Razmatranje održavanja u fazi razvoja elektronskog uređaja

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

Uvod

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

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

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

- primenom programskog paketa PREDICTOR,
- pomoću razvijenog simulacionog modela sistema održavanja.

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

Proračun operativne gotovosti pomoću programskog paketa PREDICTOR

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

- pouzdanost sklopa (FR);
- normativ vremena održavanja (MT — Maintenance Table);
- preventivno održavanje (PM — Preventive Maintenance);
- uslovi izvođenja preventivnog održavanja;
- doprinos preventivnog održavanja pouzdanosti sklopa (SAVE);
- logističko vreme kašnjenja (DELAY);
- koeficijent eksploatacije (DC — Duty Cycle), itd.

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

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

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

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

Rezultati proračuna raspoloživosti pomoću PREDICTORA

Tabela 1

PART		GM MOBILE FAILURE RATE	QTY	TOTAL FAILURE RATE	REPAIR CLOCK MINUTES	MMH/ 52560 HOURS	N 0 T E
TEMPERATURE 30 C.		/M HRS.		/M HRS.			
LEVEL 1	UPRAVLJACKA KUTI	29.7188	1	29.7188	.0	.0	
LEVEL 1	PRIJEMNIK POBUDJ	32.1025	1	32.1025	134.6	227.0	
LEVEL 1	POJACALO SA PRI	11.9222	1	11.9222	56.5	35.4	
LEVEL 1	PRIBOR	9.8349	1	9.8349	145.9	75.4	
ACTIVE PM 5 ACTIONS		.0000			2700.0	13500.0	
				83.5784			
LEVEL 0	RADIO-UREDJAJ RU			83.5784	76.9	337.9	
AVG. DOWN TIME: 81.0 HRS. PER OUTAGE							
LEVEL 0	RADIO-UREDJAJ RU	83.5784	1	83.5784	76.9	337.9	
QUANTITATIVE FACTORS-(HOURS)							
MTBF	11964.8	MEAN CORR. TIME	1.3	UNSCHED. MAINT.		5.6	
MTBM	5595.7	MEAN PREV. TIME	45.0	SCHED. MAINT.		45.0	
MTTM	24.6	UNSCH. MAN HRS	5.6	UNSCH. UTILITY		1.0	
		SCHED. MAN HRS	225.0	SCH. UTILITY		1.0	
AVG. DOWN TIME: 124.0		AVG. DELAY TIME:		.0			
AVAILABILITY FACTORS							
=====							
INHERENT .9998929		ACHIEVED .9956312		OPERATIONAL .9741370			
=====							

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

Simulacioni model višenivoiskog sistema održavanja

Za opis i rešavanje složenih dinamičkih problema, kakav je i višenivois-

lizi sistema održavanja elektronskih sredstava:

- eksperiment sa realnim sistemom i u realnim uslovima je nemoguć;
- višenivoiski sistem održavanja je prekompleksan da bi se mogao opisati analitički.

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

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

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

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

prikazanoj modifikovanoj shemi koriste se sledeće skraćenice: LR1 — laki remont na nivou bataljona — divizionu, LR — laki remont na nivou brigade, SR — srednji remont, GR — generalni remont, NG — nepovratni gubici, KSR — komplet rezervnih delova za srednji remont, RVK — rezerve rezervnih delova Vrhovne komande.

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

Neispravnosti na elektronskim uređajima nastaju iz dva razloga:

- usled slučajnih otkaza, i
- usled borbenih dejstava neprijatelja (oštećenja).

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

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

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

Sl. 1 — Prikaz modifikovane sheme sistema održavanja

Na osnovu modifikovane sheme procesa održavanja stvoren je simulacioni model sistema održavanja. Njegov shematski prikaz dat je na slici 1. Na

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

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

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

- da se ulazni parametri mogu jednostavno zadavati i menjati;

- da se model može veoma lako nadograđivati;

- praćenje nivoa rezervi rezervnih delova ešeloniranih po normativima, i

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

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

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

tara za model održavanja u ratnim uslovima.

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

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

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

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

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

Iz dostupne dokumentacije, za navedeni uzorak, prikupljena su 563 vremena korektivnog održavanja iz domena lakog remonta. Koristeći program-

ski paket (testom hi-kvadrat), za testiranje neparametarskih hipoteza ustanovljeno je da lognormalna raspodela najbolje opisuje prikupljene podatke. Rezultati statističke obrade vremena korektivnog održavanja prikazani su na slici 2. Navedeni podaci za vremena korektivnog održavanja prikupljeni su iz realnog sistema održavanja.

Chisquare Test

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

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

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

Prikaz rezultata simulacionog modela održavanja

Start generatora RND: -1				
Vremenska jedinica simulacije: 5 min.				
Vreme simulacije b/d	: 3 : 0 : 0	(dan :	čas :	minut)
Ukupno vreme simulacije	: 3 : 18 : 5	(dan :	čas :	minut)
Broj TMS nakon simulacije:				
- u jedinicama	: 56			
- nep.gub. na LR	: 5			
- nep.gub. na SR	: 0			
- za GR	: 3			
Broj simuliranih kvarova:				
- otkaza	: 10			
- oštećenja	: 16			
- ukupno	: 26			
Broj simuliranih održavanja na:				
- LR1	: 6			
- LR	: 19			
- SR	: 6			
Izdato r/d iz:				
- KLR za:	- LR1 : 1			
	- LR : 7			
- KSR za:	- LR : 6			
	- SR : 4			
	- KLR : 2			
- RVK za	- KSR : 0			
Srednje vreme u radu	: 71 : 17	(čas :	minut)	
Srednje vreme u otkazu	: 7 : 24	(čas :	minut)	
Srednje vreme održavanja na:	- LR1: 0 : 46	(čas :	minut)	
	- LR : 0 : 57	(čas :	minut)	
	- SR : 0 : 57	(čas :	minut)	
Iskorišćenje mehanicara na:				
	- LR1: 22.03 %			
	- LR : 34.09 %			

=====
 Raspoloživost: 90.58%
 =====

Vremena između otkaza (MTBF) prikupljena su za navedeni uzorak od 60 uređaja i prikazana su u [4], a na osnovu statističke obrade sakupljenih vremena može se zaključiti da se vremena između otkaza pokoravaju log-normalnoj raspodeli. U literaturi i dostupnim istraživanjima navodi se da se ova vremena pokoravaju (najbolje opisuju) eksponencijalnom raspodelom. Odgovor na pitanje zašto je za MTBF dobijena lognormalna raspodela sadržan je činjenici da je koeficijent eksploatacije dela sredstava za koja su prikupljeni podaci veoma nizak ($Ke <$

$< 0,005$), tako da uzorak sredstava u eksploataciji, realno gledano, nije homogen skup, iako po formalnom statusu jeste.

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

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

Na osnovu statističke obrade vremena održavanja, koja su uzeta za koeficijent eksploatacije veći od 0,1, očito je da su srednja vremena između otkaza i između održavanja znatno veća od prosečnih vremena i da eksponencijalna raspodela najbolje opisuje ta vremena. Ta činjenica ima veliki značaj za dalji praktičan rad u okviru simulacionog modela održavanja.

Ovaj simulacioni model daje veliki broj statističkih podataka koji omogućavaju:

- analizu sistema održavanja, i
- ocenu konstrukcije, odnosno, uređaja sa stanovišta njegove prilagođenosti definisanom sistemu održavanja.

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

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

Zaključak

Operativna raspoloživost kao značajan pokazatelj za ocenu date konstrukcije ili uređaja sa stanovišta održavanja u radu proračunava se pomoću programskog paketa PREDICTOR i na osnovu razvijenog simulacionog modela. Vrednost operativne raspoloživosti proračunate pomoću simulacionog modela iznosi 0,908 i dosta je niža od vrednosti dobijene pomoću PREDICTORA (0,954). Ova razlika u vrednostima proračunate operativne raspoloživosti javlja se zbog toga što su vrednosti parametara koje se zadaju u modelu ulaznih podataka za PREDICTOR prognozirane, dok se kod simulacionog modela ulazni podaci zadaju preko raspodela verovatnoća za svaku promenljivu a na osnovu podataka iz realnog sistema.

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

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

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

Troškovi razvoja, održavanja i ostali troškovi nisu razmatrani u ovom

radu, prvenstveno zbog njihove obimnosti. Najbolja optimizacija konstrukcije sa stanovišta najvećeg broja logis-

tičkih parametara, pa i troškova, može se izvršiti pomoću modela ekonomske efektivnosti [4].

Literatura:

- [1] Automotive electronics reliability handbook, Society of Engineers, Inc. 400 commonwealth Drive warrendale, PA 15096, 1987.
- [2] Benjamin O. C.: Computer applications in maintenance management, Maintenance Management International, No. 7, 1989, 179—188.
- [3] Blanchard S. B.: Logistics engineering and management, third edition, Printice — Hall, 1986.
- [4] Ćirović M.: Modelliranje elektronskih sistema u toku razvoja sa stanovišta integralnog tehničkog obezbeđenja, Doktorska disertacija, CVTŠ, Zagreb, 1989.
- [5] Mladenović N.: Simulacioni model sistema održavanja, diplomski rad, VVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1988.
- [6] PREDICTOR Users Manual Supplement, Management Sciences Inc., Alburquerque, 1983.
- [7] Todorović J., Sistemski prilaz razvoju vozila, VTG, br. 3, 1988, strana 261—272.