), a task tog kanala se suspenduje i daje se mogućnost inicijalizacije za ispitivanje sledećeg akumulatora. Kao poseban izlaz na štampač predviđen je i zbirni izveštaj o ispitivanju akumulatora u određenom periodu.

Zaključak

Sistem je elastičan u pogledu daljeg razvoja i dogradnje, kako softvera, tako i hardvera. Postoji mogućnost za povećanje broja kanala, za dodavanje pražnjačkih jedinica za druge tipove akumulatora, za automatsko određivanje defekcije ćelija, kao i za uvođenje novih načina za određivanje kapaciteta. Dogradnjom softvera proširile bi se mogućnosti praćenja i obrade i drugih parametara osim kapaciteta i napona (unutražnja otpornost, temperatura, i sl.), kao i praćenje kvaliteta po proizvodnim serijama. Uređaj je konstruisan kao stacionaran, ali dodavanjem mikrokontrolerske kartice, tastature i displeja u mernoupravljačku jedinicu može da bude i prenosan.

Uređaj M/N MVU-16 omogućava korisnicima i proizvođačima da u realnim uslovima primene akumulatora dobiju informaciju o radu i kvalitetu akumulatora.



Sl. 3 — Naponska karakteristika pražnjenja akumulatora

Literatura:

- [1] M. Marčetić, D. Aleksov i V. Sokolović: Zbornik radova i stručnog skupa o kvalitetu u namenskoj industriji i VJ, Tara (1994) 353.

Mirjana Resanović,
dipl. inž.
Dr. Lazar Vorkapić,
dipl. inž.
Stanojko Stojković,
ppuk. dipl. inž.

TEHNOEKONOMSKI ASPEKTI REMONTA NIKL-KADMIJUMOVIH AKUMULATORA

Uvod

U Institutu za hemijske izvore struje — Istraživanja u prvom polugođu 1994. godine izvršen je remont niza tipova i velikog broja nikel-kadmijumovih hermetičkih sinterovanih, poluhermetičkih sinterovanih i lamelnih akumulatora. Na osnovu dobijenih rezultata utvrđeno je koje tipove akumulatora treba remontovati. Treba napomenuti da su remontovani akumulatori predviđeni za otpis, odnosno da su bili u vrlo lošem stanju.

Remont je izveden na dva načina:

- od više neispravnih baterija posle defektacije, selekcije i remonta ćelija sastavljen je manji broj baterija;
- korišćena je samo kutija baterije i izvršena izmena ćelija.

Akumulatorska baterija posle uspešnog remonta treba da funkcioniše sa najmanje 80% nazivnog kapaciteta.

Rezultati remonta hermetičkih nikel-kadmijumovih akumulatorskih baterija

Rezultati remonta hermetičkih nikel-kadmijumovih akumulatorskih baterija prikazani su u tabeli 1.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da se samo akumulatorska baterija 7ACH-1 ne može remontovati na ovaj način, dok se kod drugih baterija koeficijent korišćenja kreće iznad 50%. Naravno, kada se radi o akumulatorskim baterijama gde je kućište značajna stavka u ceni baterije (7ACH-1, za laserske nišane, PRC, itd.), isplati se korišćenje stare kutije i ugradnja novih ćelija. U tom slučaju koeficijent iskorišćenja je 100%.

Rezultati remonta poluhermetičkih nikel-kadmijumovih akumulatorskih baterija sa sinterovanim elektrodama

Izvršen je remont 4 baterije 20 VO 52 U, proizvodnje SAFT (Francuska), na bazi ćelija iz 5 baterija. Baterija

Red. br.	Oznaka baterije	Napon (V)	Kapacitet (Ah)	Kućiste	Primljeno kom.	Remontovano kom/%
1	2	3	4	5	6	7
1.	10 TB 6	12	6	Plastično	61	46/75
2.	10 TB/VR 7	12	7	Plastično	28	17/61
3.	7ACH-1	8,4	0,5	Plastično	183	183/12
4.	7 TB-045	8,4	0,5	Plastično	157	87/55
5.	612A-1	25,2	1,8	Metalno	8	5/62
6.	Za laserski nišan	24	1,0	Metalno	12	11/92

20 VO 52 sastoji se od 20 ćelija, čije su tehničke karakteristike prikazane u tabeli 2.

Tabela 2

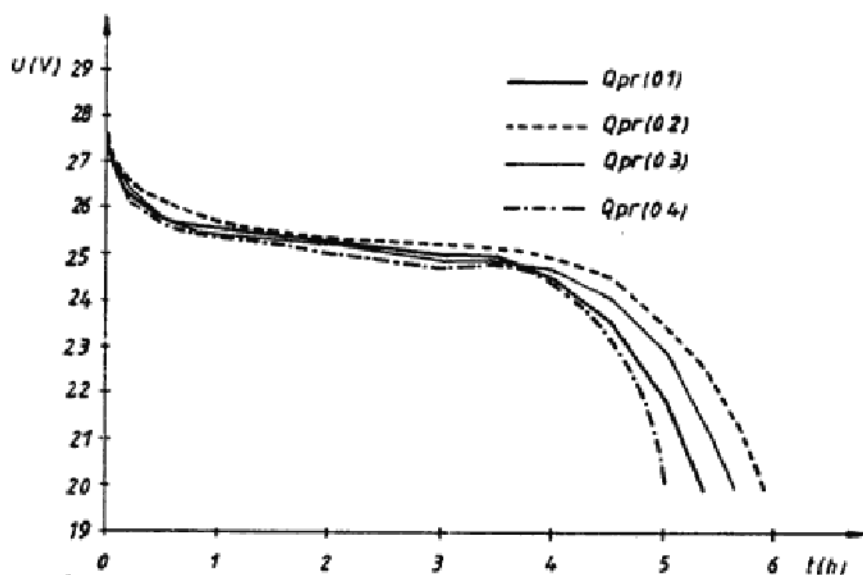
Red. br.	Karakteristika	Vrednost
1	2	3
1.	Nazivni napon (V)	1,2
2.	Krajnji napon punjenja (V)	1,6
3.	Kapacitet pri režimu C ₁ (pražnjenje strujom od 52 A do napona 1 V) (Ah)	52
4.	Krajnji napon pražnjenja pri režimu C ₁	1,0
5.	Napon punjenja na 20° C/metoda konstantnog napona (V)	1,43
6.	Oblik i dimenzije	Prizmatič. 75,6x41,6x x221
7.	Masa (kg)	2,1
8.	Kućiste	Čelično

Akumulatorske ćelije bile su stare između 8 i 12 godina, eksploatisane su, i za to vreme nisu održavane. Baterije 20 VO 52 U su pri prijemu bile u takvom stanju da se nisu mogle napuniti. Demontažom, selekcijom i remontom osposobljene su 4 baterije, čije su karakteristike pražnjenja prikazane na sl. 1.

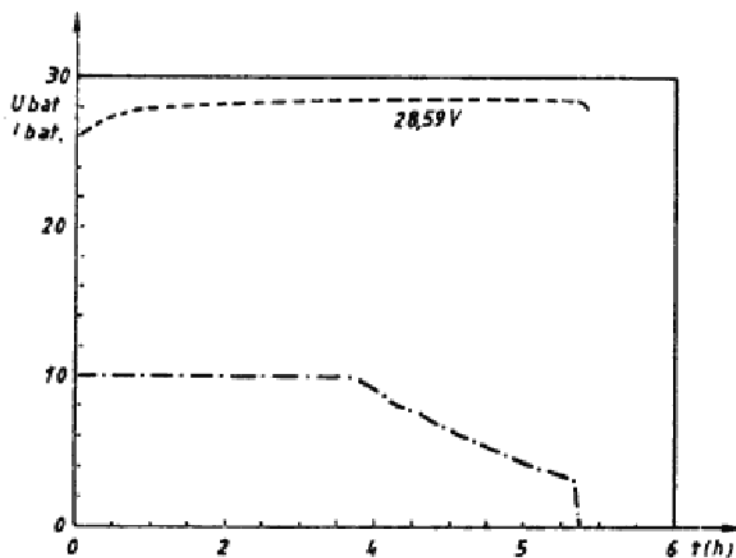
Tom prilikom vršen je remont uređaja koji održava bateriju. Rezultati ispitivanja na samom uređaju prikazani su na sl. 2. i 3. Remontovane baterije nalaze se već šest meseci u eksploataciji i ne pokazuju znake slabljenja.

Rezultati remonta poluhermetičkih nikl-kadmijumovih akumulatorskih baterija sa lamelnim elektrodama

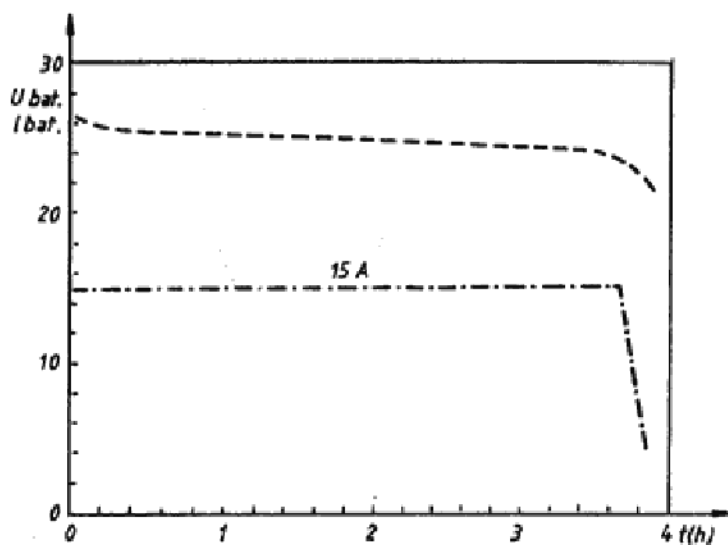
Rezultati remonta poluhermetičkih nikl-kadmijumovih akumulatorskih baterija sa lamelnim elektrodama prikazani su u tabeli 3.



Sl. 1 — Karakteristike pražnjenja za akumulatorske baterije 20 VO 52 U br. 01, 02, 03 i 04 pri konstantnoj struji 10,4 A u III ciklusu



Sl. 2 — Karakteristika punjenja baterije 20 VO 52U*1



Sl. 3 — Karakteristika pražnjenja baterije 20 VO 52U*1

Tabela 3

Red. br.	Oznaka	Napon (V)	Kapacitet (Ah)	Kućište	Primljeno (kom)	Remontovano (kom./%)
1	2	3	4	5	6	7
1.	10 AKP 6	12	6	Plastično	146	58/40
2.	NKN-10	2,4	10	Metalno	87	42/54
3.	AK-2-I	2,4	25	Metalno	261	140/54
4.	5 AK-30	6,0	30	Metalno	104	82/79

Tabela 4

Red. br.	Tip	Relativna vrednost (%) u odnosu na novu akumulatorsku bateriju
1	2	3
1.	10 TB-6/7	14
2.	10 VR 7	14
3.	7 ACH 1*	54
4.	7 TB-045	21
5.	612A-1	26
6.	Za laserski nišan	24
7.	20 VO 52 U	45
8.	10 AKP 6	15
9.	NKN 10	18
10.	AK-2-1	22
11.	5 AK-30	12

* Za slučaj kada se vrši kompletna zamena ćelija

Na osnovu rezultata remonta može se zaključiti da je koeficijent korišćenja nešto niži u odnosu na hermetičke akumulatore, posebno kod 10 AKP 6, i to zbog toga što su korodirali polovi. Odgovarajućim održavanjem ovaj koeficijent bio bi znatno uvećan i kod 10 AKP 6.

Relativna vrednost remonta po tipovima, u odnosu na vrednost novih akumulatorskih baterija, prikazana je u tabeli 4.

Zaključak

Očigledno je da se ovakva vrsta remonta izuzetno isplati, posebno ako se ima u vidu da se neke od remontovanih baterija nalaze u upotrebi duže od šest meseci. U tom smislu, usvojen je tehnološki postupak remonta hermetičkih i poluhermetičkih akumulatora i osposobljena radionica za takvu vrstu posla u Institutu za hemijske izvore struje — Istraživanja.

Dr Obrad Šupić,
puk. dipl. inž.
Cedomir Zmirić,
dipl. inž.
Nikola Nikolić,
dipl. inž.

ANALIZA UZROKA I POSLEDICA EKSPLOZIJE VODONIKA U SKLONIŠTU, NASTALE PRI PREPUNJAVANJU NIKL-KADMIJUMOVIH AKUMULATORA

Uvod

Rad analizira uzroke i posledice eksplozije vodonika nastalog pri prepunjavanju nikel-kadmijumovih akumulatora u jednom hermetizovanom skloništu. Obradena je problematika propisa iz te oblasti i dat predlog za sprečavanje sličnih situacija.

Analiza posledica eksplozije

Ovaj rad ima za cilj da analizira uzroke i posledice eksplozije u skloništu, koje je projektovala i izradila jedna jugoslovenska firma za potrebe druge zemlje. Osnovna namena skloništa jeste da obezbedi zaštitu i boravak do 25 ljudi, u uslovima nuklearno-hemijskih ratnih dejstava. Zbog toga je sklonište hermetizovano i opremljeno sistemom filtroventilacionih uređaja i sistemom nužnog osvetljenja, koje se napaja iz nikel-kadmijumovih akumulatorskih baterija.

Sklonište se sastoji od glavne prostorije, u kojoj se nalazi odeljak za smeštaj filtroventilacionog uređaja, odvojen montažnim zidom, ulazne ustave, odeljene hermetičnim vratima prema hodniku i glavnoj prostoriji ulaznog hodnika, dužine preko 7 m, koji je više

puta zalomljen pod uglom od 90°. Sklonište je opremljeno i pomoćnim izlazom, takođe hermetizovanim preko pomoćne ustave. Prečišćen vazduh ulazi preko filtroventilacionog sistema u glavnu prostoriju, a izlazi preko nepovratnih ventila u ulaznu ustavu i dalje u hodnik koji vodi napolje.

U normalnim okolnostima, osvetljenje u skloništu napaja se iz električne mreže. Akumulatorske baterije održavaju se automatskim punjačem, a pumpa za vazduh filtroventilacionog sistema pokreće se elektromotorima. Pri likom nestanka mrežnog napona automatski se prelazi na nužno osvetljenje napajano iz akumulatorskih baterija, dok se filtroventilacioni uređaj pokreće ručno.

Akumulatorske poluhermetične nikel-kadmijumove baterije, tip 40 od 48 V i 40 Ah, proizvođača »VARTA«, smeštene su u razvodni orman zajedno sa punjačem proizvođača »ENERGOINVEST« i nalaze se u glavnoj prostoriji. Prednost je data nikel-kadmijumovom sistemu u odnosu na olovni zbog sledećih razloga:

- u skloništu je predviđeno malo periodično održavanje;
- duži radni vek čak i pri lošim elektroslovima;

- duboko pražnjenje ga manje oštećuje nego olovni sistem,
- elektrolit KOH nije agresivan na čelične konstrukcije i
- kod olovnog sistema izdvajanje vodonika prilikom prepunjavanja veće je za oko 60%.

Posle eksplozije u skloništu formirana je komisija koja je imala zadatak da utvrdi uzrok i okolnosti pod kojima je došlo do eksplozije. Prema utvrđenom stanju posle eksplozije relativno jednostavno je utvrđeno da nastala eksplozija nije izazvana eksplozivnom napravom, već je uzrok gasna eksplozija, s obzirom na to da se nije mogao locirati njen centar. Trebalo je utvrditi i dokazati o kom je eksplozivnom gasu reč i kako su nastali uslovi da do eksplozije dođe.

Stanje akumulatorskih ćelija ukazivalo je na to da su bile izložene dugotrajnom prepunjavanju koje je izazvalo deformacije kućišta, potpun gubitak elektrolita na pojedinim ćelijama i kratke spojeve elektroda.

Kratak spoj u ćelijama prouzrokovala su ugljenisane naslage. Povišena temperatura bila je uzrok oštećenja kućišta i topljenja separatora, kao i totalnog gubitka elektrolita u pojedinim ćelijama.

Nikl-kadmijumovi akumulatori koriste se kao izvor električne energije za različite električne i elektronske uređaje. Električna energija dobija se kao proizvod elektrohemijskih reakcija, koje se odvijaju na elektrodama. Električna energija zavisi od potencijala i iskorišćenja aktivnih masa koje učestvuju u reakciji.

Prema konstrukcionim rešenjima, nikl-kadmijumovi akumulatori mogu biti nehermetički, poluhermetički i hermetički.

Kod poluhermetičkih akumulatora ventil je kontrolisan tako da se otvara pri veoma malim pritiscima ($0,5 \cdot 10^5$ Pa) kako bi izašli gasovi koji se stvaraju

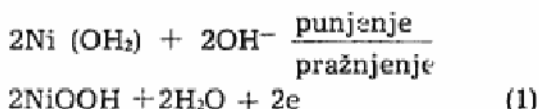
pri elektrohemijskim reakcijama a proizvod su elektrolize vode iz elektrolita. Količina oslobođenih gasova u nikl-kadmijumovoj funkciji je radnog režima i vremena njegovog trajanja. Poluhermetički akumulatori se ugrađuju uvek samo u vertikalnom položaju sa čepovima okrenutim nagore.

Hermetički nikl-kadmijumovi akumulatori su potpuno zatvoreni, ne izdvajaju nikakve gasove, mogu se ugrađivati u svim položajima i jednostavni su za održavanje.

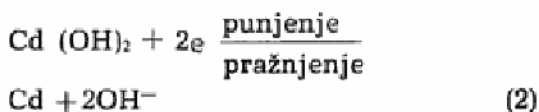
Nikl-kadmijumovi akumulatori imaju prednosti i nedostatke kao i olovni, pa su korisnici ponekad u dilemi koji sistem da odaberu. Jedna od prednosti poluhermetičkih akumulatora, u odnosu na klasične starterske olovne akumulatora, jeste i manje izdvajanje gasova, manja težina i dimenzije i sigurniji rad na ekstremnim temperaturama (naročito niskim) i veći očekivani radni vek. Nedostatak je visoka cena.

Nastajanje gasova pri punjenju i pražnjenju nikl-kadmijumovih poluhermetičkih akumulatora posledica je reakcija na elektrodama koje se pojednostavljenom mogu prikazati sledećim jednačinama:

na pozitivnoj elektrodi:



na negativnoj elektrodi:



Za alkalni sistem je karakteristično da se tokom reakcije udeo KOH u elektrolitu ne menja, već samo udeo vode. Gubitak vode i pojava gasova nastaju pri prepunjavanju.

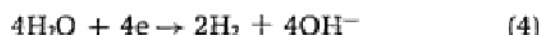
Prepunjavanje elektroda u akumulatoru nastupa nakon potpunog utroška elektrohemijske aktivne mase na reak-

ciju oksidacije, odnosno redukcije. Dalje dovođenje struje troši se na elektrolizu vode, odnosno razlaganje na kiseonik i vodonik.

Na pozitivnoj elektrodi izdvađa se kiseonik prema jednačini:



a na negativnoj elektrodi razvija se vodonik prema jednačini:



Zajednička reakcija može se prikazati jednačinom:



Iz jednačina 3, 4 i 5 vidi se da nastaju gasovi koji kod poluhermetičkih izvedbi preko ventila izlaze napolje u prostor gde se vrši punjenje.

Dinamika promene koncentracije može se izraziti jednačinom:

$$C_t = C_g \left[1 - \exp\left(-\frac{Q_g \cdot t}{V_e}\right) \right] \quad (6)$$

gde je:

C_t — koncentracija H_2 u vremenu t ,

C_g — koncentracija H_2 u elektrohemijski razvijenim gasovima iznosi 66,7%,

Q_g — brzina izdvajanja H_2 i O_2 (pri struji punjenja od 2A iznosi 0,0504 m^3h^{-1}),

V_e — zapremnina prostora eksplozije, m^3 .

Zamenom odgovarajućih vrednosti u jednačini, za razne intenzitete struja, može se zaključiti da je do prepunjanja moglo doći postavljanjem punjača u režim forsiranog punjenja neposredno pre eksplozije 3 do 13 dana, ili je zbog oštećenja većeg broja ćelija i neblagovremenog održavanja došlo do slične situacije, iako je punjač bio u automatskom režimu.

I pored intenzivnog izdvajanja vodonika, čak i u slučaju kada nastane

takav kvar punjača da ne funkcioniše automatika za ograničenje struje, eksplozija se mogla izbeći da je bila uključena odgovarajuća ventilacija.

Prema DIN 57510, tač.5.7, provećtravanje u akumulatorskim stanicama i drugim prostorijama za punjenje i praćnjenje akumulatora smatra se zadovoljavajućim ako dovod svećeg vazduha po ćasu, za olovne akumulatory iznosi:

$$Q = v \cdot w \cdot s \cdot n \cdot I \quad (7)$$

gde je:

Q — dovod svećeg vazduha (dm^3/h),

v — faktor razredñja, predstavlja odnos vazduha i vodonika do eksplozivne granice,

w — kolićina izdvojenog H_2 po Ah, $w = 0,42 \text{ dm}^3 (\text{Ah})^{-1}$ za 0° i 10°Pa .

s — faktor sigurnosti (za prostorije i vozila na zemlji uzima se $s=0,5$),

n — broj ćelija u bateriji,

I — struja punjenja.

Unošenjem definisanih vrednosti za w , s , v dobija se izraz:

$$Q = 55 \cdot n \cdot I \text{ (dm}^3 \text{ h}^{-1}) \quad (8)$$

Za niki-kadmijumove akumulatory

$$Q_1 = 0,4 \cdot Q \quad (9)$$

Osnovni uzroci i razlozi nastanka eksplozije

Analiza i pregled prostora u kome se desila eksplozija nepobitno ukazuju na to da je uzrok eksplozije nagomilana kritićna koncentracija vodonika, koja je inicirana varnicom sa releja u razvodnom ormaru. Relej je bio u strujnom kolu automatike osvetljenja i aktivirao se prilikom nestanka struje pri automatskom prelasku na nućno osvetljenje. Vodonik je nastao kao posledica prepunjanja niki-kadmijumovih akumulatory.

Na osnovu uvida u stanje baterije niki-kadmijumovih akumulatora, izvršen je proračun ukupne zapremine razvijenog vodonika do trenutka eksplozije. Na osnovu toga može se zaključiti da je u reakciji učestvovalo najviše 50% maksimalno moguće količine elektrolita. Kako je količina vode u tom tipu ćelija $0,7 \text{ dm}^3$, u reakciji je moglo biti do 350 g vode. Iz relacije da 1 Ah razloži $0,336 \text{ g}$ vode i pri tome izdvoji $0,42 \text{ dm}^3$ vodonika, dobija se da je za tu količinu vode bilo potrebno oko 1050 Ah, pri čemu je ukupno izdvojeno oko 440 dm^3 vodonika po ćeliji ili ukupno $17,5 \text{ m}^3$ iz svih 40 akumulatorskih ćelija.

Ovaj rezultat bi važio ukoliko bi se sva struja trošila na elektrolizu vode. Međutim, poznato je da svi procesi imaju parazitne reakcije, pa se pri gasiranju uzima da procenat struje koji se troši na izdvajanje H_2 iznosi 55% do 65%, tako da je ukupna maksimalno moguća zapremina izdvojenog vodonika oko $10,4 \text{ m}^3$.

Da bi se procenio ukupan dostignuti nivo koncentracije H_2 , ovu količinu treba podeliti sa ukupnom zapreminom prostora, koja iznosi 51 m^3 , pri čemu se dobija da je koncentracija bila do 20,5%.

Ova koncentracija približno odgovara pirotehničkoj ekspertizi (17,6%), koja je dobijena na osnovu dostignutog pritiska eksplozije (4,7 bara) i temperature (oko 1000°K) a što je procenjeno na osnovu deformacija hermetičnih vrata i ostalih oštećenja izazvanih eksplozijom.

Vreme za koje se izdvoji izračunata količina H_2 , imajući u vidu da struja nije mogla biti veća od 15 A, a ni manja od 2 A (kada bi se napon snizio za 10%), iznosi za prethodno izračunatih 1050 Ah, 3 do 22 dana. Međutim, s obzirom na prisustvo nepovratnih ventila, utvrđeni prostor eksplozije mora se posmatrati kao dinamički protočni sistem u kojem je generator potencijala brzina izdvajanja H_2 i O_2 . Pošto su skloništa

namenjena za vojne svrhe hermetična veličina prostorije u kojoj se nalazi uređaj za napajanje strujom nužnog svetla (punjač i niki-kadmijumovi akumulatori) definiše ukupnu zapreminu na koju se odnose količine izdvojenih gasova.

Tiristorski punjač koji je namenjen za punjenje i održavanje akumulatora 48 V/40 Ah ima mogućnost ručnog i automatskog rada. Punjač u prvom slučaju održava zadati napon (60 V-1,5 V po ćeliji), koji se može podesiti potencijometrom smeštenim na prednjoj ploči punjača. Pri tome je izlazna struja ograničena na najviše 15 A. U ovom režimu punjač radi po metodi »IU« (konstantna struja — konstantan napon).

U automatskom režimu se napon na izlazu punjača održava na podešenom nivou, uz ograničenje maksimalne struje na 15 A. Čim struja opadne ispod 2 A, izlazni napon se automatski smanji za približno 10% i taj napon »održavanja« (55 V odnosno 1,38 V po ćeliji) može ostati trajno uključen, jer ne izaziva gasiranje. Pri tome se struja postepeno smanjuje i zadržava na vrednostima od 0,1 A do 1 A. Kada struja punjenja poraste iznad 5 A, to je za automatiku punjača siguran znak da su se akumulatori prethodno ispraznili, a napon se vraća na postavljenu vrednost napona punjenja. Ovakav režim omogućava dugotrajno održavanje bez prisustva operatora, pod uslovom da je nivo elektrolita u ćelijama uvek u propisanim granicama.

Punjač ima i treći režim rada — forsirano punjenje, pri čemu se napon punjenja podiže za 13% do 15% (68 V — 1,7 V po ćeliji). I u ovom režimu postoji ograničenje struje na 15 A. Međutim, zbog povišenog napona, intenzitet struje se održava na visokom nivou praktično do kraja punjenja, kao i u toku prepunjavanja, ukoliko se ono dozvoli. U ovom režimu uputstvom je predviđena prinudna ventilacija.

Analiza uništenih akumulatorskih ćelija pokazala je da je do povećanog

izdvajanja gasova moglo doći zbog sledećih razloga:

- slabo ili nikakvo održavanje i pregled nivoa elektrolita;
- neispravno postavljen napon punjenja, viši nego što je propisano, čime je u automatskom režimu napon održavanja mogao biti praktično iznad graničnog napona gasiranja;
- otkaz jedne ili više ćelija u nizu (kratak spoj) mogao je izazvati povećanje struje punjenja akumulatorske baterije, odnosno prepunjavanje i gubitak elektrolita;
- punjač je ostavljen u položaju forsiranog punjenja, što je mogao biti neposredan uzrok. Međutim, ta se činjenica nije mogla dokazati, niti je bila od odlučujućeg uticaja na donošenje krajnjih zaključaka. Stanje akumulatorskih ćelija u drugim sličnim skloništima, na istom objektu, ukazuje na to da je dosta ćelija ostalo bez elektrolita;
- temperatura u skloništu, s obzirom na klimatsko područje u kome se nalazi, u letnjem periodu je povišena i može se kretati oko 40°C.

Pri punjenju poluhermetičnih nikl-kadmijumovih akumulatora dolazi do izdvajanja vodonika, pa je moguće stvaranje eksplozivne smeše sa kiseonikom.

Prema JUS N.S8.003 (IEC 79—12), vodonik pripada grupi izrazito eksplozivnih gasova (grupa C). Eksplozivan je u koncentracijama od 4% do 79%, a najeksplozivniji pri koncentraciji od 75%. Njegova temperatura paljenja iznosi 560°C.

Opasnost od eksplozije u nekom pogonu procenjuje se na taj način što se određuje zona opasnosti na osnovu verovatnoće pojave eksplozivne smeše u tehnološkom postupku i verovatnoće pojave izvora paljenja. Prema JUS N.S8.007, punjač akumulatora i akumulatori mogu se svrstati u sekundarne izvore opasnosti kod kojih eksplozivna

smeša nastaje povremeno u slučaju kvara ili pogrešnog rukovanja. Ako se računa sa otkazom ventilacije, pogon se svrstava u zonu opasnosti »II« koja nameće protiveksplozivnu »S« konstrukciju postrojenja.

Pri projektovanju se nastoji da se onemogući pojava eksplozivne smeše ili pojava paljenja. Kako »S« konstrukcija mnogostruko poskupljuje izradu i povećava gabarite elektroopreme, praksa je da se zaštita od eksplozije obezbeđuje kvalitetnom ventilacijom, kao što predviđaju svi domaći i svetski propisi. Na primer, nemački VDE 0510 upozorava da potpuna ventilacija nije uvek moguća u prostoru oko ćelija do udaljenosti 0,5 m, gde nije dozvoljeno prisustvo opreme koja može izazvati varnicu. Kućišta u koja su smeštene baterije treba da budu opremljena otvorima za isticanje gasa.

Britanski BS 6132 ne dozvoljava veću koncentraciju gasa od 1% u prostoriji u kojoj se akumulator puni.

Zaključak

Ovakvo jaka eksplozija, iako se relativno retko događa, ukazuje, svojim razornim učinkom, na neophodnost mera predostrožnosti kojih se treba pridržavati kada je u pitanju rad sa akumulatorima, njihovo punjenje i održavanje. Ova problematika obuhvaćena je nizom standarda i propisa, ali do eksplozija ipak dolazi. Obavljena analiza može biti značajna kako bi se predupredile takve situacije u sličnim okolnostima. Pored toga, nameće se zaključak da se ovakva situacija u konkretnom slučaju mogla izbeći da su se akumulatorske ćelije redovno kontrolisale i da je projektom bilo predviđeno automatsko uključivanje ventilacije u režim forsiranog punjenja, naročito pri jačini struja punjenja preko 1 A.

U ovakvim skloništima ili sličnim objektima, koji se veoma retko koriste

i, najčešće, slabo održavaju, potrebno je razviti automatiku za nadgledanje stanja baterija koja će periodično proveravati stanje svake ćelije. U slučaju kratkog spoja nekih ćelija automatski treba da se koriguje (smanjuje) napon punjača, kako se proces oštećenja ćelija

ne bi nastavio. Na odgovarajući način treba da se obezbedi signalizacija i alarmiranje nastale promene, odnosno neispravnosti. Sadašnje stanje procesne tehnike i niske cene elektronskih komponenti čine ovaj predlog potpuno prihvatljivim.

Literatura:

- [1] Uputstvo za održavanje niki-kadmijumskih akumulatora »VARTA«.
- [2] Uputstvo: Tiristorski punjač ENERGOINVEST.
- [3] Standardi: JUS N.Ss.003, JUS N.Ss.007, VDE 0510, BS6132, IEC 79-10, DIN 57510.
- [4] Propisi: SL SFRJ 28/70, SL SFRJ 19/68, SL SFRJ 66/87.
- [5] Nenad Marinković: Rudarska elektrotehnika, Školska knjiga, 1982.
- [6] Protueksplozijska zaštita rudničkih električnih uređaja.

Dr Branka Gardinovački,
dipl. chem.
Biljana Popov,
dipl. inž.

POMOĆNA OPREMA ZA PODMORNIČKE AKUMULATORSKE BATERIJE

Uvod

U prethodnom periodu Institut za hemijske izvore struje (IHIS)—Baterije radio je na supstituciji niza delova pomoćne opreme za podmorničke akumulatorske baterije, koji su do sada kupovani u inostranstvu.

S obzirom na to da se koristi više tipova olovnih akumulatora, osvojeni su delovi i pomoćna oprema za sve tipove baterija.

Kapaciteti akumulatorskih baterija su od 1500 do 6500 Ah, a broj elemenata u bateriji 128 do 288.

U okviru rada na supstituciji delova pomoćne opreme za akumulatorske baterije konstruisani su i izrađeni svi potrebni alati i definisani tehnološki postupci izrade.

Rad na supstituciji

Na poklopcu svakog elementa nalaze se otvori za:

- izvode polova na koje se postavlja ju matice pola sa o-ringovima;
- odušnik, u koje se on postavlja i pričvršćuje maticom;
- merač nivoa elektrolita, u koji se on postavlja zajedno sa gumenom zap-

tivkom, a pričvršćuje se za poklopac maticom merača nivoa elektrolita, i

- razvodnik za mešanje elektrolita (za baterije kod kojih se razvodnik ne nalazi na odušniku), a razvodnik sa pločicom se fiksira maticom merača nivoa elektrolita.

Pored ovih delova osvojena je i proizvodnja osigurača — 1 A, 1000 V, priključak za hlađenje izvoda, kao i kompletni sistem za hlađenje i mešanje elektrolita (cevovodi i priključci).

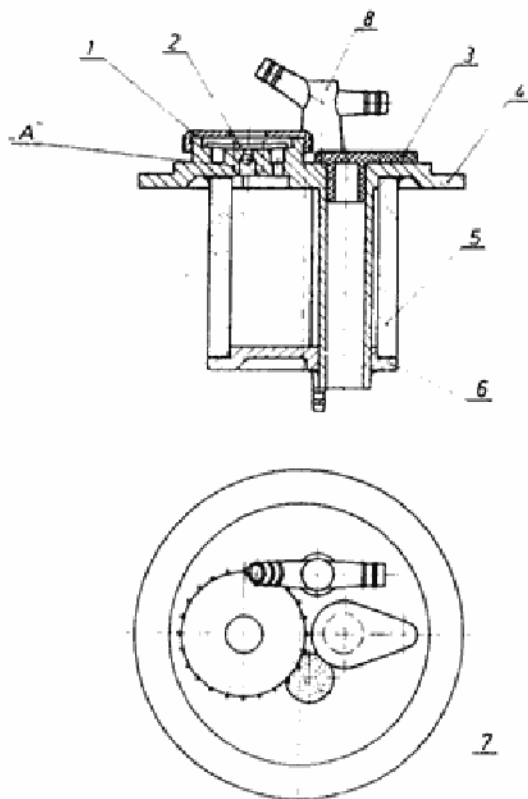
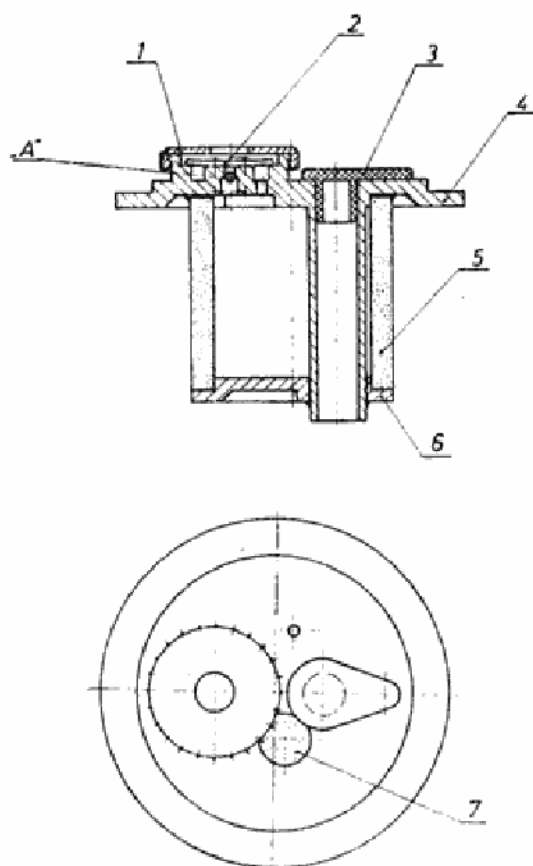
S obzirom na specifične uslove rada baterija svi ovi delovi moraju biti vrlo pouzdani i kvalitetni, u čemu se potpuno uspelo.

Odušnik

Odušnik je izrađen u dve verzije: bez razvodnika (sl. 1A) i sa razvodnikom (sl. 1B).

Najvažniji deo odušnika je filter u obliku keramičkog prstena izrađen od plemenitog belog elektrokorunda. Od istog materijala, samo u drugom alatu, izrađuje se i filter-pločica. Forma dobijena u alatima ide na sinterovanje, a zatim je spremna za ugradnju. Za raz-

liku od drugih filtera proces proizvodnje ovih filtera je jednostavan. Filteri od sinterovanih materijala odlikuju se



Sl. 1 — Odušnik bez razvodnika (A) i sa razvodnikom (B)

1. — poklopac odušnika; 2. — membrana; 3. — čep; 4. — gornji poklopac; 5. — filter; 6. — donji poklopac; 7. — filter pločica; 8. — razvodnik

velikom propustljivošću, a za visoke stepene prečišćavanja čvrstoćom i postojanošću na toplotne udare.

Filter je osvojen u saradnji sa Institutom za vatrostalne materijale MAGNOHROM iz Kraljeva. Institut daje certifikat za sve ugrađene komponente i obavlja kontrolu filtera (određivanje granulometrijskog sastava i poroznosti otvorene i ukupne propustljivosti) po određenim metodama. Propustljivost ovih filtera za gasove je $0,5 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ kod pritiska gasa od 20 mm Hg, a poroznost 20—50%.

Keramički filter u odušniku treba da spreči:

- prenos eksplozije, koja se može javiti izvan elementa, u unutrašnjost elementa;
- prskanje kiseline i širenje para kiseline u okolinu.

Osnovni preduslov za sprečavanje eksplozije jeste da između unutrašnjosti elemenata i okoline postoji dobro zaprtivanje. Zato navrtka kojom je odušnik pričvršćen na poklopac, mora biti dobro stegnuta. Pore keramičkog filtera moraju biti čiste, bez masnoća i čvrstih čestica. Stoga su potrebni redovni pregledi odušnika, a jednom godišnje filter se pere 2%-tnim rastvorom amonijaka.

Posle pranja u ovom rastvoru filter se mora dobro isprati vodom i osušiti, a zatim se može montirati na element.

Svaki odušnik ima gumeni čep koji se postavlja na otvor za dolivanje elektrolita. Kroz ovaj otvor uzima se uzorak elektrolita za kontrolu gustine elektrolita u elementu. Gumeni čep mora dobro zatvarati otvor i, po potrebi, može biti namazan silikonskom mašću radi lakšeg postavljanja u otvor.

Odušnik je opremljen nepovratnim gumenim ventilom (membrana) koji obezbeđuje normalno provetravanje elemenata. Ventil mora biti izrađen tako da se otvara pri pritiscima od 20 do 200 mm VS. Preko gumene membrane postavlja se poklopac.

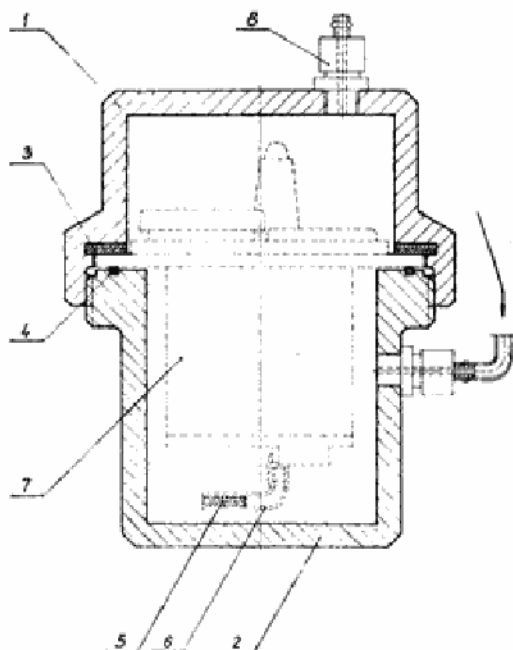
Filter-pločica, koja je izrađena od istog materijala kao i filter, izjednačava pritisak u elementu sa atmosferom. Ona sprečava pojavu oscilovanja nivoa elektrolita, koja se javlja kao posledica stvaranja vazdušnog jastuka između poliester-posude i gumene vreće, ako između poklopca i poliesterske vrećice dođe do propuštanja vazduha.

Tehnološki postupak izrade odušnika propisuje potpunu kontrolu, odnosno kontrolu svakog izrađenog odušnika u uređaju koji je posebno napravljen za ovu namenu.

Odušnik se postavlja u sud (sl. 2), koji je povezan sa živinim manometrom, ispalnicama, dovodom vazduha pod pritiskom, kao i fluometrom za merenje protoka vazduha.

Ispitivanje svih odušnika (sa i bez razvodnika), a ispitano je preko 500 komada, pokazala su da se ventil na odušniku otvara pri pritisku 10—15 mm Hg i protoku 100—200 dm³h⁻¹, što su vrlo ujednačeni rezultati koji u potpunosti odgovaraju rezultatima dobijenim za odušnike »TUDOR« (Švedska), kao i one iz TAB »MEŽICE«:

Pritisak pri kojem se otvara membrana (ventil) ispituje se tako što se nakon postavljanja odušnika u sud za



Sl. 2 — Posuda uređaja za kontrolu odušnika
1. — poklopac; 2. — kućište; 3. — zaptivač;
4. — O prsten; 5. — čep; 6. — crevo; 7. — o-
dušnik; 8. — priključak

ispitivanje sa membrane skine poklopac i špric-bocom preko nje sipa voda tako da je cela prekrivena vodom. Zatim se sud za ispitivanje zatvori i laganim otvaranjem ventila za dovod sabijenog vazduha pušta vazduh u sud. U trenutku kada se pojave prvi mehurići vazduha iznad membrane, zabeleži se vrednost pritiska na manometru i protoka na flumetru.

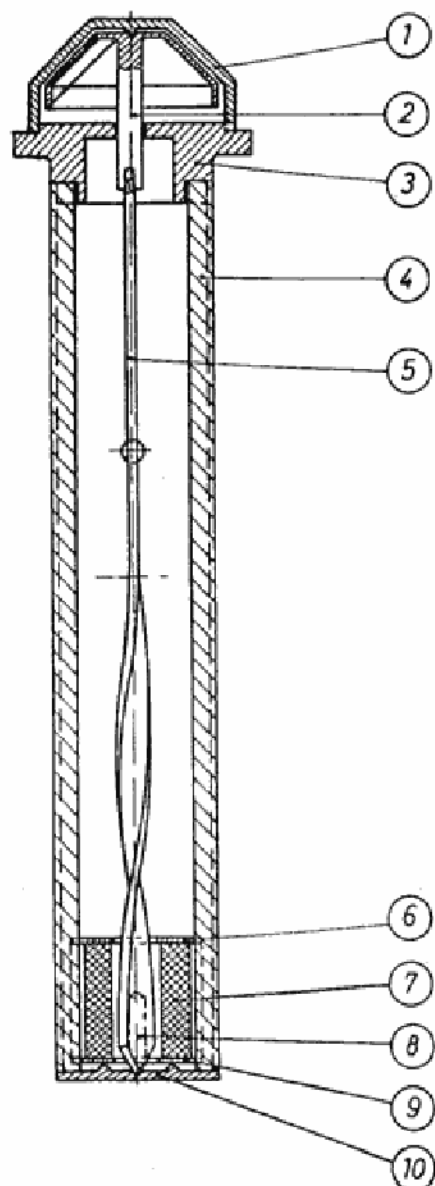
Drugi tip odušnika je odušnik sa razvodnikom. Na razvodnik se u toku rada baterije postavljaju PVC creva mobilne instalacije za mešanje elektrolita. Sva ispitivanja su ista kao kod odušnika koji nema razvodnik.

Merač nivoa elektrolita

Merač nivoa elektrolita se montira na svaki element kroz otvor na poklopcu, a zatim se steže posebnom navrtkom

za merač. Između merača i poklopca postavljaju se gumeni prstenasti zaptivač koji je, takođe, izrađen u IHIS-u.

Merač nivoa elektrolita proizvodi se u tri veličine za sva tri tipa baterija.



Sl. 3 — Merač nivoa elektrolita

1. — kapa vizirna; 2. — skala; 3. — nosač vizirne kape; 4. — cev vodeća; 5. — spirala; 6. — pločica plovka gornja; 7. — plovak; 8. — teg; 9. — pločica plovka donja; 10. — poklopac donji

Na sl. 3 prikazan je merač nivoa elektrolita.

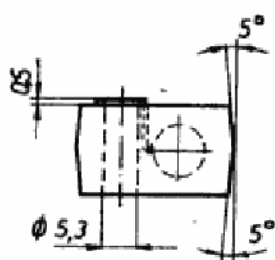
Merač se sastoji od cilindričnog tela (transparentni tvrdi PVC za ekstrudiranje) u kome se nalazi plovak koji svojim vertikalnim pomicanjem zaokreće vijak (spiralu). Vijak na sebi nosi »rotor« koji se zaokreće zajedno sa njim. Rotor na svojoj gornjoj strani ima pokaznu ploču na kojoj su obojeni sektori i numeričke oznake koje obeležavaju stanja nivoa elektrolita. Cilindrično telo pokazivača završava se zaštitnom kapom koja ima providan sektor za posmatranje pokazne ploče. Pokazna ploča označena je brojkama koje predstavljaju nivo elektrolita u milimetrima od gornjeg ruba separatora. Kod minimalnog i maksimalnog nivoa, na providnom sektoru pokazivača, javlja se žuti i crveni sektor sa leve strane, a žuti sa desne strane kod minimalnog nivoa, odnosno žuti sa leve, a crveni sa desne strane maksimalnog nivoa elektrolita.

Nakon veoma uskog žutog polja sledi zeleno polje koje predstavlja normalni nivo elektrolita, a brojevi koji se mogu očitati na pokaznoj ploči predstavljaju tačan nivo elektrolita u milimetrima.

Osigurač 1A, 1000 V

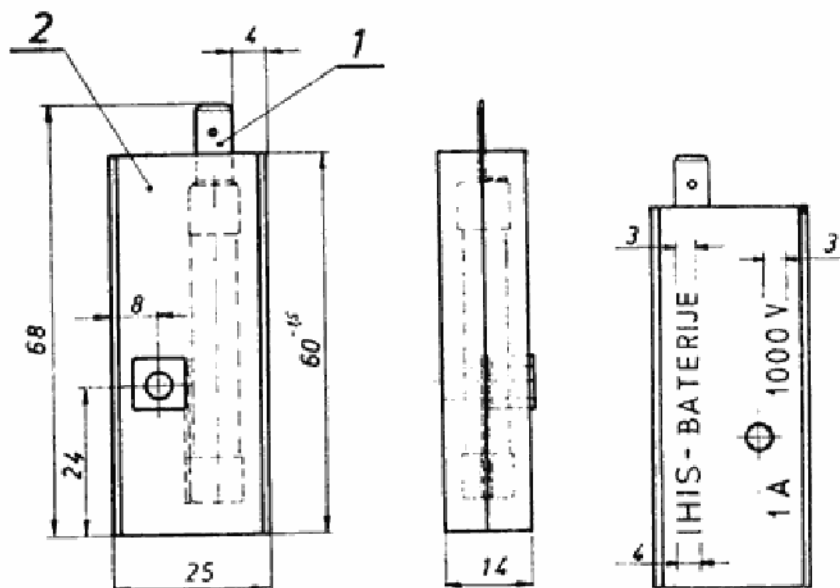
Osigurač je samotopivi od 1 A i 1000 V. Materijal tela osigurača je dvokomponentna smola. Prikazan je na sl. 4.

U IHIS-u je konstruisan i izrađen alat za livenje osigurača, pomoću kojeg je izrađena prva serija. Komponente, koje čine smolu, izmešaju se u posudi u određenom odnosu, zagreju i naliju u alat koji je, takođe, zagrejan. U alatu se već nalazi fiksirani stakleni osigurač i pločice zalemljene za osigurač. Alat ostaje u sušnici na 80°C oko 24 h, što je dovoljno vreme za završetak procesa vezivanja araldita. Osigurač se, zatim,



Izrađeni su i kompleti cevovoda za mešanje elektrolita i hlađenje polova i za baterije na održavanju.

Cevovodi su izrađeni od armiranih PVC creva čiji prečnik zavisi od vrste cevovoda a za spajanje polova ili razvodnika koriste se nearmirana PVC creva. Armirana i nearmirana creva spajaju se termoplastičnim zavarivanjem PVC žicom $\phi 3$ mm.



Sl. 4 — Osigurač
1. — osigurač sa izvodom; 2. — telo osigurača

obrađuje na meru i spreman je za ugradnju posle provere njegove ispravnosti.

Ostali delovi pomoćne opreme

U sklopu osvajanja pomoćne opreme za podmorničke baterije u IHIS-u su izrađeni sistemi za hlađenje i sistemi za mešanje elektrolita na objektima. Svi ovi objekti sastoje se od kompleta cevovoda, creva za spajanje vodova i creva za spajanje polova (ili za spajanje odušnika kod sistema za mešanje elektrolita).

Ovaj način spajanja omogućio je manji broj sastavnih delova u celom sistemu, jednostavniji rad i povećanje bezbednosti ukupnog sistema.

Zaključak

IHIS Baterije iz Zemuna uspešno je proizveo više delova pomoćne opreme za podmorničke olovne akumulatorske baterije, koji su se do sada uvozili. Institut je danas potpuno osposobljen za njihovu redovnu proizvodnju prema budućim potrebama korisnika.

Mikloš Varga,
dipl. inž.

NOVI PRISTUP — PUNJENJE OLOVNIH AKUMULATORSKIH BATERIJA POMOĆU SONDE

Uvod

Pri eksploataciji akumulatorskih baterija, jedno od najčešćih pitanja korisnika jeste da li postoji mogućnost brzog punjenja akumulatorskih baterija. Razvijeno je više metoda koje sa manje ili više uspeha skraćuju vreme punjenja akumulatorskih baterija.

Jednu od tih metoda razvila je firma MELBAT iz Novog Sada. Metoda tretira punjenje akumulatorskih baterija pomoću sonde.

Metoda punjenja olovni akumulatorskih baterija pomoću sonde

Korisnik se opredeljuje za neku od poznatih metoda punjenja akumulatorskih baterija, pa se prema uputstvu proizvođača i u zavisnosti od stepena ispražnjenosti baterije bira početna struja punjenja. Struja kojom se puni akumulatorska baterija razlaže se na (može se globalno reći) tri struje:

a) struju koja kao produkt ima željeni elektrohemijski proces kojim se električna energija putem hemijske reakcije pretvara u hemijsku energiju,

b) struju koja kao produkt ima neizbežne Džulove gubitke koji nastaju usled evidentne unutrašnje otpornosti baterije, i

c) struju koja kao produkt proizvodi neželjeno razlaganje vode u elektrolitu.

Teži se da se u toku punjenja komponenta struje pod c) svede na najmanju moguću meru, i da komponenta struje pod b) ne podigne temperaturu baterije više od 40°C, a da pri tome komponenta struje pod a) bude što veća.

Ukoliko se postigne da se sva struja punjenja razlaže samo na komponente struje pod a) i b) a da ne postoji komponenta struje pod c), postiže se *brzo punjenje akumulatorskih baterija*.

Da bi se ovi uslovi postigli neophodno je toliko doziranje struje koliko je akumulator sposoban da elektrohemijski apsorbira, a da temperatura akumulatorske baterije ne pređe 40°C. To se može postići samo neprekidnim nadzorom punjenja akumulatorske baterije koji je, u realnim uslovima, nemoguće postići bez upotrebe *merne sonde* koja neprekidno daje punjaču informaciju o bilansu opisanih komponenti struje.

Praktično, zadatak sonde jeste da punjaču javlja kada temperatura aku-

mulatorske baterije prelazi 40°C i kada dolazi do komponente struje koja izaziva razlaganje vode u elektrolitu. Pri javljanju ovakvih stanja, punjač treba automatski da smanjuje struju punjenja, sve dok se komponenta struje pod c) ne eliminiše, a komponenta struje pod b) ne dovede u optimalnu meru. Ukoliko se pri tome održava maksimalna struja punjenja, takvo punjenje rezultira metodom punjenja pomoću sonde, odnosno postiže se *idealno brzo punjenje akumulatorskih baterija*. Ovakva metoda dozvoljava vrlo velike struje punjenja, u početku punjenja dok je baterija prazna i ta struja automatski opada do struje samopražnjenja baterije. Intenzitet struje je ograničen samo konstrukcionim osobinama rešetke elektrode i spojnice akumulatorske baterije. Sama metoda se automatski prilagođava svim promenama karakteristika baterije, njenog stanja, i promeni temperature i sastava elektrolita.

Ovakvu metodu punjenja razvio je MELBAT iz Novog Sada u poslednjih desetak godina, a ona već četiri godine vrlo uspešno funkcioniše na ispitnim postrojenjima MELBAT-a, a naročito kod elektroautomobila čiji je prototip u probnoj eksploataciji od novembra 1993. godine.

Problemi koji nastaju pri brzom punjenju

Ukoliko se uspostavi sistem za *brzo punjenje* starter-akumulatora postavlja se pitanje ekonomičnosti njegove primene i širine upotrebe.

Najveća primena ove metode punjenja očekuje se u punjenju *vučnih*, odnosno *trakcionih akumulatorskih baterija*.

Ukoliko se uspostavi sistem za *brzo punjenje trakcionih baterija*, brzo se nailazi na veliki problem. Naime, trakcione baterije obično imaju velike naponе i velike kapacitete. S obzirom na to i uslove za *idealno brzo punjenje a-*

kumulatorskih baterija potrebni su punjači ogromne snage, koji bi mogli u potpunosti da eksploatišu ovu metodu. Takvi punjači imaju sledeće nedostatke:

- sadrže ogroman energetska transformator, pa su glomazni i teški,
- vrlo su skupi,
- u realnim postrojenjima ne postoje energetska uslovi za priključenje, posebno ako ih ima više. Ukoliko bi se ovaj problem prevazišao, pojavljuje se problem vršnih opterećenja u elektrodistributivnoj mreži.

Rešenje problema *idealno brzog punjenja trakcionih baterija* je u novom pristupu punjenja olovniа akumulatorskih baterija pomoću sonde.

Punjenje olovniа akumulatorskih baterija pomoću sonde

Da bi se sistem *punjenja pomoću sonde* mogao primeniti u realnim postrojenjima, neophodno je projektovati mrežu punjača koja ne izaziva velike udare na mrežu. To se jedino može postići primenom DC/DC punjača koji bi se napajali iz sekundarnog izvora jednosmerne struje.

Metodi realizacije DC/DC punjača su poznati, bilo pomoću tiristora, tranzistora ili najsavremenijih GTO-tiristora. Takvi punjači su relativno malih gabarita, a velike snage. Praktično, mogu se direktno ugrađivati na elektrovučno vozilo (viljuškar), uz samu bateriju, i povezati sa *sondom*. Time bi se postojeći klasični stacionarni transformatorski punjači zamenili sa mobilnim DC/DC punjačima bez skupih transformatora.

Napajanje DC/DC punjača obezbeđuje se odgovarajućim priključnicama preko jednosmernog napojnog voda iz stacionarne akumulatorske baterije. Ova se napaja iz klasičnog trofaznog transformatorskog punjača priključenog

na elektrodistributivnu mrežu, regulisanog *sondom*.

Dakle, potrebno je da za svako konkretno postrojenje postoji inženjering koji bi proračunavao celodnevnu potrošnju svih elektroviljuškara koji se priključuju na sistem, kao i maksimalno trenutno opterećenje sekundarne mreže i, u skladu sa tim, vršio odabir stacionarne baterije za obezbeđenje DC napajanja sistema. Za punjenje ove stacionarne baterije predviđa se transformatorski punjač regulisan *sondom*, čija bi maksimalna struja punjenja bila definisana uputstvom proizvođača.

Ovakav sistem ravnomerno opterećuje elektrodistributivnu mrežu, a kratkotrajno DC/DC mrežu, što se na naizmeničnoj strani ne vidi.

U sistemu je preporučljivo predvideti i signalizacioni vod, koji preko procesora određuje prioritet uključivanja DC/DC punjača, da bi se izbeglo preopterećenje stacionarne baterije zbog istovremenog priključenja više elektroviljuškara. Prioritet bi se određivao na osnovu stanja napunjenosti pojedinih

trakcionih baterija koje su trenutno priključene na punjenje, kao i prioritetom koji odredi rukovalac voznog parka unutrašnjeg transporta. Ovakav sistem može da napaja i uređaje za neprekidno napajanje, alarmne uređaje, i alarmna svetla.

Zaključak

Sistem punjenja akumulatorskih baterija pomoću sonde obezbeđuje brzo i kvalitetno punjenje više trakcionih baterija bez štetnih posledica. Pri punjenju ne dolazi do izdvajanja akumulatorskih para, pa je gubljenje tečnosti iz akumulatora svedeno na najmanju meru. Zbog toga nije potrebno da se poklopci ćelija otvaraju.

Sa malim intervencijama na instalaciji elektroviljuškara, DC/DC ispravljač može se iskoristiti za regulaciju rada njegovog pogonskog motora u toku vožnje, a traktione baterije bi se dopunjavale pri svakom prekidu rada elektroviljuškara.

Dr Svetomir Minić,
ppuk. dipl. inž.

POSTAVLJANJE SISTEMA KVALITETA PREMA ZAHTEVIMA SERIJE STANDARDA JUS ISO 9000

(Prikaz knjige)

Oktobra 1994. godine u izdanju Jugoslovenske organizacije za standardizaciju i kvalitet — JUSK i izdavačkog preduzeća FIRASO, D.O.O. Beograd, objavljena je knjiga **POSTAVLJANJE SISTEMA KVALITETA PREMA ZAHTEVIMA SERIJE STANDARDA JUS ISO 9000**, autora dr Nikole Vujanovića, dipl. inž., registrovanog konsultanta EOQ/EFQM, eksperta za kvalitet JUSK-a.

Pukovnik dr Nikola Vujanović istaknuti je stručnjak iz oblasti pouzdanosti i obezbeđenja kvaliteta kod nas i u svetu. Završio je Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1970. godine, a posle diplomске studije iz oblasti pouzdanosti u SAD, 1975. godine (The University of Arizona, Tucson, USA). Doktorirao je iz oblasti pouzdanosti i pogodnosti održavanja na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, 1983. godine. Autor je velikog broja naučnih i stručnih radova u zemlji i inostranstvu iz područja pouzdanosti i kvaliteta. Radio je više godina na poslovima obezbeđenja pouzdanosti i kvaliteta a sada se bavi poslovima NIR-a u Vojsci Jugoslavije i predaje na više fakulteta u zemlji.

Autor je naročito poznat naučnoj javnosti po svojoj knjizi »Teorija pouz-

danosti tehničkih sistema«, koja se smatra fundamentalnom iz ove oblasti u našoj zemlji.

Knjiga »Postavljanje sistema kvaliteta prema zahtevima serije standarda JUS ISO 9000« treba da zadovolji potrebe svih onih koji su zaduženi za pripremanje firme za registrovanje prema jednom od modela iz serije JUS ISO 9000. Ona služi i kao korisno usmerenje za one koji sprovode interne provere sistema, pružaju konsultantske usluge firmama po zahtevima JUS ISO 9000, pripremaju programe obezbeđenja kvaliteta isporučioaca koji se zasnivaju na ovim standardima ili upoznaju rukovodstvo i zaposlene o značaju standarda. Ova knjiga, takođe, može korisno poslužiti kada već postoji dobro dokumentovan sistem kvaliteta.

Bez dokaza o kvalitetu mnoge firme će ispasti iz konkurencije za dobijanje novih poslova. Mnoge nacionalne i multinacionalne firme, kao i veliki kupci, u svojim zahtevima za ponude već postavljaju kao preduslov za potpisivanje ugovora — registrovanje prema seriji ISO 9000. Nije iznenađujuće da neposredni isporučioци materijala i usluga, takođe, postavljaju takve zahteve svojim podgovaračima i isporučioциma.

Cilj ove knjige je efikasna i efektivna primena serije standarda JUS ISO 9000, što je posebno naglašeno u uvodu standarda JUS ISO 9004:

Za kompaniju je poslovna potreba da postigne i održi željeni kvalitet pri optimalnom trošku; ispunjavanje ovog aspekta kvaliteta vezano je za planirano i efikasno korišćenje tehnoloških, ljudskih i materijalnih izvora, koji su raspoloživi kompaniji.

Dobijanje sertifikata u odnosu na neki od modela iz serije JUS ISO 9000, zahteva velike napore u pogledu planiranja i učešća svih zaposlenih u firmi. Sredstva potrebna u procesu registracije za konsultantske usluge, tela za registraciju i razne druge stavke, nisu nimalo beznačajna. Zbog toga, od najvećeg značaja je da se ovaj proces odvija uz maksimalnu efektivnost, kako bi se smanjili potencijalni troškovi.

Namera autora je da pomogne korisnicima u svakoj fazi procesa postavljanja sistema kvaliteta prema zahtevima serije JUS ISO 9000. Posebna vrednost knjige jeste što:

- pruža čitaocima sve neophodne informacije o seriji standarda JUS ISO 9000;
- detaljno razmatra sve potrebne aktivnosti u procesu dobijanja odgovarajućeg sertifikata sistema kvaliteta i njegovo korišćenje za ostvarivanje konkurentne prednosti;
- ukazuje na ispravan način izbora odgovarajućeg tela za registraciju i sklapanje ugovora;
- prezentira upitnik u vezi saglasnosti sa serijom JUS ISO 9000, koji omogućuje da se snimi postojeće stanje sistema kvaliteta i pripremi plan aktivnosti u pravcu dobijanja registracije;
- daje primer kako se dokumenta moraju pisati da bi se postigla usklađenost sa serijom JUS ISO 9000;
- nudi uvid u pitanja koja postavlja ekipa ocenjivača u toku provere sis-

tema kvaliteta radi davanja odgovarajućeg sertifikata;

- pruža pomoć pri pravilnom izboru standarda koji će se koristiti u konkretnoj firmi;
- ukazuje na način kako se zahtevi ostalih kupaca mogu obuhvatiti u okviru procesa registrovanja prema JUS ISO 9000, tako da se za sve kupce može koristiti samo jedan priručnik kvaliteta.

Sadržaj knjige je koncipiran prema sledećim celinama:

Prvi deo — osnove kvaliteta, gde su obrađeni sadržaji:

- Koncept kvaliteta,
- Kvalitet i prosperitet,
- Sedam alata za obezbeđenje kvaliteta.

Drugi deo — instrukcije za postavljanje sistema kvaliteta prema zahtevima serije standarda JUS ISO 9000, sa sadržajima:

- Razlozi zbog kojih se mora ići na registrovanje firme u odnosu na seriju standarda JUS ISO 9000,
- Opšte napomene u vezi serije standarda JUS ISO 9000,
- Najčešće postavljana pitanja vezana za seriju standarda JUS ISO 9000,
- Detaljna analiza standarda JUS ISO 9000 i predlozi za proces njegove primene,
- Izbor odgovarajućeg modela iz serije JUS ISO 9000,
- Započinjanje rada sa serijom JUS ISO 9000,
- Izgradnja sistema kvaliteta,
- Dokumentacija sistema kvaliteta,
- Sektor usluga,
- Kako odabrati odgovarajuće ovlašćeno telo za registraciju sistema kvaliteta,

- Provera i sprovođenje provere,
- Upitnik za ocenu sistema kvaliteta prema standardima JUS ISO 9001/2/3 i uputstvo za njegovo korišćenje,
- Kvalitet i poboljšanje poslovanja.

Treći deo — kvalitet kao konkurentska prednost, gde su obrađene teme:

- Ostvarivanje zadovoljstva kupca,
- Konsultacije (konsalting) i serija standarda JUS ISO 9000: nekoliko reči upozorenja,
- Korišćenje dobijenog sertifikata kao faktora konkurentske prednosti.

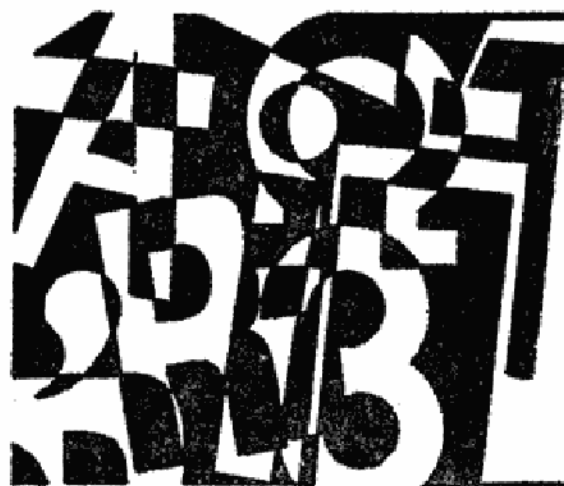
Posebnu vrednost ove knjige predstavljaju četiri dodatka. U *dodatku 1*, date su adrese akreditovanih tela za registraciju sistema kvaliteta u skladu sa zahtevima serije standarda ISO 9000, a u *dodatku 2*, dat je UPITNIK za ocenu sistema kvaliteta prema standardima JUS ISO 9000 (preko 100 pitanja). U *dodatku 3* nalazi se spisak adresa onih organizacija koje su ovlašćene da organizuju kurseve za ocenjivače i vodeće ocenjivače sistema kvaliteta, a u *dodatku 4* spisak adresa preko kojih je moguće naručivanje naših i stranih standarda i ostale značajne adrese.

Knjiga sadrži celokupan materijal sa seminara o standardima JUS ISO 9000, koje je autor držao u periodu od

1992. do 1994. godine uključujući sve ono što se na njima čulo u usmenim izlaganjima i što do sada nije štampano. Osim toga, knjiga sadrži i značajna proširenja koja obuhvataju dragocena iskustva koja je autor stekao u praktičnom radu na poslovima nadzora kvaliteta u našim i stranim firmama, iskustva u vezi sa pružanjem konsultantskih usluga firmama koje postavljaju sistem kvaliteta u skladu sa zahtevima serije JUS ISO 9000, kao i neka teorijska razmatranja proverena u praksi. U prikupljanju materijala za knjigu autor se maksimalno oslanjao na znanja vodećih ocenjivača, predstavnika više tela za registraciju sistema kvaliteta i stručnjaka iz više zemalja. Isto tako koristio je mišljenja i sugestije koje je dobio u toku rasprava i diskusija vođenih sa slušaocima seminara iz ove oblasti.

Iako je ova knjiga napisana prvenstveno kao uputstvo za postavljanje sistema kvaliteta u nekoj firmi, prema zahtevima serije standarda JUS ISO 9000, može se koristiti kada se želi poboljšati ili proširiti već postojeći sistem kvaliteta. Bez obzira na razlog, knjiga je koncipirana tako da se može koristiti kao osnova za sistem upravljanja kvalitetom.

Obim knjige je 320 strana, a sve informacije u vezi s narudžbom mogu se dobiti na adresi: FIRASO, BEOGRAD, Filipa Kljajića 15, 11000 Beograd, telefon i faks: 011/457-651.



prikazi iz inostranih časopisa

SAVREMENI ARTILJERIJSKI SISTEMI SA UVEĆANOM DUŽINOM CEVI*

— nastavak —

Kina

Vučni top-haubica kineske korporacije NORINCO WAC21 155 mm prvi je slučaj odstupanja od tradicionalnog kalibra 152 mm za artiljerijske sisteme te klase. Ovo oruđe predstavlja vernu kopiju vučnog topa-haubice GHN-45 austrijske proizvodnje. Kineska firma je izradila samo lafet za postojeću cev.

WAC21 ima autofretovanu cev dužine 45 kalibara, sa višerednom oknas-tom gasnom kočnicom. Cev ima 48 žlebova, a dubina im je oko 3 puta veća nego kod analognih sistema na Zapadu. Zapremina barutne komore je 22,95 l. Zatvarač je klipnog tipa sa poluauto-matikom. Kočnica trzanja smeštena je ispod cevi, a povratnik iznad. Protivtr-zajući uređaj ima mehanizam za pro-menu dužine trzanja, što je od naročite važnosti pri gađanju sa graničnim uglo-

vima elevacije i sa maksimalnim barut-nim punjenjima.

Lafet ima razdvajajuće krake, a ispod je postavljena oslona ploča koja se spušta pri gađanju. Iznad levog kra-ka pričvršćen je donosač metka. Sa leve strane cevi postavljene su sprave za davanje pravca i elevacije. Prilikom vu-če topa-haubice cev se okreće za 180°. Predviđena je mogućnost da se na la-fet, u slučaju potrebe, postavi motor za pogon točkova snage 56,6 kW. Maksi-malna brzina kretanja oruđa sa ovim motorom je 18 km/h.

U nišanske sprave spadaju pano-ramski nišan M115 i teleskopski M137.

Vučni top-haubica WAC21 može koristiti svu municiju koja je standar-dizovana u NATO. Maksimalni domet parčadno-razornim projektilom tipa ERFB-BB je 39 km (masa projektila je 45,54 kg, a početna brzina 897 m/s). Sre-dnje odstupanje pogodaka pri gađanju na maksimalnom dometu je 0,45% po daljini i 0,007% po pravcu. Normalna brzina gađanja ograničena je na 2 met-ka/min, a za kraće vreme brzina gađa-nja može se povećati na 4 do 5 meta-ka/min.

Kineski stručnjaci razmatraju kao moguću varijantu postavljanje cevi ka-libra 155 mm, koja je identična cevi

* Prema podacima iz časopisa ZARUBEŽNOE VOENNOE OBOZRENIE, 4/1994.

vučnog topa-haubice WAC21, na kombinovani lafet koji je sastavljen od lafeta topa 130 mm, tip 59-1, i topa-haubice 152 mm, tip 66.

Takođe, izrađena je samohodna varijanta koja je po mnogim parametrima kopija američke samohodne haubice M109 155 mm, ali ima dužu cev koja je identična cevi topa-haubice WAC21 i nešto je povećana ukupna masa sistema.

Kupola i telo samohodnog topa-haubice su potpuno oklopljeni i obezbeđuju zaštitu od vatre naoružanja manjeg kalibra i parčadi artiljerijskih projektila. Konstruktivna shema je tradicionalna za samohodne artiljerijske sisteme te klase, što znači da se vozač i pogonski uređaj (motor) nalaze u prednjem delu borbenog odeljenja. Vozač ima dva periskopska uređaja za dnevno osmatranje, a predviđena je i ugradnja uređaja za noćno osmatranje. Komandir je smešten u obrtnoj kupoli u kojoj je ugrađena i cev kalibra 155 mm, dužine 45 kalibara. Na gornjoj strani kupole ugrađen je univerzalni mitraljez kalibra 12,7 mm. Nišanska sprava za neposredno gađanje postavljena je u prednjem delu kupole sa leve strane oruđa, a nišanska sprava za gađanje sa zatvorenih vatrenih položaja nalazi se u oklopnom štitniku sa leve strane krovne kupole.

Oruđe ima klinasti zatvarač sa poluautomatikom, mehanizam za punjenje i donosač metka pneumatskog tipa, čime je obezbeđen poluautomatski režim punjenja cevi topa pri svim uglovima elevacije. Samohodni top-haubica WAC 21 ima ugrađeni sistem za upravljanje vatrom. Kineski konstruktori tvrde da su predviđene varijante automatskog i ručnog navođenja oruđa. Mada kupola ima kružno kretanje za normalno gađanje, sektor gađanja je ograničen do 30° u svaku stranu. Prilikom gađanja, radi dodatne stabilizacije oruđa, izvlače se dva pomoćna ašova. Pri korišćenju projektila ERFB-BB maksimalna brzina gađanja je 4 do 5 metaka/min. Kon-

strukcija samohodnog oruđa predviđa ugradnju sistema za gašenje požara i sistema za zaštitu posade od oružja za masovno uništenje.

Bez obzira na činjenicu što su od početka devedesetih godina stručnjaci većeg broja zemalja-proizvođača artiljerijskih oruđa smatrali da su oruđa kalibra 203,2 mm neperspektivna, kineska firma NORINCO nastavila je radove koji su započeti u saradnji sa kanadskom firmom SPACE RESEARCH CORPORATION, na razvoju oruđa 203,2 mm. Do početka 1994. godine izvršeni su prototipovi vučnog i samohodnog oruđa.

Autofretovana cev novog oruđa izrađena je od čelika koji je dobijen prečišćavanjem električnim putem pod troškom. Ona ima 64 žleba, a dužina joj je 45,5 kalibara. Vek cevi iznosi 1000 projektila sa maksimalnim punjenjem. Predviđeno je korišćenje modularnih barutnih punjenja u sagorljivim kesicama.

Zatvarač je klinastog tipa a zatvara se i otvara hidrauličkim mehanizmom. Protivtrazujući uređaji su isti kao kod vučnog topa-haubice kalibra 152 mm, tip 66.

Vučna varijanta koristi lafet ranije konstruisanog topa-haubice WAC21. Sa desne strane oruđa pričvršćen je pneumatski donosač metka koji omogućuje proces punjenja projektila i barutnih punjenja pri svim uglovima elevacije.

Za dodatnu stabilizaciju pri gađanju koristi se spuštajuća oslona ploča koja se nalazi ispod prednjeg dela lafeta, i ašovi na svakom kraku lafeta. Nišanske sprave i sprave za pokretanje cevi po pravcu i visini smeštene su sa leve strane oruđa. Prilikom vuče oruđa cev se okreće za 180° i pričvršćuje za sklopljene krake lafeta.

Dometa oruđa projektilima ERFB-HB-HE je 40 km, a projektilima ERFB-BB-HB — 50 km. Mogu se koristiti sledeći projektili: kasetni (napunjeni protivoklopnim minama), hemijski

projektili sa vođenjem u završnom delu putanje i nuklearni.

U samohodnoj varijanti novog sistema nalazi se šasija, mehanizam za podizanje cevi i protivtrazujući uređaji po konstrukciji analogni onima koji se koriste kod američkog samohodnog topa M107 kalibra 175 mm i samohodne američke haubice M110 kalibra 203,2 mm. Stručnjaci veruju da će obe varijante novog artiljerijskog sistema biti gotove za serijsku proizvodnju 1994—95. godine.

Taktičko-tehničke karakteristike vučne varijante oruđa kalibra 203,2 mm

Dužina cevi (kalibara)	45,5	
Dužina trzanja (m)		
— maksimalna	1,524	
— minimalna	1,041	
Dužina x širina sistema (m)		
— u marševskom položaju	12,087x2,789	
— u borbenom položaju	14,831x9,097	
Visina oruđa (m)	2,527	
Klirens (mm)	320	
Uglovi navođenja oruđa (stepeni)		
— u vertikalnoj ravni	—5 do +55	
— u horizontalnoj ravni	50	
Sredstvo vuče	kamion 10 t	
Municija:		
— tip (parčadno-ra-zorni)	ERFB	ERFB-BB
— kalibar (mm)	203,2	203,2
— masa (kg)	95,9	100,1
Početna brzina projektila (m/s)	933	936
Domet (km)	40	50

Singapur

Početkom devedesetih godina firma ORDNANCE DEVELOPMENT AND ENGINEERING razvila je vučnu haubicu FH-88 kalibra 155 mm sa sledećim

tehničkim zahtevima: povećanje brzine gađanja, obezbeđenje visoke preciznosti gađanja, povećanje ubojnog efekta municije na cilju, mobilnost, dug vek, jednostavnost eksploatacije i održavanja.

U prvobitnoj varijanti bilo je predstavljeno oruđe sa dužinom cevi od 39 kalibara, dometom do 30 km i maksimalnom brzinom gađanja od 8 metaka u minuti (prva tri metka za 15 s). Zahvaljujući ugrađenom pomoćnom motoru, haubici je omogućeno autonomno kretanje i znatno je olakšan proces prevođenja iz marševskog u borbeni položaj i obratno, tako da dobro obučena posluha od 6 vojnika obavi ove operacije za 1 minut. Prevoženje haubice moguće je helikopterima CH-53 (obešene ispod helikoptera) ili transportnim avionom C-130. Za vuču su korišćeni tegljači 7 do 10 t (6x6) maksimalnom brzinom od 80 km/h.

Kasnije je konstruisano oruđe sa cevi dužine 52 kalibra, uz minimalne izmene u konstrukciji lafeta. Maksimalni domet je povećan do 40 km. Postoje podaci da je ova varijanta vučne haubice FH-88 gotova za serijsku proizvodnju kao i da se razmatra varijanta za izvoz. Potencijalna preimućstva ove haubice su mogućnost gađanja ciljeva do 40 km, relativno mala cena i visoki koeficijent »cena-efikasnost«. U najskorije vreme očekuje se zaključivanje ugovora za isporuku haubice čija je dužina cevi 45 kalibara, ali kupac nije naznačen.

Republika Slovačka

Početkom devedesetih godina u slovačkom preduzeću ZAVODI TAZKEHO STROJARSTVA završen je razvoj samohodnog artiljerijskog sistema ZU-ZANA, kalibra 152 mm koji je predstavljao usavršeniji model sistema DANA, kalibra 152 mm. Oruđe je bilo izrađeno za municiju zapadnog porekla kalibra 155 mm i to je bio drugi slučaj (posle Kine) proizvodnje artiljerijskih

sistema zemalja iz bivšeg socijalističkog lagera za zapadno tržište. Prvi top izrađen je decembra 1992. godine i do aprila 1993. godine prošao je kroz tehnička ispitivanja. Oruđe ZUZANA bazirano je na šasiji kamiona TATRA-815 (8x8) sa karakteristikama visoke prohodnosti.

Sistem je takve koncepcije da su borbeno odeljenje i vozač u prednjem delu, a motor u zadnjem delu vozila. Top ima novi zatvarač, cev i gasnu kočnicu, dok je izbacivač izostavljen. Razvijeni artiljerijski sistem ima računarski sistem za upravljanje vatrom, sistem za topografsko vezivanje i nišanu spravu sa stabilizovanom nišanskom linijom.

Tajvan

Krajem sedamdesetih godina firma Combined service forces razvila je novi artiljerijski sistem kalibra 155 mm — samohodnu haubicu XT-69, čija je dužina cevi 45 kalibara.

Samohodna haubica sa povećanim dometom razvijena je na bazi ranije proizvedene samohodne haubice kalibra 155 mm, u kojoj su korišćeni elementi konstrukcije američkih haubica M109, kalibra 155 mm i M108 kalibra 155 mm.

Kod ovog artiljerijskog sistema koristi se lafet na točkovima koji je analogan lafetu američke vučne haubice M114 kalibra 155 mm. Od početka 1993. godine ovo oruđe se nalazi u serijskoj proizvodnji, a 1994. godine uvedeno je u naoružanje snaga KoV.

Glavna karakteristika nove haubice je u zameni cevi (identične onoj koja se koristi kod američke vučne haubice M114) novom cevi kalibra 155 mm, dužine 45 kalibara, koju je konstruisala firma Space research corporation za projekte poboljšanog aerodinamičkog oblika. Pretpostavlja se da je time maksimalni domet povećan do 35 km. Meha-

nizam punjenja cevi omogućuje brzinu gađanja od 5 metaka u minuti. Sektor gađanja u horizontalnoj ravni je 60°, a maksimalni ugao elevacije 70°.

Haubica ima sprave za noćno osmatranje a predviđena je veza sa sistemom za komandovanje vatrom baterije. Posadu sačinjava 5 vojnika i nije predviđen sistem za zaštitu od oružja za masovno uništenje. Predviđena je ugradnja mitraljeza kalibra 12,7 mm.

Finska

Finska firma VAMMAS konstruisala je novu vučnu haubicu 155 K83, kalibra 155 mm sa korišćenjem elementa konstrukcije lafeta vučnog topa-haubice M-68, kalibra 122 mm i vučnog topa-haubice M-74, kalibra 155 mm.

Konstrukcija lafeta sa razdvajajućim kracima omogućuje korišćenje cevi dužine 39 i 45 kalibara, a po potrebi na isti lafet mogu se ugraditi cevi kalibra 122, 130 i 152 mm. Zatvarač haubice je klinastog tipa sa poluautomatikom. Zahvaljujući ugrađenom mehanizmu za punjenje cevi, brzina gađanja je 10 metaka u minuti. Pri gađanju se oruđe stabilizuje oslonom platformom, kracima i ašovima. Varijanta sa cevi dužine 45 kalibara namenjena je za gađanje na maksimalnom dometu od 39,6 km, projektilima sa poboljšanim aerodinamičkim oblikom. Moguće je korišćenje svih tipova municije kalibra 155 mm koji su standardizovani u NATO. U kompletu oruđa nalazi se i pokazivač početne brzine koji je postavljen iznad cevi. Ovo oruđe pripada naoružanju snaga KoV Finske.

Južnoafrička Republika

Južnoafrički stručnjaci konstruisali su vučni top-haubicu G-5, kalibra 155 mm i samohodni top-haubicu G-6, kalibra 155 mm koje prema taktičko-tehničkim karakteristikama, spadaju među

najbolja artiljerijska oruđa u svetu. Uz to, predstavljaju i najuspešniju primenu fundamentalnih radova u toj oblasti firme Space research corporation.

Razvoj vučnog topa-haubice kalibra 155 mm, sa dužinom cevi od 45 kalibara, započet je 1975. godine. Odvijao se u tesnoj saradnji južnoafričke firme ARMSCOR i korporacije SPACE RESEARCH CORPORATION. Pri konstrukciji novog sistema, kao bazni model korišćen je vučni top-haubica GC-45, kalibra 155 mm. U drugoj polovini sedamdesetih godina u Kanadi su obavljena prva ispitivanja novog oruđa postavljenog na lafet američke vučne haubice M59, kalibra 155 mm a zatim su ispitivanja nastavljena u Južnoafričkoj Republici. Početkom osamdesetih godina novi top-haubica uveden je u naoružanje KoV Južnoafričke Republike i dobio je oznaku top-haubica G-5, kalibra 155 mm. Po mnogim elementima ovo oruđe se razlikuje od oruđa GC-45: na prednjem delu lafeta ugrađen je pogonski motor sa vazдушnim hlađenjem radi obezbeđivanja samohodnosti oruđa i olakšavanja nekih elemenata procesa prevođenja iz marševskog u borbeni položaj i obratno, postavljena je nova gasna kočnica, konstruisana je poboljšana kolevka sa ojačanim uređajem za dinamički balans, korišćen je potpuno nov sistem za podizanje platforme oruđa, znatno su ojačani kraci i urađena su neka druga poboljšanja. Kao krajnji rezultat dobijeno je jednostavno oruđe pouzdano u eksploataciji, tako da za rukovanje njime nije potrebno visokoobučeno ljudstvo. Zahvaljujući tome, otvorene su perspektive za izvoz, posebno u zemlje »trećeg sveta«.

Top-haubica G-5 nalazi se u naoružanju Iraka, dok je Čile otkupio licencu i proizvodi sopstvenu varijantu pod nazivom CC-45.

Top-haubica G-5 ima autofretovanu cev dužine 45 kalibara sa gasnom kočnicom i zatvaračem klipnog tipa sa poluautomatskim radom, sličnim kao na američkoj samohodnoj haubici serije

M109. Punjenje cevi i potiskivanje metka u cev obavlja se pomoću pokretnog koritastog klizača koji se može pomerati u horizontalnoj i vertikalnoj ravni zajedno sa cevi. Iza zatvarača smešten je mehanizam donosača pneumatskog tipa sa ručnim pogonom pomoću kojeg se može puniti pri svim uglovima elevacije, dok se barutno punjenje stavlja ručno. Sve to obezbeđuje maksimalnu brzinu gađanja od 4 metka u minuti u toku 15 minuta i 2 metka u minuti u toku 1 časa.

Lafet ima razdvajajuće krake na čijim se krajevima sa spoljašnje strane, nalaze točkovi koji olakšavaju prevođenje oruđa iz marševskog u borbeni položaj, kao i promenu vatrenog položaja. Zglobno pričvršćeni ašovi imaju četiri fiksirana položaja. Hodni deo sa balansirajućim oslanjanjem i četiri točka obezbeđuje veliku brzinu kretanja, a i veliku pokretljivost pri savlađivanju teško prohodnog zemljišta.

Kraci, točkovi i platforma oruđa dobijaju pogon od vazduhom hlađenog dizel-motora snage 58,1 KW. On obezbeđuje kretanje oruđa maksimalnom brzinom 17 km/h, olakšava rad mehanizma za punjenje cevi i brzo prevođenje oruđa iz marševskog položaja u borbeni. Ovu zadnju operaciju petorica vojnika obavljaju za 2 minuta, a u slučaju nužde dva vojnika je mogu obaviti za 5 minuta.

Istovremeno su konstruisani novi sistemi za upravljanje vatrom AS-80, pokazivač početne brzine projektila EMWA Mark 10 B, koji meri sa greškom do 0,05% u obimu brzina 300 do 3000 m/s, meteorološka stanica S700 i sistem radio-veze.

Za vuču oruđa koristi se artiljerijski tegljač SAMMIL-100 (6x6). U specijalnoj kabini tegljača smeštena je posluga i 60 metaka u 15 sanduka. Na krovu tegljača postavljen je protivavionski mitraljez. Maksimalna brzina kretanja tegljača je 90 km/h.

U drugoj polovini osamdesetih godina firma ARMSCOR počela je radove na konstruisanju samohodne varijante topa-haubice kalibra 155 mm, a 1988. godine samohodni top-haubica uveden je u naoružanje KoV Južne Afrike.

Artiljerijski deo novog samohodnog topa-haubice praktično nije menjan u odnosu na vučnu varijantu. Konstruisana je nova gasna kočnica i ugrađen je izbacivač. Konstrukcija obezbeđuje kružno okretanje kupole, ali se preporučuje da se za maksimalne brzine gađanja ograniče uglovi u horizontalnoj ravni na 40° levo i desno. Uglovi elevacije su -5° do $+70^\circ$.

Donosač metaka je hidrauličnog tipa, radi u poluautomatskom režimu, a postavljen je sa leve strane zatvarača. Obezbeđuje potiskivanje projektila u ležište metka pri svim uglovima elevacije, dok se barutna punjenja stavljaju ručno.

Brzina gađanja je 4 metka u minuti u toku 15 minuta. Specijalni pokazivač zagrejanosti cevi signalizira o nedozvoljenom nastavljanju gađanja, odnosno o potrebi za hlađenjem cevi. Maksimalna brzina gađanja je 3 metka za 21 sekundu. Maksimalni domet je 30 km za parčadno-razorni projektil M53A1 i 39 km za ERFB-BB. Oruđe može da otvori vatru za 1 minut nakon zaustavljanja, a prevođenje u marševski položaj ne traje više od 30 sekundi. Za dodatnu stabilizaciju oruđa pre gađanja postavljaju se četiri pomoćna ašova kojima se upravlja iz kabine. Vozač se nalazi u prednjem delu vozila, motor je u srednjem, a borbena odeljenja u zadnjem delu. Vozilo je potpuno oklopljeno. Položaj vozača u prednjem delu odabran je radi postizanja maksimalne udobnosti pri upravljanju kao i preglednosti. Za osmatranje vozač može koristiti specijalne otvore ili periskop.

Prednji deo samohodnog topa-haubice G-6 izrađen je u obliku klina, čime je povećana pokretljivost preko teško prohodnih zemljišta. U slučaju po-

trebe moguće je rušenje manjeg drveća. Unutrašnjost prednjeg dela vozila je iskorišćena za smeštanje dela borbenog kompleta municije (14 metaka).

Motorno-transmisiono odeljenje se nalazi iza odeljenja vozača. Pogon vozilu obezbeđuje vazduhom hlađeni dizelmotor sa turbo/predsabijanjem snage 92 kW. Hodni deo samohodnog topa-haubice G-6 sačinjava osam pogonskih točkova. Neki delovi su kopirani iz hodnog dela oklopnog transportera RATTLE koji je u naoružanju KoV Južnoafričke Republike. Stručnjaci smatraju da je ovakvo vozilo odgovarajuće za uslove kada u zemlji ne postoji razvijena železnička mreža koja je potrebna za operativno prebacivanje trupa na velika rastojanja. Na takvom zemljištu samohodni top-haubica je pokretljiviji od nekih tenkova. Mada je formula točkova hodnog dela 6x6 vozilo može da koristi 6x4 ili 6x2. Maksimalna brzina je 90 km/h, a po ispresecanom zemljištu 40 do 45 km/h. Vozilo po pesku može da savlađuje uspone do 35° . Autonomija vožnje je 600 km.

U borbenom odeljenju i kupoli smešteni su komandir, nišandžija, punilac i donosač municije. Tu je, takođe, smešten veći deo borbenog kompleta municije koji se sastoji od 45 projektila i 50 barutnih punjenja. Članovi posade mogu dejstvovati iz ličnog naoružanja kroz postojeće puškarнице. Na kupoli su ugrađeni mitraljez kalibra 12,7 mm i minobacač kalibra 81 mm za gađanje dimnim minama.

Za integraciju u novi sistem za upravljanje vatrom, specijalno za samohodni top-haubicu G-6, kalibra 155 mm konstruiše se oprema za navigaciju i topografsko vezivanje. Predviđena je i ugradnja sistema za zaštitu od oružja za masovno uništavanje.

Od početka 1990. godine južnoafrički stručnjaci rade na konstrukciji novog artiljerijskog dela samohodnog oruđa sa dužinom cevi od 52 kalibra koja odgovara uslovima poslednjeg dogovora

u okviru NATO o balistici oruđa kalibra 155 mm. Probni primerci cevi dužine 52 kalibra bili su predstavljeni na izložbi 1992. godine. U prvoj polovini 1993. godine obavljena su ispitivanja vučne i samohodne varijante. Pretpostavlja se da će se za ove potrebe razviti novo šestomodulno barutno punjenje. Predviđa se i izrada nove municije. Domet projektilom XM910 HE-BB iz oruđa sa dužinom cevi od 45 kalibara je 40,2 km, a sa dužinom cevi od 52 kalibra iznosi 42,2 km.

Zaključak

Većina država na Zapadu bila je prinuđena da rešavaju problem poboljšanja tehničkog nivoa cevne artiljerije bitnim modifikacijama, jer su balističke karakteristike bile zastarele i nisu odgovarale savremenim zahtevima. U nekim slučajevima rešenje je traženo u povećavanju dužine cevi koje su postavljane na lafete koje su SPACE RESEARCH CORPORATION i druge firme konstruisale za neke druge sisteme.

Na primer, španski stručnjaci predlažu da se za modernizaciju vučne haubice M114, kalibra 155 mm koriste cevi koje su konstruisane za vučni top-haubicu ST-45, kalibra 155 mm. Konstruktori tvrde da će, pored poboljšanja taktičko-tehničkih karakteristika, novi sistem moći da gađa svim vrstama municije, uključujući i ERFB-BB biti pouzdanije i jednostavnije za eksploataciju. Uz to će se broj članova posluge sa 11 (kod vučne haubice M114) moći smanjiti na 7.

U naoružanju više zemalja, uglavnom »trećeg sveta«, duže vreme je bio sovjetski vučni top M46, kalibra 130 mm, ali je početkom devedesetih godina njegov domet postao nezadovolja-

vajući. Space research corporation je predložila da se, kao jedna od varijanti modernizacije, ugradi cev kalibra 155 mm, dužine 45 kalibara sopstvene proizvodnje na postojeći lafet. Pored povećanja dometa za 45% i efikasnost projektila na cilju se povećava za oko tri puta, kada se koriste projektili ERFB. Predviđeno je da se na cev ugradi nova, veoma efikasna dvokomorna jednoredna gasna kočnica. Konstrukcija kulevke i zatvarača nije menjana. U modernizovanoj varijanti korišćeni su novi protivtrajajući uređaji, mehanizam za uravnoteženje i nišanske sprave.

Početkom devedesetih godina donesena je odluka o proizvodnji novog oruđa — vučnog topa M46/84, kalibra 155 mm u Jugoslaviji. Irak je otpočeo modernizaciju vučnog topa kalibra 130 mm po predlozima Space research corporation, ali je ove radove prekinuo rat u Zalivu. U ovom vremenu ne isključuje se mogućnost sprovođenja sličnih mera i u KoV Kine (vučni top kalibra 130 mm. tip 59-1, koji je licencna varijanta rus-kog oruđa M46).

Stručnjaci smatraju da artiljerijski sistemi sa dugim cevima, koji su konstruisani u poslednjih 20 godina, odgovaraju osnovnim zahtevima za artiljerijska oruđa u savremenim borbenim uslovima. Neka oruđa, kao što su južnoafrička G-5 i G-6, austrijsko GHN-45, singapursko FH-88 i kinesko WAC 21 i danas se smatraju najboljim artiljerijskim sistemima. Njihove konstrukcije ostavljaju prostora za modernizacije, tako da bi im se vek upotrebe produžio do 2005—2010. godine.

Taktičko-tehničke karakteristike samohodnih i vučnih artiljerijskih sistema sa povećanom dužinom cevi prikazane su u tabelama 1 i 2.

P. Marjanović

Vučni artiljerijski sistemi sa povećanom dužinom cevi

Firma — konstruktor (zemlja)	Oznaka oruđa	Kalibar (mm) dužina cevi/ kalibara	Masa oruđa (kg)	Maks. brzina gađanja (meta- ka/min)	Maks. domet (km)	Sektor gađanja (stepeni) po ver- tikali (po hori- zontali)	Snaga pomoćnog motora (kW)	Brzina automom- nog kretanja (km/h)	Zemlje u čijem su naoružanju
SOLTAM (Austrija)	GH N-45	155/45	12 382	12	39,6	od —4 do +72 (70)	92	25—30	Austrija, Jor- dan, Irak, Iran, Libija
SOLTAN (Izrael)	Mod. 845P	155/45	11 700	4	39,6	od —3 do +70 (78)	58,8	8—17	Izrael
SITEKSA (Spanija)	155/45 ST	155/45	11 500	5	39,6	od —4 do +72 (70)	95,6	40	Probno oruđe
VAMMAS (Finska)	155 K83	155/45	11 700	10	39,6	od —3 do +70 (80)	58,8	17	Finska
NORINCO (Kina)	WAC21	155/45	9 500	5	39	od —5 do +72 (30/40)	56,6	18	Kina
ORDNANCE DEVEL- OPMENT AND ENGI- NERING (Singapur)	PH-88	155/52	13 200	6	40	od —3 do +70 (60)	70,65	16	Spremno za proizvodnju
LITTLETON ENGI- NERING WORKS (Južnoafrička Repub- lika)	G-5	155/45	13 700	4	39	od —3 do +75 (65/82)	58,14	17	Južna Afrika, Irak

Samohodni artiljerijski sistemi sa povećanom dužinom cevi

Firma — konstruktor (Zemlja)	Oznaka sistema	Kalibar (mm) (dužina cevi u kalibrima)	Masa u borbenom stanju (t)	Posada (ljudi)	Borbena komplet (kom.)	Maks. brzina gađanja (meta- ka/min.)	Uglovi navođenja Po vertikali (po horizontali)	Maksimalni do- met (km)	Maksimalna br- zina (km/h)	Autonomija vo- žnje (km)	U ključnom naoru- žanju
SOLTAM — (Izrael)	SLAM- MER	155 (45)	—	4	75	9	—	39,6	—	—	spreman za prolaz- vodnju
NORINCO — (Kina)	WAC21	155 (45)	32	3	36	5	—3 do +72 (360)	39	56	450	Kina
ZAVODI TAZKE- HO STROJARS- TVA (Slovačka Republika)	ZUZANA	155 (45)	28	4	40	5	—3,5 do +70 (60)	39,6	80	700	Slovačka Republika
COMBINED SERVICE FORCES (Tajvan)	XT-89	155 (45)	—	5	—	5	0 do +70 (60)	35	56	349	Tajvan
LITTLETON EN- GINERING WORKS (Južnoafrička Re- publika)	G-6	155 (45)	46	5	45	5	—5 do +75 (90)	39	90	600	Južnoaf- rička Re- publika
(Jugoslavija)	NORA	155 (45)	30,4	5	36	5	—3 do +50 (80)	38,9	80	500	Razvoj o- bustavljen

RUSKI PROTIVOKLOPNI TOP SPRUT-B 125 mm*

Pored razvoja vođenih i nevođenih protivoklopnih raketnih sistema, ruski vojni stručnjaci posvećuju veliku pažnju usavršavanju cevne artiljerije. Po njihovom mišljenju, u određenim vidovima ratnih dejstava, cevna artiljerija je najefikasnije borbeno sredstvo protiv oklopnih vozila. Poboljšanje taktičko-tehničkih karakteristika protivoklopnih topova danas se ostvaruje povećanjem probojne moći oruđa na račun povećavanja njihovih kalibara i početnih brzina protivoklopnih topovskih projektila.

Krajem osamdesetih godina ruski stručnjaci su razvili efikasan, pouzdan i relativno jeftin vučni top kalibra 125 mm sa glatkom cevi i pogonskim motorom za samostalno kretanje koji je nazvan »Sprut-B« (hobotnica).

Ovaj top efikasno uništava pokretne i nepokretne oklopne ciljeve na zemlji neposrednim nišanjem ili sa zaklonjenih položaja. Top može da ostvari i kružno dejstvo. Konstruktivne karakteristike topa »Sprut-B« omogućuju da projektil kalibra 125 mm razvije veliku početnu brzinu, čime se znatno povećava probojnost oklopa. Po toj karakteristici protivoklopni top kalibra 125 mm sa glatkom cevi bitno se razlikuje od protivoklopnog topa sa ožlebljenom cevi.

Velika brzina gađanja (6 do 8 projektila u minuti) obezbeđena je pouzdanim radom automatike i podesnim razmeštajem uređaja za nišanje po vertikali i horizontali. Primenom specijalnih mehanizama postiže se minimalna potrebna sila na ručici točka pri podizanju i okretanju cevi, pa nišandžija može duže vreme da dejstvuje bez zamaranja pri gađanju pokretnih ciljeva. Široki i brzi manevar vatrom postignut je zahvaljujući lafetu sa tri kraka koji omogućuje postizanje velikih uglova navođenja po vertikali od -6°

do $+25^{\circ}$ i 360° po horizontali. Za okretanje cevi u obe ravni koristi se mehanizam pužnog tipa.

Ovaj top ima zatvarač sa vertikalnim klinom i mehaničkom (kopirnom) poluautomatikom. Zaštitni mehanizam (osigurač), smešten je u donjem delu zatvarača i ne dozvoljava opaljivanje kada je nepotpuno zabravljen zatvarač. Pre ispaljivanja prvog metka zatvarač se otvara ručno, a kasnije automatski dejstvom trzanja. Pri tome se izbacuje prazna čaura i zapinje udarač. Radi sprečavanja pojave povratnog plamena posle ispaljivanja metka, postoji specijalni mehanizam za prođuvavanje kanala cevi. Radi smanjivanja uticaja različitih meteoroloških uslova na preciznost gađanja, na cevi je postavljena specijalna toplotno-zaštitna obloga.

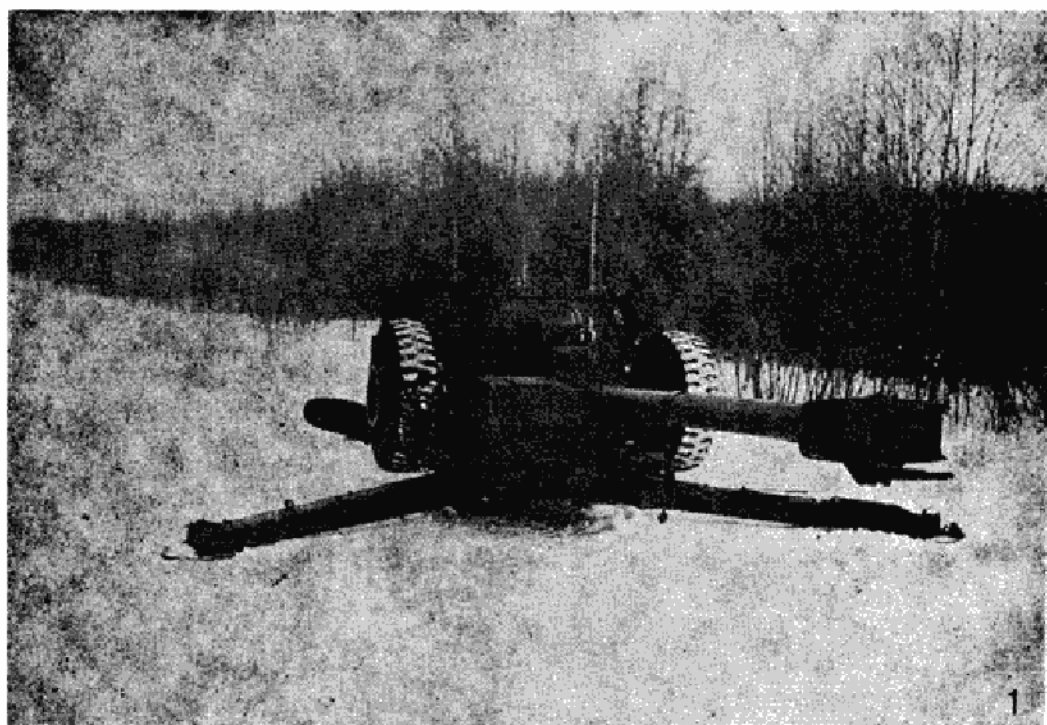
Za gađanje iz protivoklopnog topa »SPRUT-B« koristi se municija protivoklopnog topa D-81 sa dvodelnim metkom. Kada se gađa vođenim projektlima ZUBK-14, top se kompletira specijalnim uređajem tipa 9S53, koji omogućuje precizno pogađanje cilja na daljini do 4 km.

Za postizanje preciznog gađanja protivoklopni top »SPRUT-B« ima različite nišanske sprave. Danju se za neposredno nišanje koristi optički nišan OP4M-48A, a noću nišan 1PN53-1. Top ima i mehanički nišan 2C33, koji se koristi zajedno sa panoramom PG-1M za gađanje sa zaklonjenih položaja, a koristi se kada optički nišan ne funkcioniše.

Protivtrajući uređaj topa pouzdano koči i vraća u početni položaj trzajuće delove i znatno smanjuje dejstvo trzanja na lafet. Sastoji se od hidraulične kočnice trzanja i vraćanja vretenastog tipa i pneumatskog povratnika. Svi ovi mehanizmi smešteni su iznad cevi u koritu kulevke.

Top ima mehanizovani sistem za prevođenje iz borbenog položaja u marševski i obratno. Ovaj sistem sastoji se od hidraulične dizalice i hidrauličnih cilindara. Pomoću dizalice lafet se po-

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj—jun 1994.



Sl. 1 — Protivoklopni top SPRUT-B 125 mm

diže na određenu visinu koja je potrebna za širenje ili sklapanje krakova, a zatim se spušta na zemlju. Hidraulični cilindri služe za podizanje topa na maksimalni klirens, kao i za podizanje i spuštanje točkova. SPRUT-B može se prevoditi iz borbenog položaja u marševski, i obratno, na dva načina: hidrauličnim motorom sa motornim pogonom i pomoću ručne pumpe. Vreme prevođenja topa iz marševskog položaja u borbeni je 1,5 minut, a obratno — 2 minuta.

Ovaj top može se vući kamionom (npr. URAL-4320) ili višenamenskim tegljačem na gusenicama MT-LB. U tom položaju klirens iznosi 360 mm, a maksimalna brzina kretanja putem je 80 km/h.

Specifičnost konstrukcije ovog topa predstavlja sopstveni pogonski motor za autonomno kretanje na bojištu, čime se znatno poboljšavaju manevarske sposobnosti topa SPRUT-B u bor-

benoj situaciji. Pogonski agregat izrađen je na bazi motora MeM3-967A sa hidrauličkim pogonom. Smešten je sa desne strane ispod posebne obloge. Sa leve strane, na ramu, nalazi se sedište vozača i uređaj za upravljanje kretanjem. Obrtni moment između sklopova transmisije prenosi se kardanskim vratima. Maksimalna brzina samostalnog kretanja na bojištu po suvim putevima je 10 km/h. Pri tome je autonomija vožnje 50 km, a prevoženi borbeni komplet municije sadrži 6 metaka.

U sistemu oslanjanja koriste se elastični elementi torzionog tipa. Na točkovima su postavljeni pneumatici sa univerzalnim protektorom. Kočione mehanizme poseduje svaki točak, čime se poboljšavaju manevarske karakteristike i stabilnost topa pri kretanju van puteva. Hidraulički teleskopski amortizeri dvostranog dejstva, koji su postavljeni na dva pogonska točka, bitno poboljšavaju pokretljivost.

Električni uređaj obezbeđuje osvetljenje, opaljivanje metka i puštanje motora u rad prilikom samostalnog kretanja topa. Akumulator je postavljen na ramu ispod sedišta vozača.

Za zaštitu članova posluge i mehanizama topa, od pogodaka zrna i parčadi artiljerijskih projektila i mina, top SPRUT-B poseduje oklopni štiti na čijoj levoj strani postoji otvor za panoramski nišan. Borbeni posluži čini 7 vojnika.

Protivoklopni top SPRUT-B kalibra 125 mm sa glatkom cevi ima izvršne taktičko-tehničke karakteristike, jednostavne je konstrukcije, pouzdan je i nema velikih zahteva u eksploataciji.

Taktičko-tehničke karakteristike protivoklopnog topa SPRUT-B

Domet protivoklopnog potkalibarnog projektila pri neposrednom gađanju cilja visine 2 m (m)	preko 2000
Maksimalni domet parčadno-razornim projektilom (m)	12200
Maksimalni ugao elevacije (stepeni)	25
Maksimalni ugao depresije (stepeni)	6
Horizontalni ugao gađanja (stepeni)	360
Dozvoljeni režim neprekidnog gađanja u toku jednog časa (metaka)	100
Brzina vertikalnog navođenja cevi (stepeni/s)	ne ispod 0,5
Brzina horizontalnog navođenja cevi (stepeni/s)	ne ispod 2
Maksimalni ugao savlađivanja uspona pri samostalnom kretanju na suvom i tvrdom tlu (stepeni)	15
Dužina topa u položaju za vuču (mm)	7120
Visina topa u položaju za vuču (mm)	2090
Visina linije vatre (mm)	925
Raspon točkova (mm)	2200
Masa u položaju za vuču (kg)	6375

TERENSKO IZVIĐAČKO INŽINJERIJSKO GUSENIČNO VOZILO »IRM«*

Inženjerijsko izviđanje zemljišta važan je elemenat borbenog obezbeđenja. Od toga da li je pravovremeno i potpuno obavljeno inženjerijsko izviđanje i od verodostojnosti rezultata izviđanja zavisi uspeh izvršavanja borbenog zadatka. Proces prikupljanja potrebnih informacija o zemljištu je složena, kompleksna, a u borbenim uslovima i vrlo opasna aktivnost. Pored toga, borbeni dejstva mogu da se dešavaju i na zemljištu bez puteva, gde postoji niz prirodnih prepreka, što još više otežava i usložava proces izviđanja zemljišta.

Za rešavanje ovoga zadatka neophodna su određena tehnička sredstva kao što je izviđačko inženjerijsko vozilo IRM namenjeno za inženjerijsko izviđanje zemljišta, komunikacija i vodenih prepreka. Ruski stručnjaci smatraju da u svetu ne postoji vozilo koje je slično ovome.

IRM je oklopno amfibijsko vozilo na gusenica u čijoj su konstrukciji korišćeni sklopovi i agregati borbenog vozila pešadije BMP-2. Na vozilu IRM postavljeni su stacionarni i prenosni instrumenti za izviđanje, koji omogućuju dobijanje podataka o vodenim preprekama (širina, dubina, brzina toka, relativna čvrstoća dna, postojanje navigacijskih prepreka i debljina leda), prohodnosti zemljišta, postojanju eksploziva u zemlji i na prelascima preko vode (gazovima). Takođe, mogu se izviđati rejon kontaminirani hemijskim radioaktivnim materijama. Izviđačko vozilo IRM može se prevoziti železnicom, pomorskim i drugim transportnim sredstvima.

Oklopno telo vozila izrađeno je od čelika koji obezbeđuje zaštitu članova posade od oružja manjeg kalibra. Pre-

ma razmeštaju mehanizama i opreme, unutrašnjost vozila je podeljena na tri odeljenja — upravno, borbeno i motorno i četiri odseka — čeon, levi i desni (za gorivo) i zadnji. Borbeno i upravno odeljenje su NBH zaštićeni.

Motorno odeljenje smešteno je u zadnjem delu vozila i povezano je sa odeljenjem za posadu preko otvora u vertikalnom pregradnom zidu koji se nalazi između ta dva odeljenja. Motorno odeljenje je sa gornje strane pokriveno nadmotornom pločom, koja ima dva otvora za održavanje sistema. Za ulaz i izlaz članova posade na krovu vozila postoje tri otvora, a na podu otvor za prinudni izlaz.

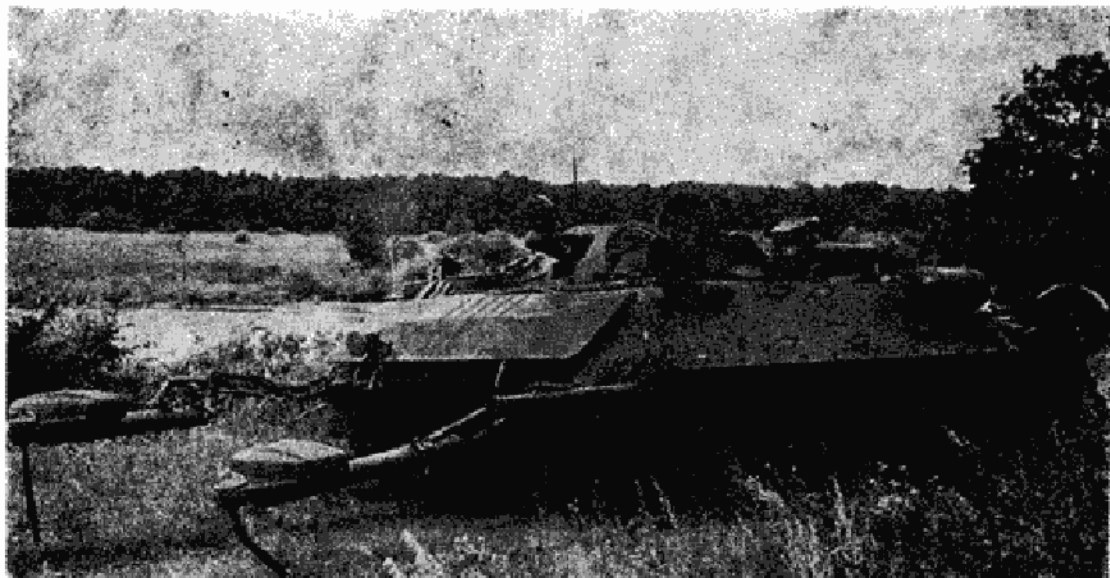
Kretanje vozila preko vodenih prepreka ostvaruje se pomoću dva propelera smeštena u zadnjem delu tela vozila koji omogućuju kretanje vozila napred-nazad i okretanje u mestu pri obrtanju propelera u različitim smerovima.

Za vizuelno izviđanje i orijentaciju na zemljištu vozilo ima periskop PIR-451, aviohorizont AGI-1s, opremu za navigaciju TNA-3, a i osmatračke instrumente TNPO-160, TNP-360 i TVN-25M.

Izviđanje vodenih prepreka je jedan od najsloženijih zadataka za vozilo IRM. Za takve zadatke vozilo je opremljeno izviđačkim inženjerskim ehologom koji omogućava tačno merenje dubine vodene prepreke od 5,5 do 20 m, registrovanje profila dna i otkrivanje prepreka u vodi. Eholog se sastoji od automatskog registratora i tri hidroakustička pretvarača. Dva od njih smeštena su na dnu prednjeg dela tela vozila u odeljenju za posadu, a treći na ploči volobrana. Eholog se, takođe, može koristiti i za ocenjivanje relativne čvrstoće dna vodene prepreke (prema karakteristikama registrovanih eho-signalna na elektrotermičkom papiru).

Za izviđanje minskih prepreka vozilo je opremljeno širokozahvatnim minotragačem RSM-2. Pomoću njega mogu se otkriti mine čija su tela ili elementi upaljača izrađeni od formagnetnih materijala (na dubini od 0,3 m pri brzini vodenog toka 3 do 5 km/h).

Posada izviđačkog vozila IRM može da obavlja izviđanje i kada napusti vozilo. Zbog toga je vozilo opremljeno specijalnim prenosnim sredstvima: minotragaćima RVM-2M i IMP-2, periskopom za izviđanje PIR, daljinomerom



Sl. 2 — Inženjersko gusenično vozilo IRM

DSP-30, busolom PAB-2M, dvema radio-stanicama R-147, penetrometrom (meračem prodornosti) PR-1 i bušilicom za led sa lenjirom za merenje debljine leda.

Za obezbeđenje normalnih radnih uslova posade, vozilo je opremljeno specijalnim uređajima kao što su: regenerator, protivpožarni sistem, pumpa za crpljenje vode iz vozila, sistem NBHO i uređaj za stvaranje dimne zavesa.

Regenerator služi za regenerisanje vazduha u odeljenjima gde se nalaze članovi posade kada se vozilo kreće preko kontaminiranog zemljišta. Vazduh se regeneriše pomoću specijalne materije VPV-1. Jedno punjenje regeneratora kasetama sa ovom materijom obezbeđuje normalne radne uslove u hermetizovanom vozilu do 4 časa. Regenerator se može uključiti prekidačem na razvodnoj tabli ili automatski na signal uređaja za radijaciono i hemijsko izviđanje.

Protivpožarna oprema izviđačkog vozila IRM radi automatski, a sastoji se od dve boce sa sredstvom za gašenje požara i četiri termodavača. Pri pojavi požara termodavači se zagrevaju i aktiviraju pirotehničke patrone koje se nalaze na bocama. Istovremeno, protivpožarni sistem prekida rad motora i uključuje elektromotore ventilatora koji se nalaze u upravnom odeljenju.

Uređaj za crpljenje vode omogućuje da se vozilu obezbedi plovnost, čak i ako je pogođeno prilikom prelaska preko vodene prepreke. Veliku efikasnost ovog uređaja obezbeđuju dve crpne pumpe čiji je kapacitet 80 l/min i 1000 l/min.

Sistem za NBHZ štiti članove posade i opremu od uništavajućih faktora oružja za masovno uništenje. Sastoji se od uređaja za filtriranje i ventilaciju, podsklopova za hermetizaciju, izvršnih mehanizama i kontrolnih instrumenata. Sistem se automatski aktivira kada na vozilu počinju da dejstvuju uništavajući

faktori nuklearne eksplozije. Velikoj brzini dejstva sistema doprinose veoma osetljivi davači-analizatori i pouzdani izvršni elementi.

Za postavljanje dimnih zavesa vozilo je opremljeno termodimnim uređajem višekratnog dejstva. Kao materija za obrazovanje dima koristi se dizel-gorivo koje se preko mlaznica ubacuje u izduvne kolektore motora. Pri dodiru gasne smeše sa vazduhom dolazi do kondenzacije i formiranja veštačke magle.

Taktičko-tehničke karakteristike vozila IRM

Masa potpuno opremljenog vozila (t)	17,2
Maksimalna brzina (km/h):	
— na putu	52
— na vodi	12
Snaga motora (kW)	220,8
Autonomija vožnje na osnovu goriva (km)	500
Specifični pritisak na tlo (kPa)	69
Širina savlađivanje rova, (m)	2,3
Savlađivanje uspona (stepeni)	36
Visina savlađivanja zida (m)	0,65
Dimenzije vozila (m):	
— dužina	8,22
— širina	3,15
— visina	2,4
Ukupni faktor slabljenja prodiruće radijacije	2,78
Naoružanje (vrsta i kalibar)	mitraljez PKT 7,62 mm
Domet veze (km)	20
Dopušteno talasanje vode (bofor)	3
Rezerva plovnosti (‰)	14
Broj članova posade	6

Jedan od zapaženih kvaliteta izviđačkog inženjerskog vozila IRM je njegova velika autonomnost. Specifičnost zadatka koje obavlja ovo vozilo predviđa i dužu odvojenost od sredstava za

održavanje i opravke. Kako bi se omogućilo da članovi posade samostalno obavljaju te aktivnosti, vozilo je obezbeđeno velikim kompletom rezervnih delova i alata.

Pošto vozilo, pri izvršavanju svojih borbenih zadataka, obično deluje na teško prohodnom zemljištu, kao i na vodi, često izlazi na blatnjave ili oštre obale pa postoji mogućnost zaglavlivanja. Zbog toga je bilo potrebno opremiti vozilo sredstvima koja će omogućiti brzo samoizvlačenje, po mogućnosti bez izlaženja posade iz vozila. U tu svrhu vozilo ima dodatne reaktivne motore sa čvrstim gorivom 9M39. Izbor ovih motora bio je uslovljen činjenicom da pri maloj masi (6,3 kg) i malim dimenzijama (70 mm x 800 mm) ostvaruju potisak od 3060 N i serijski se već proizvode.

Iskustva iz eksploatacije inženjerskog izviđačkog vozila IRM pokazala su da je vrlo efikasno i u najsloženijim uslovima. Opremljeno najsavršenijom inženjerskom izviđačkom opremom, danas je ovo vozilo maksimalno osposobljeno za kompleksno izviđanje zemljišta.

P. Marjanović

SNAŽNI IMPULSNI IZVORI ELEKTRIČNE ENERGIJE*

Sa usavršavanjem naoružanja i vojne tehnike povećavaju se i zahtevi prema sredstvima za njihovo energetsko obezbeđenje. Projektovanje sistema specijalnog naoružanja zahtevalo je razvoj impulsnih izvora električne energije velike snage i velikog energetskog kapaciteta. U osnovne impulsne izvore električne energije spadaju kapacitivni skupljači (KS), superprovodni induktiv-

ni skupljači (SPIS), elektromašinski skupljači (EMS), eksplozivnomagnetni generatori (EMG) i magnetnohidrodinamički generatori (MHDG).

U poslednje vreme, u zemljama članicama NATO-a, pre svega u SAD, aktuelizovani su naponi na rešavanju naučno-tehničkih problema, pored ostalog i fundamentalnog karaktera, u oblasti snažne impulsne energetike.

Kapacitivni skupljači, izrađeni na bazi kondenzatora, smatraju se najsnažnijim impulsnim izvorima električne energije, pouzdani su u radu, raspolazu visokom efikasnošću predaje skupljene energije potrošaču i imaju mogućnost promene parametara izlaznog impulsa u širokim granicama. Njihova šira primena u svojstvu impulsnih izvora električne energije za pokretne sisteme specijalnog naoružanja do nedavno je bila otežana zbog malog specifičnog energetskog kapaciteta i nedovoljnog nivoa akumulirane energije ranije razvijenih kondenzatorskih baterija. U novije vreme postignuti su značajni uspesi u razvoju kondenzatora novog tipa.

Istraživanja su pokazala da je specifični energetski kapacitet kondenzatora, koji može da radi sa frekvencijom od 1 Hz i obezbeđuje 10^4 ciklusa punjenja-pražnjenja, dostigao 3,3 J/g. Danas se izrađuju kondenzatori sa relativno malim specifičnim energetskim kapacitetom. Oni su u stanju da rade sa frekvencijom oko 1000 Hz, uz obezbeđenje do 10^9 ciklusa punjenja-pražnjenja. U toku je razvoj kondenzatora sa specifičnim energetskim kapacitetom 10 W/g, koji će moći akumulirati energiju do $5 \cdot 10^8$ J (na 1 m³ zapremine). Istovremeno, vrše se istraživanja kako bi se smanjile gabaritno-težinske karakteristike prekidača, pri čemu se prednost daje kompaktnim tvrdotarućim prekidačima. Korišćenje SPIS u sistemima specijalnog naoružanja povezano je sa ostvarivanjem visoke gustine akumulirane energije magnetnog polja i snage impulsa, efikasnim procesom pretvaranja energije, brzom reakcijom pri prelasku s jednog radnog režima na drugi,

* Prema podacima iz časopisa TEHNIKA I VOORUŽENJE, 4/91.

mogućnošću dugotrajnog čuvanja energije i širokim dijapazonom promene vremena radnog ciklusa.

U SAD se razvojem SPIS za kosmičke sisteme bavi više firmi i univerziteta prema ugovoru s ministarstvom za energetiku. Istražuje se mogućnost izrade skupljača dva tipa — toroidnog i solenoidnog.

Količina akumulirane energije danas je dostigla 10^9 J. U okviru razvojnog programa radi se na izradi superprovodnog skupljača za energetsko obezbeđenje specijalnih zemaljskih sistema. Takav SPIS sačinjava solenoidni namotaj od nobijumskog provodnika koji je potopljen u tečni helijum. Očekuje se da će ovakav skupljač moći akumulirati 10^{12} do 10^{13} J električne energije, koju će u borbenom režimu predavati potrošaču sa srednjom snagom 10^9 W u toku 600 sekundi. Ukupna vrednost jednog uređaja procenjuje se na 700 miliona dolara. Od 1987. godine dve američke firme rade na izradi SPIS. Prva etapa programa, predviđena da traje dve godine, obuhvata razradu konceptualne zamisli opitnog uzorka, izradu i ispitivanje njegovih posebnih komponenata, razvoj tehnologije izrade i montaže, procenu troškova i izbor mesta proizvodnje.

U drugoj etapi programa, koja će trajati tri godine, učestvovaće firma koja pokaže najbolje rezultate u prvoj etapi. U okviru programa predviđa se izrada opitnog uzorka SPIS energije $7,2 \cdot 10^{10}$ J, koji će biti sposoban da funkcioniše u rasponu snage od 10^7 W u toku 7200 sekundi do $4 \cdot 10^8$ W u toku 100 sekundi.

Posle završetka izrade planirana su jednogodišnja sveobuhvatna ispitivanja SPIS radi potvrde osnovnih principa njegovog rada i za izradu potrebne dokumentacije. Na kraju druge etape mora biti doneta odluka o izradi uređaja sa potpunim obimom snage. Planira se 3 do 7 komada SPIS koji će biti razmešteni na teritoriji SAD ili drugih zemalja. Ovako mali broj skupljača specijalisti objašnjavaju kao posledicu vi-

soke cene uređaja. Predviđeno je da svaki od njih obezbeđuje električnom energijom tri do šest sistema specijalnog naoružanja.

Superprovodni induktivni skupljači, u tehničkom smislu, baziraju se na dva programa SPIS koji su razvijeni osamdesetih godina za primenu u civilne svrhe. Prvi projekat predviđao je izradu SPIS prečnika 1000 m i visine 19 m, proračunatog za energiju $1,8 \cdot 10^{13}$ J i struju jačine $2 \cdot 10^{15}$ A. Drugi projekat predviđao je izradu SPIS prečnika 946 m i visine 18 m za akumuliranje energije $1,98 \cdot 10^{13}$ J i struju jačine $2 \cdot 10^5$ A. U oba projekta SPIS je oblika solenoidnog namotaja od nobijumskog provodnika potopljenog u tečni helijum.

Izrada SPIS je složen tehnološki zadatak čije rešenje, u prvom redu, zavisi od razvoja helijumskog sistema hlađenja s visokim stepenom pouzdanosti. Velike nade polažu se u izradu novih visokotemperaturnih superprovodnih materijala. U klasu elektromašinskih skupljača spadaju unipolarni generator (UG), komprimovani impulsni alternator (KIA) i inercioni skupljač energije (ISE). UG je generator istosmerne struje sa rotorom izrađenim u obliku metalnog diska koji se okreće u magnetnom polju čije su magnetne linije paralelne sa osam rotora. Električna struja se dovodi preko četkica od kojih je jedna povezana sa osom, a druga sa spoljašnjim obodom diska. Na osnovu priključenja opterećenja i skupljanja energije u intervalima vremena između priključivanja, u generatoru dolazi do periodičnog pretvaranja kinetičke energije rotora u snažne električne impulse. Američki stručnjaci razvili su UG sa čeličnim rotorom, energije do $2 \cdot 10^7$ J čija je masa $2 \cdot 10^3$ kg. Takav generator je sposoban da preda potrošaču električni impuls jačine $1,5 \cdot 10^6$ A u jednokratnom režimu i $0,5 \cdot 10^6$ A u režimu ponavljanja. Izrađen je i prošao prethodna ispitivanja UG s akumuliranom energijom od $25 \cdot 10^7$ J, sposoban da generiše električne impulse jačine $3,2 \cdot 10^6$ A i napona

$5 \cdot 10^6 \text{ V}$. U današnje vreme izrađuje se UG energije $1,2 \cdot 10^6 \text{ J}$ (napon do 500 V) sa superprovodnim sistemom pobude.

Prema ocenama američkih stručnjaka, komprimovani impulsni alternator je jedan od najperspektivnijih izvora električne energije za formiranje impulsa koji traju manje od jedne milisekunde. On je, u stvari, generator naizmenične struje. Princip njegovog rada zasniva se na zakonu elektromagnetne indukcije i povezan je s impulsnim pretvaranjem kinetičke energije rotora u energiju sabijenog (komprimovanog) magnetnog polja s istovremenim izdvajanjem jednog dela u potrošač. Konstrukcija KIA sadrži pokretne i nepokretne elemente koji su smešteni na rotoru i statoru. U procesu uzajamnog pomeranja namotaja menja se veličina i smer magnetnog fluksa pobude, što dovodi do skokovitog narastanja napona i jačine struje. To omogućava da se na izlazu iz generatora dobije više kratkih snažnih impulsa pri periodičnom ponavljanju procesa zbog kretanja rotora.

U poslednje vreme u SAD je izrađen KIA, predviđen za energiju $2 \cdot 10^6 \text{ J}$. Napon generatora je $6 \cdot 10^3 \text{ V}$, jačina struje $7,1 \cdot 10^4 \text{ A}$, specifični energetska kapacitet $3,8 \text{ J/g}$. Razvija se, takođe, KIA sa energijom $3 \cdot 10^7 \text{ J}$.

Osnovu konstrukcije inercionog skupljača energije predstavlja zamajac u obliku prstena ili cilindra, koji se obrće u magnetnom polju. Zamajac se pogoni pri njegovom priključenju na izvor energije. Na takav način ISE se može šematski predstaviti kao »motor-zamajac-generator«. Smatra se da povećanje količine energije koja je prikupljena zamajcem, može da se ostvari sa visokim brzinama obrtanja i povećanjem specifične čvrstoće materijala od kojeg je izrađen zamajac. U vezi s tim, najširu primenu su dobili zamajci izrađeni od kompozitnih materijala, pa je na eksperimentalnom uzorku zamajca postignut specifični energetska kapacitet od 878 J/g .

Prema utvrđenim planovima u SAD se aktivno razrađuje koncepcija korišćenja ISE za sisteme kosmičkog naoružanja. U jednoj od varijanti ISE će sačinjavati sistem od četiri zamajca, koji će imati ukupni energetska kapacitet od 10^{10} J i sposobnost za generisanje impulsa snage od 10^8 W i trajanja 100 s . Zamajci će biti razmešteni po određenoj šemi radi uzajamne kompenzacije momenata. Masa takvog sistema iznosila bi $28 \cdot 10^3 \text{ kg}$.

Eksplzivnomagnetni generator sastoji se od solenoida, jezgra i punjenja eksplozivne materije (EM). Solenoid je izrađen od nekoliko namotaja bakarnog provodnika koji, prilikom propuštanja električne struje iz spoljašnjeg izvora, stvara magnetno polje. Jezgro predstavlja cilindar od aluminijuma u koji je upresovano punjenje brizantnog eksploziva.

Pri aktiviranju eksplozivnog punjenja jezgro se brzo premešta u pravcu solenoida sabijajući magnetno polje. Kao rezultat, na izlazu iz generatora se dobija snažni električni impuls. To je generator jednokratnog dejstva, pošto od momenta presecanja jezgrom prvog navoja solenoida dolazi do razaranja EMG. U SAD je razvijen EMG sa specifičnim energetska kapacitetom 10^{10} J/m^3 i specifičnom snagom 10^{14} W/m^3 . Magnetohidrodinamički generator (MHDG) predstavlja uređaj koji koristi metodu direktnog pretvaranja toplotne energije u električnu, a sastoji se od kanala duž kojeg se kreće elektroprovodna tečnost ili plazma, namotaja koji obrazuje poprečno magnetno polje i elektroda koje su namenjene za odvod električne struje.

U SAD se aktivno radi na izradi MHDG za kosmičke sisteme, koji je smešten zajedno s nuklearnim reaktorom. Koriste se dva tipa MHDG — otvoreni i zatvoreni. MHDG, koji radi po otvorenom ciklusu, smešten je zajedno sa reaktorom s plazmenom fazom. Reaktor predstavlja sferni omotač iznutra obložen materijalom koji vrši funkciju usporača. Po unutrašnjem obodu reak-

tora smešta se gasovito gorivo na bazi visokoobogaćenog urana, a zatim se kroz kanale istim putem u usporače smešta inertni gas. Usled toga gorivo se potiskuje u centar šupljine, obrazujući kritičnu masu. Izdvojena toplota, nastala cepanjem jezgra urana, zagreva inertni gas koji ističe iz unutrašnjosti reaktora u MHDG, povlačeći za sobom deo neiskorišćenog goriva. Posle prolaska kroz kanal MHDG gas se izbacuje u otvoreni prostor. U aktivnom stanju MHDG će davati potrošaču energiju snage 10^8 do 10^9 W u toku nekoliko stotih delova sekunde. Istraživanja se nalaze u fazi modeliranja šeme i provođenja eksperimenata za potvrdu mogućnosti njene realizacije. MHDG koji rade po zatvorenom ciklusu smeštaju se zajedno sa reaktorom na bazi brzih neutrona, sa sistemom hlađenja smeše tečnog litijuma i helijuma. Smeša iz sistema hlađenja, koja je zagrejana do temperature od 1500°K dolazi u kanal MHDG, na koji je usmereno poprečno magnetno polje napona 1 do 1,5 T. Posle strujanja kroz MHDG radna smeša se vraća u sistem hlađenja.

Očekuje se da će snaga takvog MHDG u aktivnom režimu iznositi $3 \cdot 10^8$ do $6 \cdot 10^8$ W.

L. Bugarski

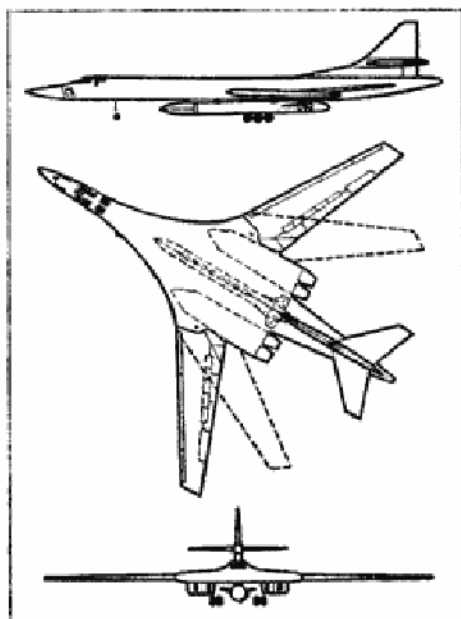
RUSKI STRATEŠKI BOMBARDER Tu-160 KAO FAKTOR ZASTRAŠIVANJA*

Ruski strateški višenamenski i višerežimski bombarder Tu-160 u svojoj klasi je najsavršeniji u svetu. Uveden je u naoružanje RV SSSR-a još 1985. godine i od toga vremena uspešno se nadmeće sa svojim američkim analogom B-1B u svim glavnim eksploatacionim i borbenim osobinama.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj—jun 1994.

Glavni konstruktor aviona Tu-160 V. Bliznjuk smatra da je nerazumno koristiti ovaj model bombardera za ekspanzionističke namere. Kao borbeno sredstvo prvog udara ovaj avion ostavlja za sobom samo beživotnu pustinju, ali kao faktor zastrašivanja obezbeđuje neprikosnovenost ogromnih prostora Rusije.

Američki strateški bombarder B-1B je, uglavnom namenjen za izvođenje borbenih dejstava na malim visinama i sa dozvučnim brzinama. Takođe, name-



Sl. 3 — Bombarder Tu-160

njen je za autonomne prodore u duboku pozadinu protivnika sa mogućnošću sletanja na aerodrome zemalja — saveznika. Za razliku od njega, ruski strateški bombarder Tu-160 konstruktivno je koncipiran uzimajući u obzir geopolitički položaj Rusije, tako da je u stanju napadati ciljeve samostalno ili u sastavu grupe i da se vrati na svoj aerodrom. Vojni stručnjaci sumnjaju u reklamiranu mogućnost skrivenog pilotiranja avionom B-1B na malim visinama, uz

korišćenje informacija o reljefu zemljišta dobijenih od navigacijskog radara. Režim traženja, otkrivanja, identifikacije i nišanja cilja u uslovima slobodnog lova čak i na osnovu podataka dobijenih od avionskog radara sa fazi-ranom antenskom rešetkom, danas se uspešno neutrališu sredstvima vatre-nog i elektronskog protivdejstva PVO do-tičnog cilja.

Pre početka razvoja prvih letelica sa oznakom Tu-160 bilo je potrebno rešiti niz tehnoloških problema. Na primer, bilo je potrebno konstruisati auto-matsku liniju za zavarivanje nosećih elemenata centropлана, izrađenih od ti-tana, pošto se u izradi letelica u svetu nisu još primenjivale hermetizovane ko-more tolikih dimenzija za rad u uslo-vima vakuumu. Takođe, razvijena je tehnologija mehaničke obrade ploča ve-likih dimenzija od titana i aluminijuma radi izrade delova centropлана, kao i dugačkih ploča promenljive debljine za izradu krila.

Zmaj aviona Tu-160 izrađen je po integralnoj šemi sa ravnomernim spa-janjem krila i trupa u jednu celinu. Krila promenljive geometrije omogu-ćavaju avionu let po različitim profili-ma, održavajući visoke letačke karak-teristike na nadzvučnim i na podzvuč-nim brzinama. Vertikalne i horizontal-ne repne površine aviona su jednodel-ne. Za izvršavanje manevara u vazduhu koristi se daljinski električni komandni sistem na bazi analognog računara, po-moću kojeg se pokreću komandne po-vršine.

Strateški bombarder Tu-160 oprem-ljen je sa 4 turbomlazna motora NK-32 sa naknadnim sagorevanjem, čiji je ma-kimalni ukupni potisak 981 kN. Motori su smešteni u dve gondole ispod nepo-kretnih delova krila i imaju podeša-vajuće usisnike vazduha pomoću verti-kalnog klina. Motore je projektovao N. Kuznjecov na osnovu familije motora NK-25 koji su korišćeni kod bombar-dera Tu-22M3. Smatra se da ovi motori zadovoljavaju nivo međunarodnih stan-

darda prema karakteristikama potroš-nje goriva i da nemaju konkurentnih motora prema karakteristikama potis-ka. Konstrukcija motora je jedinstvena jer je prvi put na jednom ruskom mo-toru smanjen IC i radarski odraz, a ko-rišćena su najnovija dostignuća u kon-strukciji mlaznika i usisnika vazduha. Već danas su ruski proizvođači spremni da otpočnu proizvodnju avionskih mo-tora sa ekonomičnijom potrošnjom go-riva.

Pažnju privlači originalna kon-strukcija stajnog trapa. Osnovne noge stajnog trapa uvlače se unazad, pri če-mu se dimenzije ležišta u centralnom delu krila, ograničavaju samo dimenzi-jama noge sa šest točkova. Na američ-kom strateškom bombarderu B-1B os-novni stalni trap uvlači se prema osi simetrije zmaja aviona i zauzima neko-liko kubnih metara prostora u kojem se može smestiti naoružanje.

Elektronika aviona Tu-160 je spe-cijalizovana i kompleksna. U komplet nišansko-navigacijske opreme spadaju astronavigacijski i inercijalnonaviga-cijski sistem, radio-sistemi za bližu i dalju navigaciju, satelitski navigacijski sistem, a i kompleks opreme za elek-tronska protivdejstva koji je omogućio da se iz aviona izostave vatrena sred-stva za samoodbranu. Borbena izdržlj-i-vost (u smislu verovatnoće opstanka prilikom borbenih dejstava) veoma je apstraktan pojam koji se, praktično, ne može primeniti kada je u pitanju veliki avion; pa ipak, zaštita sistema za uprav-ljanje avionom Tu-160 potpuno odgo-vara najstrožim uslovima. Vodovi za upravljanje su ravnomerno razmešteni po unutrašnjoj opšivki aviona i četvo-rostruko su dublirani, a sam sistem ima i mehaničku rezervu. Slično je i sa ce-vovodima za gorivo i sa električnom in-stalacijom.

Avionski radar velikog dometa slu-ži kao davač informacija za nišansko-navigacijski sistem. Sposoban je da ra-di u više režima, kako protiv ciljeva na vodi, tako i na kopnu. Ovaj sistem je

dopunjen optroničkim bombarderskim nišanom za celodnevno dejstvo, sa visokim stepenom rezolucije. Zasluguje pažnju i nivo kompjuterizacije aviona u kojem postoji preko sto digitalnih procesora. Navigator, na svome borbenom mestu, koristi osam računara.

Strateški bombarder Tu-160 opremljen je sistemom za dopunjavanje gorivom u vazduhu, čija je karakteristika da se cev za punjenje uvlači u prednji deo trupa kada se ne koristi u vazduhu. Posadu aviona sačinjavaju četiri člana koja sede u sedištima za izbacivanje K-36LM. Ona omogućuju automatsko izbacivanje u slučaju potrebe na svim visinama i brzinama uključujući i nulte. Informacioni sistem u kabinama predstavlja elektromehanički indikatori i monitori. Volan, kao tradicionalni upravljač kod velikih aviona, zamenjen je upravljačkom palicom kao kod lovačkih aviona.

Piloti ističu da je upravljanje avionom Tu-160 jednostavno i lako, kao i prilazak avionu-cisterni za dopunjavanje gorivom u vazduhu. Piloti, kojima je bilo dozvoljeno da pilotiraju američkim strateškim bombarderom B-1B, navode da je upravljanje avionom Tu-160 ipak lakše. Pri projektovanju radnih mesta članova posade vođeno je računa o ergonomskim zahtevima i udobnosti. U prostoru za odmor pilota, čija je dužina 4 m, predviđeno je mesto za spavanje, toalet i ormar za zagrevanje hrane.

Pri projektovanju strateškog bombardera Tu-160 vođeno je računa i o smanjivanju radarskog odraza. Za razliku od B-1B, tome je doprinela bolje izražena integralna kompozicija letelice, niži smeštaj kabine za posadu i pokretni vertikalni stabilizator koji uklanja procjep između samog vertikalnog stabilizatora i kormila pravca. Time se znatno povećala efikasnost površine rasejavanja radarskog snopa.

Mnogobrojne i veoma skupe mere za smanjivanje efektivne refleksne površine kod američkog bombardera B-1B

veoma su impresivne, na prvi pogled. Pri detaljnom razmatranju došlo se do zaključka da su nepodešavajući usisnici vazduha u obliku slova S i raznovrsne obloge koje apsorbiraju radio-talase (proizvedeći ukupni efekat odbijanja radio-talasa od celokupne konstrukcije aviona kao od vertikalne ploče površine 3 m²), mogu biti efikasni samo u određenom frekventnom dijapazonu radara. Kopneni radari snaga KoV, koji rade u metarskom dijapazonu talasnih dužina,

Uporedni pregled taktičko-tehničkih karakteristika Tu-160 i B-1B

	Tu-160	B-1B
Razmah krila (m)	35,6/55,7	23,8/41,7
Dužina aviona (m)	54,1	44,8
Visina (m)	13,1	10,4
Ugao strele krila (stepeni)	20/65	15/67,5
Maksimalna poletna masa (kg)	275000	205800
Maksimalna dozvoljena masa korisnog tereta (kg)	45000	34000
Maksimalni potisak motora (kN)	4 x 245,25	4 x 133,4
Maksimalna brzina (km/h)	2200	1270
Maksimalni vrhunac leta (m)	15000	15000
Maksimalni dolet (km)*	12300	10900
Maksimalno eksploataciono preopterećenje (G)	2,0	—
Sastav naoružanja u unutrašnjim prostorima:		
— Krstareće rakete (broj x tip)	12 x X-55	—
— Vođeni projektili kratkog dometa (broj x tip)	24 x X-15	24 x AGM-64
Bombe	sa popravkom putanje i slobodno padajuće	

* Za Tu-160 pri maksimalnoj poletnoj masi a za B-1B sa varijantom naoružanja 8 x AGM-64, 8 nuklearnih bombi M-61 i dodatnim rezervoarom za gorivo od 9000 kg u trećem odeljku za bombe.

mogu bez problema da otkriju tako zaštićene objekte u vazдушnom prostoru, kako na velikim daljinama, tako i na malim visinama.

Ruski strateški bombarder Tu-160 naoružan je sa 12 krstarećih raketa. Lanseri za krstareće rakete smešteni su u dva prostora za smeštaj naoružanja. Revolverskog su tipa sa po 6 krstarećih raketa u svakom lanseru. Domet krstarećih raketa je preko 3000 km. Mogu se koristiti i drugi tipovi lansera za različite hiperzvučne aerobalističke rakete X-15, koje su na Zapadu poznate kao AS-16. U sistemu za upravljanje vatrom primenjuju se algoritmi za primenu termonuklearnih bombi, kao i avionskih bombi obične namene, uključujući i one kojima se vrši popravka putanje.

Glavni konstruktor ocenjuje borbeni potencijal strateškog bombardera Tu-160 neograničenim. U ruskom RV praktično nema sistema oružja koji se ne bi mogao iskoristiti na ovom avionu.

Danas je Tu-160 orijentisan na korišćenje krstarećih raketa u okviru borbenih zadataka strateškog značaja. U varijanti bombardera njegov maksimalni ubojni teret iznosi 45 000 kg.

Kompanije »Tupoljev« i »Raduga« učestvuju u okviru programa konverzije i uključivanja Tu-160 u vazduhoplovni kompleks »Burlak«, koji je namenjen za lansiranja različitih komercijalnih tereta u Zemljinu orbitu. Ovaj kompleks isključuje potrebu razvoja novih ili zakupljivanje postojećih skupih poligona i zemaljskih startnih kompleksa. On obezbeđuje formiranje skoro svake orbite i lansiranje sa bilo koje tačke Zemljine kugle u svakom trenutku i u svim vremenskim uslovima. Ovaj kompleks snižava specifične energetske troškove za lansiranje ekvivalentnog tereta za 2 do 3 puta u odnosu na start sa zemlje, a smanjuje i negativna ekološka dejstva. Sredstva za pripremu rakete i kompleksa u celini su autonomna i mobilna.

P. Marjanović

NIU »VOJSKA«, 11002 Beograd, Bircaninova 5
Telefoni: 645-020 i 656-122, lokali: 22-584 i 23-403
Telefax: 644-042, žiro-račun: 40823-849-0-2393

NARUDŽBENICA

Pretplaćujem(o) se na časopise za 1995. godinu, i to:

kompleta

1. VOJNOTEHNIČKI GLASNIK (stručni i naučni časopis VJ) izlazi dvomesečno. Godišnja pretplata 30,00 dinara, polugodišnja pretplata 15,00 dinara;
2. NOVI GLASNIK (vojnostručni intervidovski časopis VJ), izlazi dvomesečno, u koloru, sa posebnim dodatkom uz svaki broj. Godišnja pretplata 60,00 dinara, polugodišnja pretplata 30,00 dinara;
3. VOJNO DELO (opštevojni teorijski časopis) izlazi dvomesečno. Godišnja pretplata 40,00 dinara, polugodišnja pretplata 20,00 dinara.

Broj primeraka časopisa koji se naručuje upisati u narudžbenicu i poslati na adresu: NIU »VOJSKA«, Bircaninova 5, 11002 Beograd.

Za pretplate fizičkih lica ne dostavljamo fakture. Poručioци uplaćuju iznos pretplate na žiro-račun NIU »VOJSKA«: 40823-849-0-2393 (sa naznakom za koji časopis) i šalju primerak uplatnice uz narudžbenicu.

U slučaju spora nadležan je Drugi opštinski sud u Beogradu.

Časopise slati na adresu:

Kupac
(prezime i ime, naziv ustanove i broj telefona)

Mesto ul. br.

Dana: 199..... god.

M.P.

.....
Potpis naručioца

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, proizvodnju, upotrebu, tehnologiju, metodologiju, obuku, organizaciju i sva stručna, naučna, teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i obrazovanju pripadnika oružanih snaga.

Članak koji se dostavlja Redakciji mora biti kompletan, tj. treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, članak, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru. U propratnom pismu treba istaći da li se radi o originalnom, naučnom, stručnom radu ili kompilaciji, koji su grafički prilozi originalni, a koji pozajmljeni. U kratkom sadržaju — siže, treba izneti suštinu članka, najviše u desetak redova.

Članak treba da sadrži uvod, kratak sadržaj, razradu i zaključak. Njegov obim treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa novinskim proredom). Tekst članka mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, sa jasnim mislima, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u zakonski dozvoljenim mernim jedinicama. 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. Članak se obavezno dostavlja u dva primerka.

Spisak grafičkih priloga sadrži naziv slike — crteža i nazive pozicije na njima.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima VJ.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, titulu, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopis slati na adresu: Redakcija »Vojnotehničkog glasnika«, 11002 Beograd, Birčaninova 5, VE-1.

REDAKCIJA

LEKTOR

Dobrila Miletić, prof.

KORICE

Milojko Milinković

KOREKTOR

Bojana Uzelac