

Mr Vladimir Šepec,
mr Saša Devetak,
major,
Vojna akademija,
Beograd

EFIKASNOST SISTEMA PVO U USLOVIMA ELEKTRONSKIH DEJSTAVA

UDC: 623.762 : 623.623
623.623 : 623.79

Rezime:

U radu je primenjena teorija masovnog opsluživanja u analizi efikasnosti sistema protivvazduhoplovne odbrane (sistema PVO) u uslovima elektronskih dejstava protivnika. Prikazan je model za ocenu efikasnosti sistema PVO i predstavljeni su izrazi za procenu efikasnosti sistema PVO u uslovima elektronskih dejstava.

Ključne reči: teorija masovnog opsluživanja, efikasnost, sistem PVO, elektronska dejstva.

EFFICIENCY OF ANTI-AIRCRAFT SYSTEM IN ELECTRONIC WARFARE

Summary:

In this article the theory of mass servicing is used in the analysis of efficiency of anti-aircraft system in the conditions of electronic warfare. The model for analysis of the anti-aircraft system efficiency has been shown and formulas for qualitative analysis of anti-aircraft system efficiency have been presented in the conditions of electronic warfare.

Key words: the theory of mass servicing, efficiency, anti-aircraft defence, electronic warfare.

Uvod

Poznato je da je glavni zadatak sistema PVO vođenje neprekidne borbe sa protivnikovim sredstvima za napad iz vazdušnog prostora i obezbeđenje maksimalne odbrane branjenih objekata i njihovog normalnog funkcionisanja. Sigurna odbrana objekata zavisi od efikasnosti sistema PVO koji brane određeni objekat. Efikasnost sistema PVO karakteriše se, kako efikasnošću gađanja (sposobnošću uništenja ciljeva u vazdušnom prostoru), tako i sposobnošću izvršavanja zadataka gađanja ciljeva u svim uslovima i u bilo kom momentu. Na taj način, pod efikasnošću sistema PVO podrazumeva se njegova sposobnost da izvršava zadatke u bilo kom momentu i u različitim

uslovima borbenog korišćenja, a naročito u uslovima elektronskih dejstava.

Stepen izvršavanja zadataka koji su postavljeni pred sistem PVO moguće je okarakterisati kao verovatnoću odbrane branjenih objekata. Međutim, taj kriterijum se retko primenjuje zbog složenosti proračuna. S druge strane, stepen odbrane objekata određuje se na osnovu gubitaka koji su nanoseni sredstvima za napad iz vazdušnog prostora protivnika, tako da će upravo to biti kriterijum za ocenu efikasnosti koji će u radu biti prezentovan.

Analitički model za ocenu efikasnosti sistema PVO

U stručnoj literaturi [1], kao kriterijum ocene borbene efikasnosti grupacije

raketnih sistema PVO, primenjuje se matematičko očekivanje broja oborenih ciljeva u toku odbijanja naleta [1]:

$$N_c = N \cdot W \quad (1)$$

gde je:

N_c – broj oborenih ciljeva,

N – broj ciljeva koji učestvuju u pojasu naleta i po kojima je moguće vatreno dejstvo grupacije PVO,

W – srednja verovatnoća uništenja pojedinačnog cilja u pojasu naleta sa grupacijom PVO.

Za određivanje veličine W neophodno je znati gustinu naleta λ (broj aviona u jedinici vremena).

Srednja verovatnoća uništenja pojedinačnog cilja može se odrediti prema formuli [1]:

$$W = p_g \cdot E_m \cdot k_{ot} \quad (2)$$

gde je:

p_g – verovatnoća gađanja,

E_m – verovatnoća uništenja cilja sa m raketa u uslovima kada je cilj gađan jednim raketnim sistemom PVO iz sastava grupacije,

k_{ot} – verovatnoća otkrivanja cilja do granice koja obezbeđuje gađanje cilja.

Veličinu E_m moguće je odrediti na osnovu formule:

$$E_m = 1 - (1 - E_1)^m \quad (3)$$

gde je:

E_1 – verovatnoća uništenja cilja jednom raketom sa uračunatim celokupnim procesom funkcionisanja borbenog sredstva PVO.

Veličina k_{ot} određuje se na osnovu obrade statističkih podataka za otkrivanje ciljeva u vazдушnom prostoru u različitim uslovima (odsustvo ili postojanje elektronskih smetnji).

Kada se grupacija PVO sastoji od n raketnih sistema PVO i malom zonom uništenja,¹ verovatnoća gađanja cilja P_g u naletu može se odrediti prema Erlangovoj formuli [1]:

$$p_g = 1 - p_{ng} = 1 - \frac{\alpha^n}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!}} \quad (4)$$

gde je:

p_{ng} – verovatnoća da cilj neće biti gađan u toku odbijanja naleta,

α – parametar, $\alpha = \lambda \cdot t_g$,

λ – gustina ciljeva u naletu,

t_g – srednje vreme neophodno za gađanje jednog cilja.

Ovakva procena efikasnosti sistema PVO može da zadovolji uslove kada protivnik ne raspolaže sredstvima za ometanje i obmanjivanje, pre svega radarskih sredstava, sistema PVO, a ni ubojnim sredstvima za dejstvo po sistemima PVO. Način procene uticaja protivnika na efikasnost sistema PVO, kada on raspolaže ovim sredstvima, biće opisan u narednom tekstu.

Posmatrajmo problem na jednom primeru. Na objekte, branjene sistemima PVO, vrši se nalet sa srednjom gustinom $\lambda = 4$ aviona/minutu. U pojasu naleta objekte brani 5 sistema PVO ($n = 5$) sa srednjim vremenom gađanja $t_g = 0,5$ mi-

¹ U slučaju kada je zona uništenja velika određivanje verovatnoće gađanja je mnogo složenije (vidi [1], strana 88).

nuta. U naletu učestvuje 20 aviona ($N = 20$). Neophodno je oceniti efikasnost sistema PVO objekata, kada je $E_m = 0,7$ i $k_{ot} = 0,9$.² Pri rešavanju polazimo od pretpostavke da nalet ciljeva na objekte predstavlja Poasonov tok. Rešenje je sledeće:

– odredimo veličinu $\alpha = \lambda \cdot t_g = 4 \cdot 0,5 = 2$ aviona,

– na osnovu veličina $\alpha = 2$ i $n = 5$ dobija se da je $p_g = 0,96$ (na osnovu tablica [1, 2]),

– u ovakvim uslovima verovatnoća uništenja cilja je $W = 0,96 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 0,60$.

Na taj način, matematičko očekivanje broja oborenih ciljeva iznosi: $N_c = N \cdot W = 20 \cdot 0,60 = 12$ aviona.

Ostali avioni iz grupe u naletu probili bi se do branjenog objekta.

U literaturi [2] sistem veza se tretira kao sistem masovnog opsluživanja³ sa otkazom, tj. kao osnovni matematički model koristi se, takođe, formula Erlanga, a tok informacija koji sistem veza opslužuje posmatra se kao Poasonov tok. Međutim, za razliku od prethodne analize ovde je suština u analizi uticaja protivnika na sistem veza. Naredna elaboracija ovog pitanja treba da potvrdi da opisana tehnologija procene uticaja protivnika na efikasnost sistema veza može da se primeni i na procenu efikasnost sistema PVO.

² Ovo je statistička procena, a može se izračunati i putem teorije masovnog opsluživanja. Za 4 aviona/min $\alpha = 0,25$, jer avioni doleću svakih 15 sekundi, a to je četvrtina minute. Otkrivanje cilja obavlja se jednim radarom ($n = 1$), $k_s = 1$, pa je

$$k_{ot} = 0,8 \left(k_{ot} = 1 - \frac{\alpha}{k_s} = 1 - \frac{0,25}{1+0,25} = 1 - 0,2 = 0,8 \right) \quad (5)$$

³ Ova teorija poznata je i kao teorija repova.

Da bi mogao da se prati uticaj protivnika na sistem PVO, u formulu za izračunavanje verovatnoće gađanja cilja biće uveden novi parametar – operativna raspoloživost (spremnost) sistema PVO, koji se izražava preko koeficijenta spremnosti (k_s). Prema tome, sada će izraz glasiti:

$$p_g = 1 - p_{ng} = 1 - \frac{\alpha^n \cdot \frac{1}{k_s^n}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} \cdot \frac{1}{k_s^k}} \quad (6)$$

Međutim, potrebno je definisati koeficijent spremnosti k_s . On predstavlja pokazatelj da će sistem biti u funkciji (bez otkaza) za vreme od akvizicije cilja do usmeravanja rakete za lansiranje, ili detaljnije: otkrivanje cilja, identifikaciju, „osvetljavanje“ i praćenje cilja i proračun parametara za lansiranje raketa. U širem smislu, može se podrazumevati i vreme vođenja rakete do susreta sa ciljem.

Ako razmatramo samo otkaze sistema usled elektronskih dejstava protivnika, koeficijent spremnosti može se definisati kao [2]:

$$k_s = (1 - p_o) \cdot (1 - p_u) \quad (7)$$

gde je:

p_o – verovatnoća ometanja sistema PVO (prevashodno radara u PVO),

p_u – verovatnoća uništenja sistema PVO ubojnim sredstvima (avijacijom, vodenim protivradarskim raketama i dr.).

Poznato je da su radarska sredstva u sistemima PVO najosetljivija na elektronska dejstva protivnika. Sagledavanjem broja elektronskih sredstava protiv-

nika i daljine sa kojih može da izviđa, ometa, odnosno dejstvuje ubojnim sredstvima, primenom teorije masovnog opsluživanja, može se odrediti verovatnoća otkrivanja (izviđanja), ometanja i uništenja radarskih uređaja.

Verovatnoća otkrivanja (izviđanja) radara p_i može se predstaviti izrazom [2]:

$$p_i = 1 - p_n = 1 - \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{1}{\sum_{m=0}^n \frac{\rho^m}{m!}} \quad (8)$$

gde je:

p_n – verovatnoća da radar neće biti otkriven,

n – ukupan broj izviđačkih uređaja,

m – broj aktivnih izviđačkih uređaja,

ρ – intenzitet rada radara, $\rho = t_p / t_s$,

t_p – srednje vreme kada radar nije u radu,

t_s – srednje vreme rada radara.

Izraz za verovatnoću ometanja radara p_o glasi [2]:

$$p_o = 1 - p_n = 1 - \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{1}{\sum_{m=0}^n \frac{\rho^m}{m!} \cdot \frac{1}{p_i^m}} \quad (9)$$

gde je:

p_n – verovatnoća da radar neće biti ometan,

n – ukupan broj ometača,

m – broj aktivnih ometača,

ρ – intenzitet rada radara,

p_i – verovatnoća otkrivanja (izviđanja).

Za određivanje verovatnoće uništenja radarskih uređaja p_u može se primeniti izraz [2]:

$$p_u = 1 - p_n = 1 - \frac{\frac{\delta^n}{n!} \cdot \frac{1}{p_{otk}^n}}{\sum_{m=0}^n \frac{\delta^m}{m!} \cdot \frac{1}{p_{otk}^m}} \quad (10)$$

gde je:

p_n – verovatnoća da radar neće biti uništen,

n – ukupan broj ubojnih sredstava koja dejstvuju po elementima sistema PVO,

m – broj aktivnih ubojnih sredstava,

δ – intenzitet pokretljivosti sistema PVO,

$\delta = t_p / t_s$,

t_p – srednje vreme kada sistem PVO nije u radu,

t_s – srednje vreme rada sistema PVO,

p_{otk} – verovatnoća otkrivanja sistema PVO (razlikuje se od p_i , jer se sistem PVO može otkriti i drugim sredstvima izviđanja).

Predstavljeni teorijski model daje osnovne relacije za kvantitativnu analizu (procenu) efikasnosti sistema PVO u uslovima elektronskih dejstava protivnika.

Određivanje daljine izviđanja (otkrivanja rada radara), ometanja i obmanjivanja⁴ (aktivnim i pasivnim sredstvima) i dejstva ubojnim sredstvima su poznata [3, 4, 5]. Da bi procena bila kompletna, ostaje još jedan parametar koji treba proceniti ili proračunati, a to je srednji broj radarskih sredstava koji će biti otkriveni, ometani ili uništeni. Kao primer poslužiće obrazac (matematički model) za izračunavanje srednjeg broja radara koji će biti izviđani (otkriveni) [2]:

$$N_i = N \cdot \left[1 - \left(1 - e^{-\frac{M_i}{n}} \cdot p_i \cdot p_i \right)^{\frac{n}{N+L}} \right] \quad (11)$$

⁴ Ometanjem se može postići lažna daljina do cilja, lažni pravac (azimut) ili lažni broj ciljeva i dr.

gde je:

N_i – srednji broj radara koji će biti otkriveni (izviđani),

N – ukupan broj radara koje treba otkriti sa n uređaja,

n – broj izviđačkih uređaja,

M_i – srednji broj izviđačkih uređaja koji neće moći da izviđaju (biće uništeni ili se premeštaju),

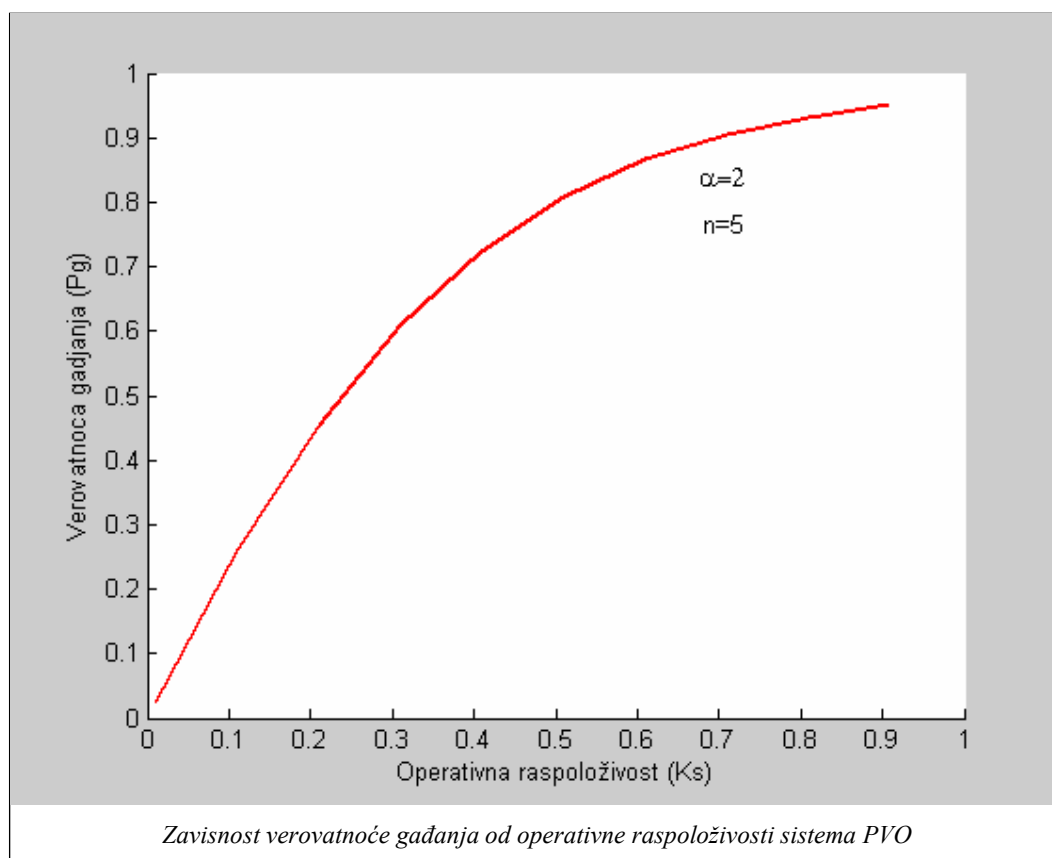
p_t – verovatnoća tehnički ispravnog funkcionisanja izviđačkih uređaja (pouzdanost),

p_i – verovatnoća izviđanja (otkrivanja),

L – broj ostalih (radnih i lažnih) radara na prostoru gde se nalazi N radara koje treba otkriti.

Prethodni primer sada će biti razmotren u novim uslovima. Ako se pretpostavi da će vreme rada sistema PVO biti jednako pauzama (vremenu kada radarski sistemi PVO namerno „ćute“ ili se sistem PVO premešta), $\rho = 1$. U slučaju kada protivnik izviđa i ometa sa po jednim uređajem ($n = 1$), verovatnoća otkrivanja (izviđanja) radara biće $p_i = 0,5$, a za iste uslove verovatnoća ometanja je $p_o = 0,333$. Sada može da se izračuna i kolika će biti operativna raspoloživost, pa je $k_s = 1 - 0,333 = 0,667$, a na osnovu ovog podatka može da se odredi verovatnoća gađanja.

U prvom slučaju za $\alpha = 2$ i $n = 5$, a za $k_s = 1$, jer je operativna raspoloživost bila potpuna $p_g = 0,96$, ali sada operativna



raspoloživost zbog ometanja protivnika više nije potpuna ($k_s = 0,667$), pa je i verovatnoća gađanja manja, tj. $p_g = 0,88$. Na slici se može videti zavisnost verovatnoće gađanja p_g od operativne raspoloživosti k_s za poznat parametar α i broj sistema PVO. Za grafik zavisnosti urađen je program u programskom paketu Matlab 6.5.

Još jedna veličina biće umanjena zbog ometanja, a to je verovatnoća otkrivanja cilja, koja je za $\alpha = 0,25$, $n = 1$ i $k_s = 0,66$, jednako $k_{ot} = 0,72$ (primena teorije masovnog opsluživanja).⁵ Prema tome, srednja verovatnoća uništenja ciljeva je:

$$W = p_g \cdot E_m \cdot k_{ot} = 0,88 \cdot 0,7 \cdot 0,72 = 0,44$$

pa će broj oborenih ciljeva biti:

$$N_C = N \cdot W = 20 \cdot 0,44 = 8,8 \approx 9 \text{ aviona.}$$

U ovom primeru nije razmotren slučaj kada bi deo sistema PVO bio i uništen dejstvom protivnika, ali je zaključak evidentan. Ometanje radarskih sredstava PVO umanjilo je efikasnost sistema PVO, u našem slučaju za tri aviona. Dalja primena opisane tehnike procene pokazala bi u potpunosti njenu upotrebnu vrednost.

Zaključak

U radu je predstavljen model za procenu efikasnosti sistema PVO. Kao osnovni kriterijum ocene efikasnosti pri-

menjeno je matematičko očekivanje broja oborenih ciljeva u vazдушnom prostoru u toku odbijanja naleta. Implementacija teorije masovnog opsluživanja omogućuje određivanje verovatnoće gađanja, a izradom programskih paketa u Matlabu moguće je simulirati zavisnosti verovatnoće gađanja od parametara koji opisuju sistem. Primenom teorije masovnog opsluživanja mogu se, takođe, odrediti verovatnoće izviđanja, ometanja i uništenja radarskih uređaja sistema PVO, odnosno proceniti efikasnost sistema PVO u uslovima elektronskih dejstava. Može se zaključiti da je osetljivost radarskih uređaja u sistemima PVO primorala savremene sisteme PVO da zasnivaju svoj rad i na drugim senzorskim uređajima, kao što su: televizija, televizija niskog nivoa osvetljenosti i termovizija. Model je primenljiv u proceni situacije i odlučivanju o upotrebi snaga u borbenim dejstvima.

Literatura:

- [1] Petruhov, S. I., Stepanov, A. N.: Efikasnost raketnih sredstava PVO (prevod sa ruskog), VIZ, Beograd, 1979.
- [2] Šepec, V. V.: Procena efikasnosti sistema veza u borbi, lično izdanje, Beograd, 2004.
- [3] Palij, I. A.: Radio-elektronska borba (prevod sa ruskog), VIZ, Beograd, 1982.
- [4] Razingar, A.: Protivelektronska dejstva (drugo prošireno izdanje), VIZ, Beograd, 1982.
- [5] Šlezinger, R.: Principi protivelektronske borbe (prevod sa engleskog), SSNO, Beograd, 1985.

⁵ Ovi primeri koji su se izračunavali prema teoriji masovnog opsluživanja, mogu se proveriti u tablicama – prilog broj 13 [2].