

Uvod

Pouzdanost misije se u teoriji pouzdanosti definira kao vjerojatnoća s kojom će sistem obaviti zadanu misiju (zadatak). Da bi u toku razvoja složenih tehničkih sistema (STS) mogli predviđati njihovu pouzdanost, neophodno je postaviti matematički model pouzdanosti. To je posebno značajno za STS vojne namjene.

Cilj ovog teksta je postavljanje matematičkog modela pouzdanosti tenka kao složenog sistema. Međutim, u praksi nije lako postaviti model pouzdanosti misije tenka. Postoje tri osnovne poteškoće:

1. U pogledu pouzdanosti neki pod-sistemi ili komponente tenka nisu potrebni za određene misije. Na primjer, teleskop za noćno osmatranje nije potreban u dnevnim misijama.

2. Obično se pretpostavlja da je stanje svih komponenata sistema statički nezavisno. Ali, u konkretnim sistemima otkazi nekih komponenata nisu statički nezavisni. Na primjer, neispravnost sistema za upravljanje transmisijom povećava vjerojatnoću otkaza transmisije.

3. Ukoliko taktičko-tehničkim zahtjevima (TTZ) nije propisana »funkcionalna« veza između različitih jedinica operativnog vremena rada* podsistema

* Dovoljno je specificirati vrijeme u kojem cio sistem mora ispravno funkcionirati da bi ispunio zahtjevani broj metaka.

tenka, tada pouzdanost tenka kao jedin-stvenog sistema praktično nije moguće iskazati na uobičajen način — u funkciji samo jednog parametra, najčešće vremena.

U ovom tekstu postavljen je matematički model pouzdanosti za dvije osnovne misije tenka: pokretnu i vatrenu, uvažavajući pri tome prethodno navedene poteškoće.

Misija tenka

Da bi postavili matematički model pouzdanosti misije tenka, neophodno je definirati njegovu funkciju, a iz nje i misije koje obavlja. Funkcija tenka, kao STS, jeste da u definiranim operativnim uslovima i uslovima održavanja obezbijedi deklariranu pokretljivost, vatrenu moć i zaštitu posade i opreme. Iz ovako definirane funkcije tenka proizilaze dvije osnovne misije koje tenk obavlja:

- pokretna misija
 - vatrena misija
- | — iz pokreta
| — iz mjesta

Pri tome zaštita posade i opreme treba biti obezbijedena u obje misije.

U skladu s prethodnim definicijama, pouzdanost tenka može se definirati

kao vjerojatnoća da će sistem biti radno sposoban pri izvršavanju pokretnih i vatrenih misija.

Osnovni model

Da bi modelom pouzdanosti obuhvatili samo komponente tenka koje sudjeluju u zadanoj misiji, neophodno je odrediti podsisteme i u okviru njih komponente tenka koje učestvuju u njoj. Radi toga su s M i F označena dva skupa komponenata tenka:

$M \equiv \{\text{komponente potrebne za rad u pokretnim misijama}\}$

$F \equiv \{\text{komponente potrebne za rad u vatrenim misijama}\}$

U tom slučaju je:

$P\{M\} \equiv P\{\text{sve komponente u } M \text{ rade}\}$, i

$P\{F\} \equiv P\{\text{sve komponente u } F \text{ rade}\}$

pouzdanost u pokretnim i vatrenim misijama respektivno.

Da bi razvili matematički model $P\{M\}$ i $P\{F\}$ potrebno je odrediti koje komponente pripadaju M i F .

Komponente u M mogu biti lako izabrane iz strukturne sheme pouzdanosti. Međutim, za F nije očigledno koje komponente su potrebne za rad u vatrenim misijama, budući da se jedne vatrene misije obavljaju dok se tenk kreće, a druge dok tenk stoji.

Prema formuli totalne vjerojatnoće, možemo napisati:

$P\{F\} = P\{\text{tenk se kreće}\} \cdot P\{[\text{sve komponente u } F \text{ rade}]/[\text{tenk se kreće}]\} +$
 $\{ \text{tenk stoji} \} \cdot P\{[\text{sve komponente u } F \text{ rade}]/[\text{tenk stoji}]\}$

Ako je traženo da tenk pređe određenu udaljenost da bi uništio određeni cilj, onda sve komponente iz M moraju biti članovi i F . Ali, ako se vatrena misija može obaviti u stacionarnom stanju, onda neke komponente, na primjer, prijenos snage u M ne moraju pripadati u F .

Ako s Q označimo događaj da se tenk mora kretati određenu udaljenost, onda je

$$P\{F\} = P\{Q\} P\{F/Q\} + P\{\bar{Q}\} P\{F/\bar{Q}\} \quad (1)$$

Vjerojatnoća $P\{Q\}$ može se dobiti iz podataka o borbi ili iz simulacije borbe, a $P\{F/Q\}$ i $P\{F/\bar{Q}\}$ mogu biti određeni iz blok dijagrama pouzdanosti, pretpostavljajući da li je zahtjevano da se tenk kreće ili ne.

Strukturna shema pouzdanosti međusobno zavisnih komponenata sistema

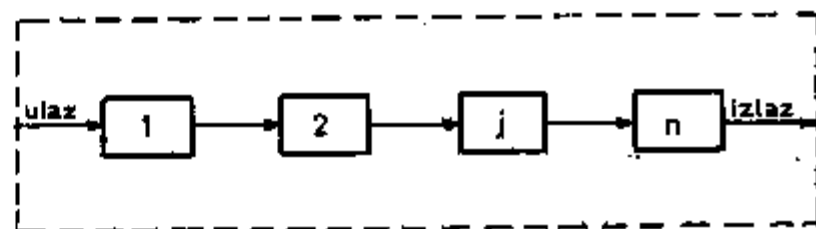
Strukturna shema pouzdanosti složenog tehničkog sistema predstavlja uslovni zapis ili grafički prikaz njegove strukture kojom iskazujemo radno sposobno stanje sistema kroz radno sposobno stanje elemenata, pri čemu uvažavamo njihove međusobne veze i funkcionalne namjene.

Izrada matematičkih modela i metoda analize i ocjene pouzdanosti STS, uzimajući u obzir realnu strukturu i međusobne veze njihovih elemenata, zasniva se na slijedećim osnovnim postavkama:

Za STS s redno spojenim elementima (sl. 1) analitički oblik strukture sheme pouzdanosti iskazuje se u vidu proizvoda događaja:

$$A = \prod_{j=1}^n A_j \quad (2)$$

gdje je A — događaj koji označava bezotkazano funkcioniranje STS u procesu izvršavanja zadatka; A_j — vjerojatnoća



Sl. 1 Shema složenog tehničkog sredstva sa redno spojenim elementima

bezotkaznog funkcioniranja j-tog elementa sistema; n — broj redno spojenih elemenata.

Primjene li se na (2) pravila izračunavanja vjerojatnoće proizvoda slučajnih događaja, može se napisati

$$P(A) = P(A_1) \cdot \prod_{j=2}^n P(A_j/A_1 A_2 \dots A_{j-1}), \quad (3)$$

gdje je $P(A)$ — vjerojatnoća bezotkaznog funkcioniranja sistema pri izvršavanju postavljenog zadatka; $P(A_1)$ — vjerojatnoća bezotkaznog funkcioniranja elementa pri izvršavanju postavljenog zadatka; $P(A_j/A_1 A_2 \dots A_{j-1})$ — uslovna vjerojatnoća bezotkaznog funkcioniranja j-tog elementa, određena pri uslovu bezotkaznog funkcioniranja svih elemenata od 1 do $j-1$.

Formula (3) u razvijenom obliku:

$$P(A) = P(A_1) P(A_2/A_1) P(A_3/A_1 A_2) \dots P(A_j/A_1 A_2 \dots A_{j-1}) \dots P(A_n/A_1 A_2 \dots A_{n-1}) \quad (4)$$

uzima u obzir ne samo bezotkaznost funkcioniranja elemenata sistema, nego i skup međusobnih veza između njih, koje imaju izuzetnu ulogu u formiranju strukturne pouzdanosti sistema.

Brojčanu karakteristiku linearne veze među događajima \bar{A}_i i \bar{A}_j predstavlja koeficijent korelacije

$$\rho(\bar{A}_i, \bar{A}_j) = \frac{P(\bar{A}_i \bar{A}_j) - P(\bar{A}_i) P(\bar{A}_j)}{\sqrt{P(A_i) P(\bar{A}_i) P(A_j) P(\bar{A}_j)}} \quad (5)$$

gdje je $P(\bar{A}_i \bar{A}_j)$ — vjerojatnoća proizvoda događaja \bar{A}_i i \bar{A}_j ; $P(\bar{A}_i)$ i $P(\bar{A}_j)$ — vjerojatnoća događaja \bar{A}_i i \bar{A}_j ; $P(A_i)$ i $P(A_j)$ — vjerojatnoća događaja A_i i A_j suprotnih događajima \bar{A}_i i \bar{A}_j . U formuli (5) događaji A_i i A_j označavaju bezotkazno funkcioniranje i-tog i j-tog elementa, \bar{A}_i i \bar{A}_j otkaze i-tog i j-tog elementa.

Veličina koeficijenta korelacije $\rho(\bar{A}_i, \bar{A}_j)$ nalazi se u intervalu

$$0 \leq |\rho(\bar{A}_i, \bar{A}_j)| \leq 1$$

Pri $\rho(\bar{A}_i, \bar{A}_j) = 1$ otkazi elemenata sistema su potpuno zavisni (linearno), a pri $\rho(\bar{A}_i, \bar{A}_j) = 0$ otkazi elemenata sistema potpuno su nezavisni.

Pri nezavisnim otkazima elemenata sistema, za svaki par elemenata $\rho(\bar{A}_i, \bar{A}_j) = 0$, pa formula (4) poprima oblik

$$P_d(A) = P(A_1) P(A_2) \dots P(A_j) \dots P(A_n) \quad (6)$$

ili

$$P_d(A) = \prod_{j=1}^n P(A_j) \quad (7)$$

Ako su otkazi svih n elemenata sistema zavisni u potpunosti, tada je $|\rho(\bar{A}_i, \bar{A}_j)| = 1$, a vjerojatnoća bezotkaznog rada sistema zavisi od vjerojatnoće $P(A_j)_{\min}$ bezotkaznog rada najmanje pouzdanog elementa. U tom slučaju formula (4) ima oblik:

$$P_g(A) = P(A_j)_{\min} \quad (8)$$

Ukoliko su u stvarnim STS neki otkazi elemenata potpuno zavisni, a ostali potpuno nezavisni, tada formule (7) i (8) ne odražavaju strukturnu pouzdanost realnih STS.

U stvarnosti se vjerojatnoća bezotkaznog rada STS $P(A)$ nalazi u intervalu

$$\prod_{j=1}^n P(A_j) < P(A) < P(A_j)_{\min} \quad (9)$$

ili

$$P_d(A) < P(A) < P_g(A) \quad (10)$$

gdje je $P_d(A)$ i $P_g(A)$ — donja i gornja granica realne vjerojatnoće bezotkaznog rada sistema $P(A)$, izračunate po formuli (4).

Da bi mogli primjeniti model zavisnih otkaza, prethodno je potrebno utvrditi skup elemenata među kojima otkazi jednih utječu na povećanje otkaza drugih. Radi toga označimo sa:

$C = \{1, 2, \dots, n\}$ skup elemenata sistema,

A — događaj da je element j radno sposoban,

B, D — neprazan skup komponenata takav da je $B \subset C$, $D \subset C$ i $B \cap D = 0$

Skup komponenata $B \cup D$ je zavisan u smislu utjecaja otkaza, ako je:

$$P\left\{\bigcap_{j \in B} A_j^c / \bigcap_{j \in D} A_j^c\right\} > P\left\{\bigcap_{j \in B} A_j^c\right\} \quad (11)$$

Ako je S podskup zavisnih komponenata skupa C komponenata sistema, tada je, prema (9)

$$\prod_{j \in S} P\{A_j^c\} < P\left\{\bigcap_{j \in S} A_j^c\right\} < \min_{j \in S} \{P\{A_j^c\}\} \quad (12)$$

Model pouzdanosti misije

Označimo s:

P_i — pouzdanost podsistema i u pokretnom zadatku;

P_i' — pouzdanost podsistema i u vatrenom zadatku pod uslovom da je potrebno kretanje tenka na određenu udaljenost;

P_i'' — pouzdanost podsistema i u vatrenom zadatku pod uslovom da nije potrebno kretanje tenka;

R_{ij} — pouzdanost komponente j u podsistemu i.

S aspekta utvrđivanja pouzdanosti STS, tenk [5] podjeljen je na devet osnovnih podsistema:

- pogonski podsistem ($i=M$),
- prijenos snage ($i=T$),
- hodni podsistema ($i=H$),
- električni podsistem ($i=E$),
- osnovno naoružanje ($i=N$),
- automat za punjenje topa ($i=A$),
- sistem za upravljanje vatrom ($i=S$),
- podsistem za NHB zaštitu i gašenje požara ($i=P$),
- komunikacioni podsistem ($i=K$).

Pošto osnovno naoružanje, automat za punjenje topa i sistem za upravljanje vatrom nisu potrebni za pokretne zadatke, a ostali podsistemi su statički nezavisni, slijedi:

$$P\{M\} = P_M \cdot P_T \cdot P_H \cdot P_E \cdot P_P \cdot P_K \quad (13)$$

Koje su komponente potrebne za vatreni zadatak pod uslovima [potrebno je kretanje tenka] i [nije potrebno kretanje tenka] nije još poznato, pa $P\{F/Q\}$ i $P\{F/\bar{Q}\}$ pišemo kao:

$$P\{F/Q\} = P'_M \cdot P'_T \cdot P'_H \cdot P'_E \cdot P'_N \cdot P'_A \cdot P'_S \cdot P'_P \cdot P'_K \quad (14)$$

$$P\{F/\bar{Q}\} = P''_M \cdot P''_T \cdot P''_H \cdot P''_E \cdot P''_N \cdot P''_A \cdot P''_S \cdot P''_P \cdot P''_K \quad (15)$$

Sada je potrebno izabrati odgovarajuće komponente iz svakog podsistema za izračunavanje P_i , P_i' i P_i'' . Radi toga označimo s:

F_Q — komponente koje su potrebne za vatrenu misiju pod uslovom da je potrebno kretanje tenka na izvjesnu udaljenost,

$F_{\bar{Q}}$ — komponente koje su potrebne za vatrenu misiju pod uslovom da nije potrebno kretanje tenka.

U tabeli 1 simbol + naznačuje komponente koje pripadaju odgovarajućem skupu komponenata.

a) Pogonski podsistem M

Pogonski podsistem sastoji se od 7 uređaja (tabela 1). Skup $\{M.1., M.2., M.3., M.4.\}$ predstavlja set zavisnih komponenata, jer će neispravnosti uređaja za dovod znaka, uređaja za podmazivanje i uređaja za hlađenje povećati mogućnost neispravnosti motora. Na osnovu informacija iz tabele 1 i prethodne konstatacije možemo pisati:

$$P_M = P'_M = P''_M = R_{\{M.1., M.2., M.3., M.4.\}} \prod_{j=5}^7 R_{Mj}$$

Iz (12), donja i gornja granica za $R_{\{M.1., M.2., M.3., M.4.\}}$ je

$$R_{M.1.} \cdot R_{M.2.} \cdot R_{M.3.} \cdot R_{M.4.} \leq R_{\{M.1., M.2., M.3., M.4.\}} \leq \min_{1 \leq i \leq 4} \{R_{Mj}\}$$

$$\prod_{j=1}^7 R_{Mj} \leq P_M = P'_M = P''_M \leq \min_{1 \leq i \leq 4} \{R_{Mj}\} \prod_{j=5}^7 R_{Mj} \quad (16)$$

Simbol	Podsystem	Komponente	M	F_Q	$F_{\bar{Q}}$
1	2	3	4	5	6
M	POGONSKI PODSISTEM				
M.1.		Motor	+	+	+
M.2.		Uređaj za dovod zraka i odvod ispušnih plinova	+	+	+
M.3.		Uređaj za podmazivanje	+	+	+
M.4.		Uređaj za hlađenje	+	+	+
M.5.		Uređaj za napajanje gorivom	+	+	+
M.6.		Grijač motora	+	+	+
M.7.		Uređaj komprimiranog zraka	+	+	+
T	PRIJENOS SNAGE				
T.1.		Multiplikator	+	+	+
T.2.		Mjenjači (2 kom.)	+	+	
T.3.		Komande za upravljanje transmisijom	+	+	
T.4.		Uređaj za hidraulično upravljanje i podmazivanje transmisije	+	+	
H	HODNI SASTEM				
H.1.		Gusjenični pokretač	+	+	
H.2.		Ovješnje	+	+	
H.2.1.		— torziona vratila			
H.2.2.		— amortizeri			
E	ELEKTRIČNI PODSISTEM				
E.1.		Starter generator s regulatorom i automatikom	+	+	+
E.2.		Rotativni kontaktor	+	+	+
E.3.		Razvodna tabla vozača	+	+	+
E.4.		Desna razvodna tabla	+	+	+
E.5.		Lijeva razvodna tabla	+	+	+
E.6.		Blok zaštite akumulatora	+	+	+
E.7.		Sklop za blokiranje birača stepena prijenosa	+	+	
E.8.		Blok za zaustavljanje rada motora	+	+	+
E.9.		Električna instalacija	+	+	+

1	2	3	4	5	6
N	OSNOVO NAORUŽANJE (TOP)			+	+
A	AUTOMAT ZA PUNJENJE TOPA				
A.1.		Obrtni transporter		+	+
A.2.		Mehanizam za podizanje kazeta		+	+
A.3.		Mehanizam za izbacivanje danca		+	+
A.4.		Donosač		+	+
A.5.		Elektromašinski utvrđivač topa		+	+
A.6.		Uređaj za pamćenje		+	+
A.7.		Razvodna kutija		+	+
A.8.		Pult upravljanja		+	+
A.9.		Pult popune		+	+
A.10.		Krajnji prekidači automata		+	+
S	SISTEM ZA UPRAVLJA- NJE VATROM				
S.1.		Upravljački uređaj		+	+
S.2.		Uređaj za vertikalno navo- đenje		+	+
S.3.		Uređaj za horizontalno na- vođenje		+	+
P	PODSISTEM ZA NHB ZA- ŠTITU I GAŠENJE POŽARA				
P.1.		Detektor radiološkokemijski tenkovski	+	+	+
P.2.		PPZ uređaj	+	+	+
P.3.		Filtro-ventilacioni uređaj	+	+	+
P.4.		Izvršni mehanizmi	+	+	+
K.	KOMUNIKACIONI PODSI- STEM				
K.1.		Uređaj za ostvarivanje vanj- ske veze	+	+	+
K.2.		Uređaj za međusobni razgo- vor posade	+	+	+

b) Prijenos snage T

Podsistem prijenosa snage sastoji se od 4 uređaja. Skup {T.2, T.3, T.4} predstavlja set zavisnih komponenata, jer će neispravnosti komandi za upravljanje transmisijom i uređaja za hidraulično upravljanje i podmazivanje transmisije povećati mogućnost neispravnosti transmisije. Na osnovu informacija iz tabele 1 i prethodne konstatacije možemo pisati:

$$P_T = P'_T = R_{T.1} \cdot R_{(T.2, T.3, T.4)}$$

Iz (12), donja i gornja granica za $R_{(T.2, T.3, T.4)}$ je

$$\prod_{j=2}^4 R_{Tj} \leq R_{(T.2, T.3, T.4)} \leq \min_{2 \leq j \leq 4} \{R_{Tj}\}$$

$$\prod_{j=1}^4 R_{Tj} \leq P_T = P'_T \leq R_{T.1} \cdot \min_{2 \leq j \leq 4} \{R_{Tj}\} \quad (17)$$

Nadalje

$$P''_T = R_{T.1} \quad (18)$$

c) Hodni podsistem H

Hodni podsistem sastoji se od 2 uređaja. Skup {H.2.1., H.2.2.} predstavlja set zavisnih komponenata, jer će neispravnosti amortizera povećati mogućnost torzionih vratila. Slijedi

$$P_H = P'_H = R_{H.1} \cdot R_{(H.2.1, H.2.2)}$$

Gornja i donja granica za $R_{(H.2.1, H.2.2)}$ je

$$\prod_{j=2.1}^{2.2} R_{Hj} \leq R_{(H.2.1, H.2.2)} \leq \min_{2.1 \leq j \leq 2.2} \{R_{Hj}\}$$

$$\prod_{j=1}^2 R_{Hj} \leq P_H = P'_H \leq R_{H.1} \cdot \min_{2.1 \leq j \leq 2.2} \{R_{Hj}\} \quad (19)$$

U ostalim podsistemima nema skupova zavisnih komponenata. Na osnovu informacija iz tabele 1 slijedi:

d) Električni podsistem E

$$P_E = P'_E = \prod_{j=1}^{10} R_{Ej} \quad (20)$$

$$P''_E = \prod_{j=1}^7 R_{Ej} \cdot \prod_{j=9}^{10} R_{Ej} \quad (21)$$

e) Osnovno naoružanje N

$$P'_N = P''_N \quad (22)$$

f) Automat za punjenje topa A

$$P'_A = P''_A = \prod_{j=1}^{10} R_{Aj} \quad (23)$$

g) Sistem za upravljanje vatrom S

$$P'_S = P''_S = \prod_{j=1}^3 R_{Sj} \quad (24)$$

h) Podsistem za NHB zaštitu i gašenje požara P

$$P_P = P'_P = P''_P = \prod_{j=1}^4 R_{Pj} \quad (25)$$

i) Komunikacioni podsistem K

$$P_K = P'_K = P''_K = \prod_{j=1}^2 R_{Kj} \quad (26)$$

Interval pouzdanosti u pokretnoj $P\{M\}$ i vatrenoj $P\{F\}$ misiji može se pisati kao:

$$P\{M\}_d \leq P\{M\} \leq P\{M\}_g$$

$$\alpha P\{F/Q\}_d + \bar{\alpha} P\{F/\bar{Q}\}_d \leq P\{F\} \leq \alpha P\{F/Q\}_g + \bar{\alpha} P\{F/\bar{Q}\}_g \quad (27)$$

gdje je s indeksom d i g označena donja i gornja granica intervala, a

$$\alpha \equiv P\{Q\}, \quad \bar{\alpha} \equiv P\{\bar{Q}\} = 1 - \alpha$$

Kombinirajući (13) do (26) s (27) možemo odrediti donje i gornje granice intervala pouzdanosti tenka u pokretnoj i vatrenoj misiji.

Granice intervala pouzdanosti tenka u pokretnoj misiji iznose:

$$P\{M\}_d = \prod_{j=1}^7 R_{Mj} \prod_{j=1}^4 R_{Tj} \prod_{j=1}^2 R_{Hj} \prod_{j=1}^{10} R_{Ej} \prod_{j=1}^4 R_{Pj}$$

$$\prod_{j=1}^2 R_{Kj} \quad (28)$$

$$P\{M\}_g = \left(\min_{1 \leq j \leq 4} \{R_{Mj}\} \right) \prod_{j=5}^7 R_{Mj} R_{T,1} \cdot \left(\min_{2 \leq j \leq 4} \{R_{Tj}\} \right) R_{H,1} \cdot \left(\min_{2,1 \leq j \leq 2,2} \{R_{Hj}\} \right) \prod_{j=1}^{10} R_{Ej} \prod_{j=1}^4 R_{Pj} \prod_{j=1}^2 R_{Kj} \quad (29)$$

Granice intervala pouzdanosti u vatrenoj misiji, pod uslovom da je potrebno kretanje tenka na izvjesnu udaljenost iznose:

$$P\{F/Q\}_d = \prod_{j=1}^7 R_{Mj} \cdot \prod_{j=1}^4 R_{Tj} \cdot \prod_{j=1}^2 R_{Hj} \cdot \prod_{j=1}^{10} R_{Ej} \cdot R_N \cdot \prod_{j=1}^{10} R_{Aj} \cdot \prod_{j=1}^3 R_{Sj} \cdot \prod_{j=1}^4 R_{Pj} \cdot \prod_{j=1}^2 R_{Kj} \quad (30)$$

$$P\{F/Q\}_g = \left(\min_{1 \leq j \leq 4} \{R_{Mj}\} \right) \cdot \prod_{j=5}^7 R_{Mj} R_{T,1} \cdot \left(\min_{2 \leq j \leq 4} \{R_{Tj}\} \right) \cdot R_{H,1} \cdot \left(\min_{2,1 \leq j \leq 2,2} \{R_{Hj}\} \right) \cdot \prod_{j=1}^{10} R_{Ej} \cdot R_N \cdot \prod_{j=1}^{10} R_{Aj} \cdot \prod_{j=1}^3 R_{Sj} \cdot \prod_{j=1}^4 R_{Pj} \cdot \prod_{j=1}^2 R_{Kj} \quad (31)$$

Granice intervala pouzdanosti tenka u vatrenoj misiji, pod uslovom da nije potrebno kretanje tenka, iznose:

$$P\{F/\bar{Q}\}_d = \prod_{j=1}^7 R_{Mj} \cdot R_{T,1} \cdot \prod_{j=1}^7 R_{Ej} \cdot \prod_{j=9}^{10} R_{Ej} \cdot R_N \cdot \prod_{j=1}^{10} R_{Aj} \cdot \prod_{j=1}^3 R_{Sj} \cdot \prod_{j=1}^4 R_{Pj} \cdot \prod_{j=1}^2 R_{Kj} \quad (32)$$

$$P\{F/\bar{Q}\}_g = \left(\min_{1 \leq j \leq 4} \{R_{Mj}\} \right) \cdot \prod_{j=5}^7 R_{Mj} R_{T,1} \cdot \prod_{j=1}^7 R_{Ej} \cdot \prod_{j=9}^{10} R_{Ej} \cdot R_N \cdot \prod_{j=1}^{10} R_{Aj} \cdot \prod_{j=1}^3 R_{Sj} \cdot \prod_{j=1}^4 R_{Pj} \cdot \prod_{j=1}^2 R_{Kj} \quad (33)$$

Time su rješene prve dvije od navedenih poteškoća.

Izražavanje pouzdanosti složenih sistema

Da bi prethodni model mogli primijeniti, pored komponenata za $\{M\}$ i $\{F\}$, skupova zavisnih komponenata i vjero-

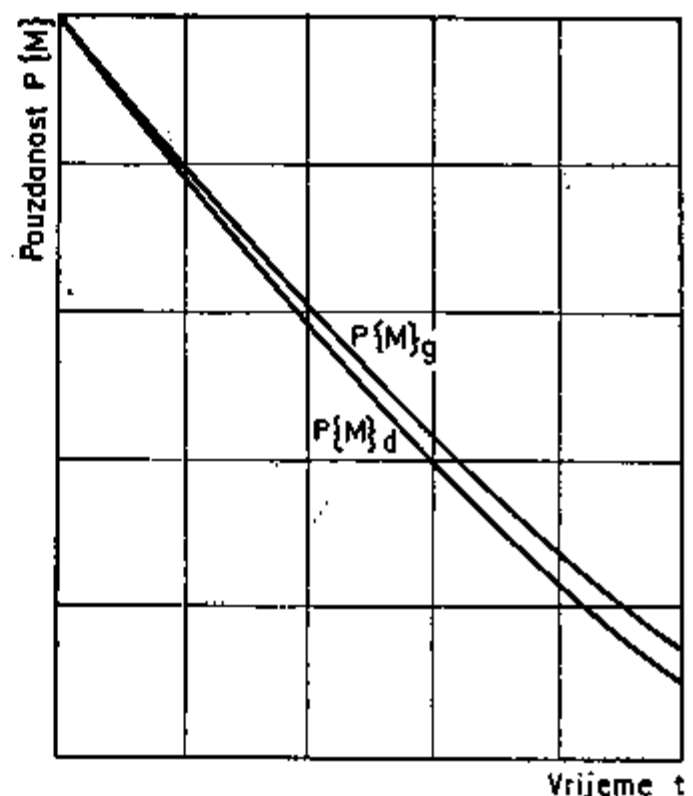
jatnoće izvršavanja vatrene zadatka u pokretu $\alpha \equiv P\{Q\}$, kao osnovni ulazni podatak služi pouzdanost komponenata sistema R_{ij} . Ukoliko komponente imaju konstantan intenzitet otkaza, pouzdanost sistema sastavljenog od takvih komponenata može se izračunati primjenom eksponencijalne raspodjele vremena između otkaza. U tom slučaju je

$$R_i(t) = e^{-\lambda_i t} \quad (34)$$

gdje je $R_i(t)$ pouzdanost podsistema i , a λ_i intenzitet otkaza podsistema i . U slučaju redne strukture komponenata sistema λ_i se izračunava iz obrasca

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} \quad (35)$$

gdje je λ_{ij} intenzitet otkaza j -tog dijela podsistema i . Pri tome intenziteti otkaza svih komponenata sistema moraju biti izraženi u istim jedinicama. Pri izračunavanju pouzdanosti tenka u pokretnoj misiji to je moguće obezbijediti, budući da u njoj učestvuju podsistemi



Sl. 2 Gornja i donja granica pouzdanosti tenka u pokretnoj misiji

čije se vrijeme operativnog rada izražava u jedinicama među kojima vlada vrlo značajna statistička zavisnost [5]. U

tom slučaju pouzdanost je moguće izraziti u obliku (34), što je prikazano na slici 2.

U vatrenoj misiji, međutim, sudjeluju i komponente za koje nema fizikalnog opravdanja da se vrijeme operativnog rada izražava u jedinicama vremena — već u broju ispaljenih metaka topa. To se odnosi na top, automat za punjenje topa i sistem za upravljanje vatrom. Budući da između broja ispaljenih metaka topa i ostalih jedinica operativnog rada nema statističke zavisnosti [5], ukoliko ta »zavisnost« nije specificirana u TTZ, prinuđeni smo intenzitete otkaza komponenata iz podsistema M, T, H, E, P, K iskazati u jednoj od jedinica [broj otkaza/moto čas motora], [broj otkaza/moto čas transmisije] ili [broj otkaza/pređeni put], a intenzitete otkaza iz podsistema N, A, S u [broj otkaza/broj ispaljenih metaka topa].

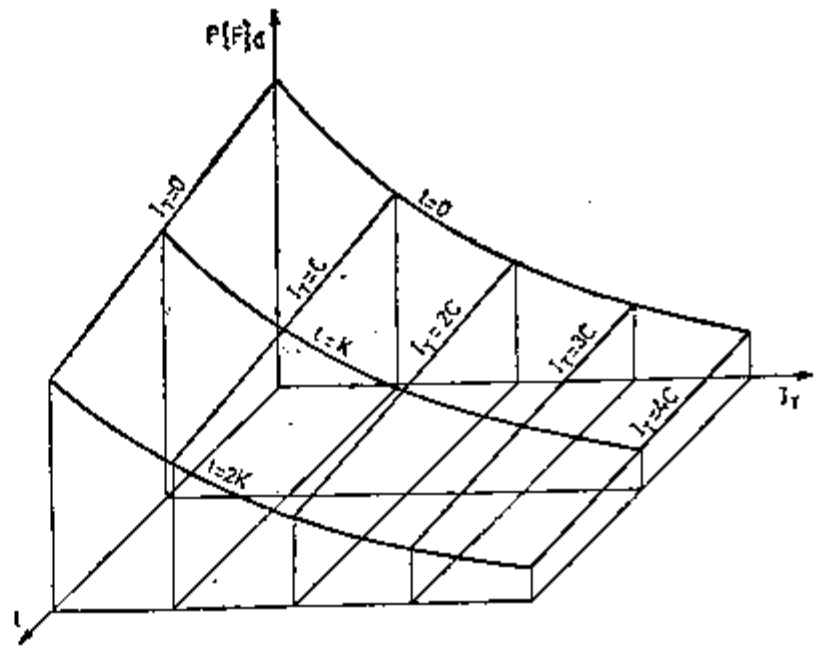
Na taj način se pouzdanost tenka kao složenog sistema, u zavisnosti od misije, može izraziti kao složena vjerojatnoća rada bez otkaza komponenata iz podsistema M, T, H, E, P, K i komponenata iz podsistema N, A, S . Matematički zapis tako izražene pouzdanosti složenog sistema ima slijedeći oblik:

$$R(t, I_T) = e^{-\lambda_M \cdot t} \cdot e^{-\lambda_F \cdot I_T} \quad (36)$$

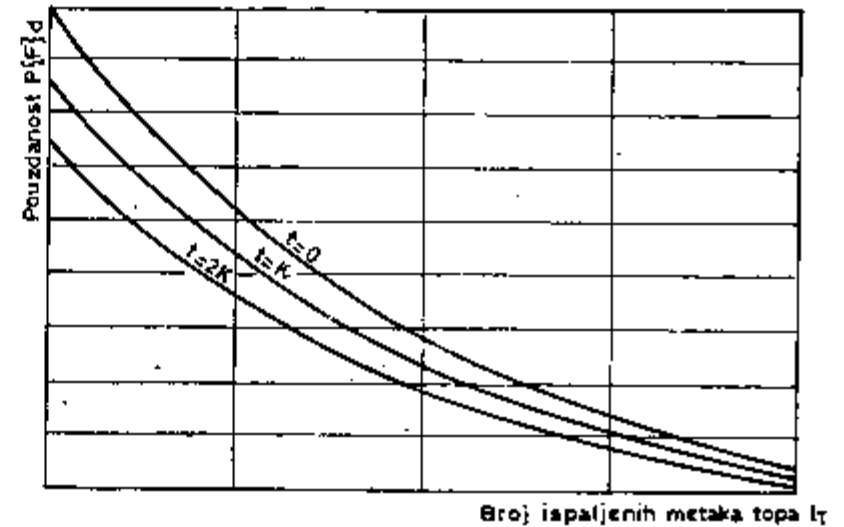
gdje je λ_M intenzitet otkaza komponenata iz podsistema M, T, H, E, P, K , λ_F intenzitet otkaza komponenata iz podsistema N, A, S , t vrijeme rada motora, I_T broj ispaljenih metaka topa.

Ukoliko na opisan način odredimo intenzitete otkaza grupa podsistema tenka, tada granice pouzdanosti tenka u vatrenoj misiji, pod uslovom da je potrebno kretanje tenka (30), (31), i da nije potrebno kretanje tenka (32), (33), možemo odrediti adekvatno izrazu (36).

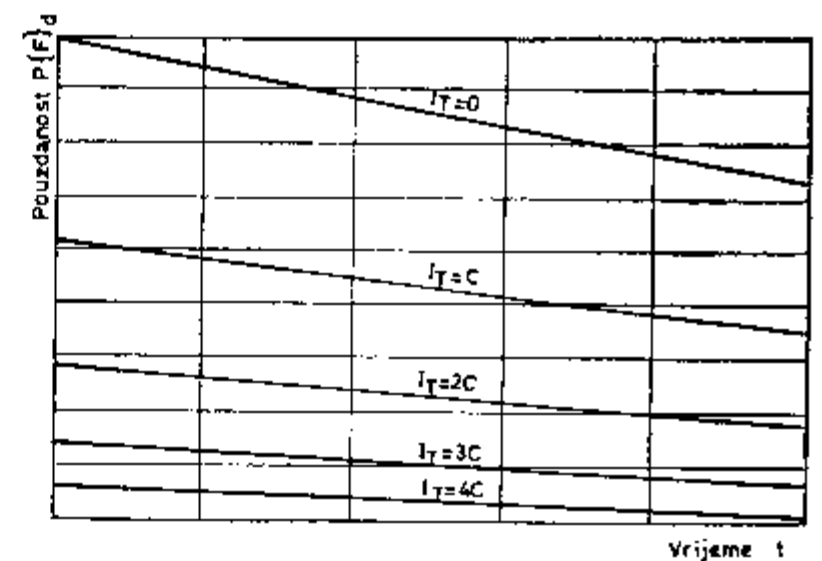
Na osnovu izraza (27) moguće je izračunati totalnu pouzdanost tenka u vatrenoj misiji $P\{F\}$. Budući da je pouzdanost $P\{F\}$ u funkciji vremena rada motora i broja ispaljenih metaka topa,



Sl. 3 Donja granica pouzdanosti tenka u vatrenoj misiji C, K — konstante



Sl. 4 Pouzdanost tenka u vatrenoj misiji za različite vrijednosti vremena rada motora



Sl. 5 Pouzdanost tenka u vatrenoj misiji za različite vrijednosti broja ispaljenih metaka topa

ona se može prikazati kao zakrivljena površina u trodimenzionalnom sistemu (slika 3).

Presjeci te površine za različite vrijednosti vremena rada motora i broja ispaljenih metaka topa prikazani su na slikama 4 i 5.

Zaključak

Ovaj model može biti korišten za specificiranje potrebne pouzdanosti tenka pri definiranju TTZ, kao i za predviđanje pouzdanosti misije, što bi obavio sistemski konstruktor prije izrade prototipa i početka proizvodnje. Osnovni ulazni podaci za primjenu modela su komponente sistema za pokretnu i vatrenu misiju, skup zavisnih komponenta sistema, vjerojatnoća obavljanja vatrene misije iz pokreta, te intenziteti otkaza komponenta sistema. Kompo-

nente za vatrenu misiju treba da budu određene pod uslovom da je potrebno kretanje tenka na određenu udaljenost ili nije.

Kako je u praksi dovoljno odrediti samo donju granicu pouzdanosti, u modelu se ulazi s vjerojatnoćom obavljanja vatrene zadatka u pokretu $\alpha=1$ i pretpostavkom da su otkazi komponenta sistema statistički nezavisni. Nadalje, kako je pouzdanost u vatrenom zadatku $P\{F\}$ manja od pouzdanosti u pokretnom zadatku $P\{M\}$, dovoljno je predvidjeti samo $P\{F\}$.

Ukoliko ocenu intenziteta otkaza komponenta sistema izvršimo na osnovu praćenja ponašanja sistema u eksploataciji, tada je na osnovu datog modela moguće izvršiti ocjenu pouzdanosti svake serije proizvoda bez posebnih ispitivanja, i na taj način pratiti rast pouzdanosti.

Literatura:

- [1] ALPAIDZE G. E., ROMANOV L. G., ČERVONUI A. A., ŠAHTARIN F. K.: »Garantijski nadzor za složenim tehničkim sistemami«, Mašinstroenie, Moskva, 1988.
- [2] CHUL KIM: »Analysis for Mission Reliability of a Combat Tank«, IEEE Transactions on Reliability, vol. 38, № 2, 1989.
- [3] VUJANOVIĆ N.: »Teorija pouzdanosti tehničkih sistema«, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1987.
- [4] VUKADINOVIĆ S.: »Elementi teorije vjerojatnoće i matematičke statistike«, Privredni pregled, Beograd, 1981.
- [5] BUCIĆ J.: »Pouzdanost, popravljivost i raspoloživost složenog borbenog sredstva«, Magistarski rad, CVTS KoV JNA »General armije Ivan Gošnjak«, Zagreb, 1990.