Dr Radovan Maksić,
potpukovnik, dipl. inž.

Mr Milan Savić,
major, dipl. inž.

Mogući pristup istraživanja resursa za opravku TMS u borbi

Analizom okruženja u kome nastaju oštećenja TMS u borbi, izdvajaju se taktički, organizacioni i tehnološki faktori za gradnju modela. Simulacijom na računaru, za karakteristične uslove, statističkom obradom i analizom izlaska mogu se izdvojiti relevantni parametri. Metodama operacionih istraživanja, na osnovu rezultata simulacije, određuju se resursi za opravku.

Uvod

Jedna od osnovnih karakteristika borbenih dejstava jeste izuzetna složenost slučajnih procesa i velika dinamika promena stanja okruženja. U miru se sve oružane snage bave prognozom mogućih budućih borbenih dejstava, da bi se što adekvatnije pripremile za izvršavanje zadataka u složenim uslovima. Pri tome se nastoji da troškovi budu minimalni, uz postizanje neophodne pouzdanosti izvršavanja zadataka. Posle drugog svetskog rata sve oružane snage, kao i drugi segmenti savremenih država, poseban značaj pridaju razvoju metoda i primeni operacionih istraživanja u rešavanju značajnih zadataka. Problemi prognoziranja trošenja borbenih resursa rešavani su vojnim logičnim procenama, korišćenjem analitičkih modela (najpoznatiji su modeli Lančesterovog tipa), a u današnje vreme su uočljivi napor da se izgrade kombinovani modeli u kojima simulacija na elektronskom računaru ima dominirajuću ulogu.

Nadalje, razmatraće se mogućnost istraživanja resursa za opravku TMS koja se oštećuju u borbi, osloncem na prognoze o vrsti, strukturi, količini, mestu i vremenu nastanka oštećenja. Sistemskim pristupom problemu, analizom internog i eksternog okruženja u ko-

najznačajniji elementi za gradnju simulacionih modela. Po izgradnji, validizaciji i verifikaciji simulacionih modela nastaju oštećenja TMS izdvajaju se dela pristupa se planiranju i provođenju eksperimenata simulacijom na elektronskom računaru. Za eksperimentisanje se određuju konkretni uslovi borbenih dejstava, sa definisanim eksperimentalnim okvirima za skupove taktičkih, organizacionih i tehnoloških parametara. Po dobijanju najverovatnijih slika stanja karakterističnih događaja u vremenu (statističkom obradom i analizom izlaza simulacije), može se pristupiti optimizaciji resursa za opravku oštećenih TMS u borbi. Pri tome se može polaziti od funkcije cilja maksimizacije verovatnoće realizacije zadatka u očekivanom vremenu, ili minimizacije troškova sistema, pri čemu se koriste metode linearnog programiranja i druge metode operacionih istraživanja.

Analiza najznačajnijih procesa iz realnog sistema i kreiranje simulacionog modela

Pojava borbenih oštećenja TMS u prostoru i vremenu i opravka sa blagovremenim vraćanjem funkcionalno ispravnih sredstava u stroj nalaze se u složenom odnosu. Pravovremeno pla-

niranje resursa, organizacija i realizacija opravke odvijaju se u sistemu tehničkog održavanja, koji se definiše, pored ostalog, i na osnovama prognoza nastajanja oštećenja TMS u borbi. Obim i stepen oštećenja sredstava u borbi u najvećoj meri zavisi od konkretnih uslova (odnos snaga, borbeni raspored u prostoru i vremenu, itd.), pa se problem svodi na prognozu oštećenja TMS u borbi, u zavisnosti od faktora koji na njih utiču. Analizom okruženja moguće je od taktičkih faktora izdvojiti, za gradnju modela, one faktore koji neposredno utiču na oštećenja TMS u borbi:

- sistemi naoružanja i municije, koji dejstvuju u borbi, sa kvalitativnim i kvantitativnim obeležjima;
- organizacija borbenog rasporeda na konkretnom prostoru;
- dinamika izvođenja borbenih dejstava i taktički postupci;
- uslovi izvođenja dejstava (zemljište, vidljivost, i dr.);
- obučenost ljudstva, itd.

Od taktičkih parametara, za simulacioni model borbenih dejstava, treba obuhvatiti dovoljan spektar uticajnih faktora. Za to je neophodno formirati funkcije međusobnih dejstava protivnika (literatura [1] str. 39—44), funkcije, varijable i parametre koji se odnose na karakteristike sistema naoružanja (zakone promena verovatnoća po gađanja, efekte po elementarnim ciljevima, itd.), kao i funkcije uticaja organizacije i tehnologije opravke oštećenih TMS. Parametri organizacije opravke odnose se, pre svega, na definisanje nivoa opravke i ešeloniranje resursa za opravku, izvlačenje i evakuaciju.

Sva tri skupa uticajnih faktora (taktički, organizacioni, tehnološki), pri formiranju funkcija za simulacioni model, moraju se analizirati u međusobnoj interakciji. Veza između taktičkih i tehnoloških parametara je očigledna ako se uzme u obzir, na primer, da se u stroj može vratiti oštećeno sredstvo

samo ako je interval vremena opravke manji od intervala vremena, dok je sredstvo koje se opravljia izvan negativnog uticaja neprijateljeve vatre.

Za TMS izbačeno iz borbe kaže se da je to TMS čija je posada poginula i/ili koje je pretrpelo takva oštećenja da je dalja upotreba u borbi nemoguća. Definišu se oštećenja sredstva kada se kaže da je izbačeno iz borbe, ili će za relativno kratko vreme biti izbačeno iz borbe, u slučajevima:

- kada je uništeno osnovno naoružanje;
- kada je vreme potrebno za dovođenje u borbenu gotovost veće od zahtevanog operativnog vremena povratka u borbu.

Potrebno vreme za dovođenje u funkcionalnu ispravnost (borbenu gotovost) sredstva može se definisati kao suma vremena potrebnih za opravku pojedinih nastalih oštećenja i označava se sa T_f i:

$$T_f = \sum_{i=1}^n T_{fi} - T_{pr}$$

gde je:

- T_{fi} — minimalno vreme trajanja opravke pojedinačnog oštećenja uz maksimalno angažovanje resursa;
- $i=1 \dots n$ — pojedinačno oštećenje (dela, sklopa, uređaja) zbog kojeg je sredstvo izbačeno iz borbe;
- T_{pr} — vreme preklapanja u radu na otklanjanju pojedinačnih oštećenja na istom sredstvu.

Raspoloživo vreme za dovođenje u funkcionalnu ispravnost (borbenu gotovost) jeste operativno vreme za koje sredstvo mora da se vrati u borbu, označava se sa T_{op} , i može se definisati kao:

$$T_{op} = T_{maxa} k_{ud}$$

TEHNOLOŠKA LISTA 7: moguća oštećenja optičkih uređaja

Red. broj	Oštećenje opravka zamenom dela, sklopa uređaja	Opravka	
		Mat. oček. vreme - čas -	Specijalnost
1.	Periskop PL-6 — — — — — — — — — —	50'	arm
2.	Prizma gornjeg periskopa — — — — — — — — — —	10'	arm
3.	Šarnir, utvrđivač i brava PL-6, opravka — — — — — — — — — —	30'	arm
4.	Periskop APLE-88 — — — — — — — — — —	35'	arm
5.	Prizma gornja, očne školjke sa naslonom — — — — — — — — — —	10'	arm
6.	Šarnir, utvrđivač i brava APLE-88, opravka — — — — — — — — — —	40'	arm
7.	Mesna sprava MSOE-80 — — — — — — — — — —	1:15'	arm
8.	Teleskopski durbin — — — — — — — — — —	1:30'	op, arm
9.	Staklo zaštitno durbina — — — — — — — — — —	1:40'	op, arm
10.	Delovi durbina, opravka — — — — — — — — — —	25'	op, arm
11.	Uređaj za zatvaranje poklopca PP-4, opravka — — — — — — — — — —	1:35'	br
Značenje skraćenica: arm — artiljerijski mehaničar, op — optičar, br — bravar			

gde je:

— $T_{\max a}$ — maksimalno raspoloživo vreme do ponovnog angažovanja sredstva u borbi,

— $k_{ud} \geq 1$ — koeficijent uslova dejstva

$$k_{ud} = f(k_{rt}, k_{rp}, k_{rs}, k_p, k_{bd}, k_m, k_v \dots)$$

gde je:

— k_{rt} — koeficijent raspoloživosti tehničke službe za opravku oštećenja sa stanovišta svih potrebnih resursa;

— k_p — koeficijent raspoloživosti posade sredstva;

— k_{rs} — koeficijent raspoloživosti sredstva (moguć pristup sredstvu, sredstva van puta,

van zaklona, u zaklonu, izloženo dejstvima ili ne, i dr.);

— k_p — koeficijent puta (udaljenost ekipe za opravku do sredstva, put prohodan ili ne, itd.);

— k_{bd} — koeficijent oblika borbenih dejstava (napad, odbrana, okruženje, i dr.);

— k_m — koeficijent meteoroloških uslova;

— k_v — koeficijent vidljivosti (dan, noć, magla, i dr.) i drugi faktori, što nije predmet ovog istraživanja.

Da bi se sredstvo vratilo u borbu, mora biti zadovoljen uslov:

$$T_{fi} < T_{op} \quad T_f < T_{op}$$

Sl. 1 Deo logističkog dijagrama za simulacioni model borbenih oštećenja i opreme TMS

U slučaju da je potrebno vreme za dovođenje sredstva u funkcionalnu ispravnost (borbenu gotovost) jednako ili veće od raspoloživog

$$T_{fi} \geq T_{op} \quad T_f \geq T_{op}$$

može se smatrati da je sredstvo izbačeno iz borbe, te se na njega, za konkretni zadatak, u kojem je trebalo da učestvuje, ne računa.

S obzirom na tehnologije koje se mogu primenjivati, za gradnju modela moguće je formirati tehnološke liste (primer u tabeli 1).

Pojedine karakteristike određuju se iz raznih analiza ponašanja sistema (savremeni ratovi, vežbe, rezultati naučnih istraživanja, itd. i opredeljuju značajke za gradnju simulacionih modela.

Potpun logički dijagram simulacionog modela može se videti iz literature [1], [2] ili [3], za neka konkretna rešenja.

Na osnovu provedenih analiza moguće je kreirati model, za šta je pogodno izraditi logički dijagram (deo takvog dijagrama prikazan je na slici 1).

Izlazi iz simulacije formiraju se na različiti način, u skladu sa potrebama analitičara sistema. Jedan od mogućih izlaza (prema [3]) prikazan je na slici 2.

Sl. 2 Oštećena sredstva branioca

Tokom gradnje modela i izrade programa za simulaciju na računaru, vrši se validizacija i verifikacija, čiji dijagram toka može biti kao što je prikazano na slici 3.

Eksperimenti na modelu i analiza izlaznih rezultata

Kada se raspolaže dovoljno dobrim modelom i adekvatnim programima za simulaciju na računaru, može se pristupiti određivanju eksperimentalnog okvira i ponavljanju simulacija. Mogući postupak pri tome opisan je u literaturi [3], a sastoji se u:

- definisanju karakterističnog taktičkog modela;

- određivanju osnovnih karakteristika dinamike i formiranju ulaznog skupa parametara, funkcija i varijabli za simulacioni program,

- definisanju početnih vrednosti generatora slučajnih brojeva za određeni broj nezavisnih simulacija;

- određivanju relevantnih scenarija za međusobna upoređivanja izlaznih varijabli, i

- određivanju željenog stepena poverenja pri intervalnom ocenjivanju izlaznih rezultata.

Za definisanje karakterističnog taktičkog modela treba odabrati reprezentativnu taktičku situaciju »plavog« i »crvenog«, izvršiti sistemsku analizu i opisati model. Opis se može izvršiti na više načina, a za analizu u kojoj dominira simulacija na računaru pogodno je definisati:

- komponente modela;
- opisne varijable modela;
- interakcije između komponenti u modelu;

- analizirati opisne varijable i mogućnosti simulacije modela.

Kada je u pitanju analiza gubitaka TMS u protivoklopnoj borbi (literatura [3]), opis se može izvršiti po nave-

Sl. 3 Dijagram toka gradnje modela

denoj proceduri. Tako se može, na primer, definisati skup komponenti:

AJPC — artiljerijske jedinice za podršku »crvenog«;

AJPP — artiljerijske jedinice za podršku »plavog«;

BATP — broj angažovanih tenkova »plavog« po vrstama;

·
·
·

RLRC — resursi za laki remont »crvenog« po ešelonima;

GUBC — gubici TMS »crvenog«, itd.

Pri tome, opisane varijable treba dekomponovati tako da se u simulacionom modelu može definisati interakcija i omogućiti simulacija diskretnih događaja. Opisna varijabla za komponente BATP može se svesti na broj tenkova »plavog« po vrstama i po borbenim ešelonima u početnom rasporedu. Kod interakcije između komponenti modela treba definisati potpun skup, pa se tako definišu stanja gde, na primer, BATP dejstvuje na zadani način, menja dejstva u skladu sa realizacijom slučajnih događaja i zaustavnim pravilima. Kada se realizuje vatra za podršku »crvenog« po odgovarajućem elementu »plavog« (interakcija AJPC i BATP, na primer) dejstvo jedinice »plavog« je za dati vremenski interval smanjeno, itd.

Deo skupa izlaznih varijabli u primeru iz [3] definisan je na sledeći način:

LRC — broj tenkova »crvenog« oštećenih u datom intervalu vremena, u stepenu za laki remont;

SRC — broj tenkova »crvenog« oštećenih za srednji remont;

GRC — broj tenkova »crvenog« za generalni remont;

UCB — broj uništenih tenkova »crvenog« pogotkom raketnim projektilom bočno;

UTCK — broj uništenih tenkova »crvenog« pogotkom u kupolu;

UNTH — broj uništenih tenkova »crvenog« dejstvom helikoptera za protivoklopnu borbu;

LRP — broj tenkova »plavog« za laki remont;

SRP — broj tenkova »plavog« za srednji remont;

GRP — broj tenkova »plavog« za generalni remont;

UPB — uništeni tenkovi »plavog« bočnim pogotkom;

UTPK — uništeni tenkovi »plavog« pogocima u kupolu.

Kada se interakcijom između komponenti specificiraju pravila kojima se određuje način promena varijabli u vremenu, stvoreni su uslovi za simuliranje modela. Za svaki budući vremenski trenutak moguće je izračunati vrednosti svih opisnih varijabli na osnovu stanja u prethodnom vremenskom intervalu. Kada je postignut željeni kvalitet simulacionog modela i izvršena provera programa (postupak prikazan na slici 3), pristupa se eksperimentisanju na računaru.

Po realizaciji željenog broja ponavljanja statistički se obrade izlazni rezultati, izvrši intervalna ocena značajnih parametara, što je osnova za detaljnu analizu analitičara sistema. Jedan primer statističke analize prikazan je u tabeli 2.

Za formiranje skupa izlaznih podataka (od kojih je deo prikazan u tabeli 2) izvršeno je 25 nezavisnih simulacija za dati scenario protivoklopne borbe. Pri tome su ulazni podaci bili nepromenjeni, a početno stanje za svih osam generatora slučajnih brojeva menjano je svaki put po tablici slučajnih brojeva. Za svaki od članova skupa izlaznih varijabli određeno je matematičko očekivanje i izvršena intervalna ocena. Kako je analizom taktičkog modela utvrđeno da je taktička situacija tipična, izlazni skup dobijen simula-

Statistička analiza oštećenja TMS za dati taktički model b/d

Parametar	Empirijsko matematičko očekivanje $\bar{X}$ $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	Empirijsko odstupanje $\bar{S}$ $\bar{S} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - x_i)^2}$	$\varepsilon = \frac{t(24 \ 0.05)}{\sqrt{25}}$ $\varepsilon \bar{S}$	Intervalna ocena matematičkog očekivanja parametra
LRC	10,72	3,825	1,58	$9 \leq \text{LRC} \leq 12$
SRC	3,92	2,829	1,168	$1 \leq \text{SRC} \leq 5$
GRC	0,96	0,707	0,292	$0 \leq \text{GRC} \leq 2$
UCB	0,96	0,83817	0,346	$1 \leq \text{UCB} \leq 2$
UTCK	4,92	2,073	0,8556	$4 \leq \text{UTCK} \leq 6$
UNTH	2,48	1,08	0,44624	$2 \leq \text{UNTH} \leq 3$
LRP	20,68	3,69	1,5247	$19 \leq \text{LRP} \leq 22$
SRP	2,08	1,2936	0,53402	$1 \leq \text{SRP} \leq 3$
GRP	1,6	0,52804	0,21797	$1 \leq \text{GRP} \leq 2$
UPB	0,6	0,5	0,2064	$0 \leq \text{UPB} \leq 1$
UTPK	9,44	2,51973	1,04	$8 \leq \text{UTPK} \leq 11$

cijom može poslužiti za određivanje resursa za opravku TMS oštećenih u borbi. U tom slučaju, skup izlaznih varijabli dobijen simulacijom može poslužiti za formiranje ulaznog skupa podataka za druge modele (optimizacija jedinica za tehničko održavanje, raspored resursa za remont, itd.).

Takođe, eksperimenti se mogu izvoditi tako da se početne vrednosti generatora slučajnih brojeva za svaku simulaciju drže na istim vrednostima, a menjaju ulazni parametri po scenariju za željenu faktorsku analizu. Ovakav pristup se relativno lako realizuje ako se kao simulacioni jezik koristi GPSS.

Izlazi iz simulacije, statistički obrađeni, jedan su skup značajki za optimizacije u sistemu održavanja, a sledeći skup su organizacioni i tehnološki parametri. Za optimizacije, uz željena

ograničenja i funkcije cilja, mogu se koristiti metode linearnog programiranja ili višekriterijumskog rangiranja.

Zaključak

Problem određivanja ključnih resursa u sistemu održavanja TMS je veoma složen i kada su u pitanju problemi »mirnodopske« prirode. Posebna složenost ovog problema ispoljava se kada se određuju resursi za sistem održavanja TMS u borbi.

Mirnodopska eksploatacija je izvor podataka za određivanje resursa sistema održavanja (karakteristike upotrebe, intenziteti otkaza, ograničenja, itd.) i tu se može dosta učiniti na planu optimizacije. Poteškoće koje se javljaju pri definisanju resursa za održavanje TMS u ratu, najizraženije su kod

predviđanja obima i karaktera oštećenja TMS usled dejstva raznih borbenih sistema.

Pristup prikazan u ovom radu zasniiva se na simulaciji dinamike borbenih dejstava na računaru, a simulacioni modeli se grade prema adekvatnim taktičkim modelima. Analize se vrše

osloncem na najverovatniju vremensku sliku stanja, nastalu interakcijom taktičkih, organizacionih i tehnoloških procesa.

Neka od konkretnih rešenja i mogućih pristupa rešavanju logističke podrške u borbi, u našim oružanim snagama, navedena su u popisu literature.

Literatura:

- [1] R. Maksić, Prilog definisanja postupka za utvrđivanje zakonitosti utroška municije u vremenu za jedinice u oružanoj borbi, doktorska disertacija, CVTŠ KoV JNA »General armije Ivan Gošnjak« Zagreb, 1989.
- [2] M. Savić, Istraživanje ratnih oštećenja i mogućnost opravke TMS, magistarski rad, CVTŠ »General armije Ivan Gošnjak« Zagreb, 1990.

- [3] R. Maksić, Model za simulaciju gubitaka TMS u POB okb u odbrani tp u napadu, CVVŠ »Maršal Tito« Beograd, 1991.
- [4] R. Maksić, Z. Kerec, V. Mišković, Modeliranje u prognoziiranju visine i strukture gubitaka TMS u borbenim dejstvima, CVVŠ »Maršal Tito« Beograd, 1990.