

Dr Čedomir Gacović,
pukovnik, dipl. inž.
Vojna akademija,
Beograd

ISPITIVANJE UTICAJA OBLAKA SMETNJI NA MONOIMPULSNI NIŠANSKI RADAR I PROTIVRADARSKJE RAKETE*

UDC: 623.46 :: 621.396.96 : 621.391.82

Rezime:

U ovom radu razmatrane su metodologije i eksperimentalni rezultati ispitivanja uticaja oblaka smetnji na monoimpulsne nišanske radare i protivradarske rakete. Rezultati su pokazali ispravnost postavljenih teorijskih modela i izvršenih analiza primene oblaka smetnji tokom agresije na Jugoslaviju 1999. godine.

Ključne reči: nišanski radar, monoimpulsni radar, uglovna greška, oblak smetnji, ometanje, raketni sistemi, protivavionska raketa.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF JAMMING CLOUDS ON MONOPULSE TRACKING RADARS AND ANTIRADAR MISSILES

Summary:

This paper considers the methods and the experimental results of the analysis of the jamming cloud influence on monopulse tracking radars and antiradar missiles. The results confirmed the value of the set theoretical models and the analyses of the application of jamming clouds carried out during the NATO aggression on Yugoslavia in 1999.

Key words: tracking radar, monopulse radar, angle error, jamming cloud, jamming, missile systems, anti-aircraft missile.

Uvod

Zaštita radarskih sistema od protivradarskih raketa primenom oblaka smetnji, koja je primenjena u toku agresije na Jugoslaviju 1999. godine, bila je na osnovu mnogih pokazatelja uspešna. Brojne metode zaštite bile su primenjene, uglavnom, samo na osnovu teorijskih analiza. Bilo je očigledno da je i protivnik koristio oblake smetnji za zaštitu od protivavionskih (PA) raketa, i za pomeranje nišanskih linija, odnosno ekvisig-

nalnih (ESP) pravaca nišanskih radara sa cilja. Lažno aktiviranje bojnih glava i promašaji naših PA raketa idu u prilog toj pretpostavci.

Zbog toga je doneta odluka da se u širem rejonu Niša, na vežbovnoj prostoriji 230. raketnog puka PVO, izvrši ispitivanje uticaja oblaka smetnji na RS PVO, KUB-M/M3. To je izuzetno složen sistem, sa komponentama koje se, sistemski gledano, nalaze u osnovi i najsavremenijih raketnih sistema iste namene. Osim toga, princip vođenja PA rakete ovog sistema na cilj gotovo je identičan principu vođenja protivradarskih raketa na radar.

* Rad je prezentiran na naučno-stručnom skupu TOC KoV „Ispitivanje kvaliteta sredstava NVO“, 02. 12. 2003. u Beogradu.

Upravo radi toga je izučavanje uticaja oblaka smetnji na ovaj sistem i mogućnost primene sistema u tim uslovima od velikog značaja i iz edukativnih razloga.

Ciljevi ispitivanja bili su, osim verifikacija dela teorijskih rezultata, nalaženje mogućnosti za primenu oblaka smetnji u obuci operatora radarskih stanica za rad u uslovima protivelektronske borbe (PED). Ispitivanja su vršena u okviru RS PVO KUB-M/M3 i zbog toga što je u tom sistemu primenjen savremeni monoimpulsni koncept u nišanskom radaru 1S31 i u radarskoj glavi za samonavodnje rakete 3M9.

Osnovna, početna ideja eksperimenta bila je formiranje parnog modela oblaka smetnji i ispitivanje uticaja takvog oblaka na nišanski radar i RGS rakete u različitim uslovima. Cilj je bio da se dobiju odgovori na tri osnovna pitanja, koja se odnose na: uticaj oblaka smetnji na nišanski radar 1S31 RS PVO KUB-M/M3, mogućnost primene oblaka smetnji za zaštitu od protivradarskih raketa i uticaj oblaka smetnji na rakete 3M9 RS PVO KUB-M/M3.

Ispitivanje uticaja oblaka smetnji na nišanski radar

Planirano je da se eksperimenti vrše tako što bi helikopter izbacivao paketiće pasivnih dipola, formirao oblake pasivnih smetnji, koje bi zatim osvetljavao ometačkim signalima na frekvenciji nišanskog radara 1S31. Nišanski radar zahvatao bi helikopter – cilj, a pomoću televizijsko-optičkog sistema 9Š33 merilo bi se odstupanje optičke ose, odnosno ESP od cilja. Merenja bi se vršila u vari-

janti primene pasivnog oblaka smetnji, tj. bez osvetljavanja, i u varijanti primene kompletnog oblaka smetnji pri osvetljavanju signalima sa helikoptera.

Zbog troškova i složenosti organizacije navedenih eksperimenata i zbog nemogućnosti obezbeđenja predajnika osvetljenja ometačkim signalima na frekvenciji nišanskog radara, odustalo se od navedene pune varijante ispitivanja. Umesto toga eksperimenti su se vršili tako što su dve radarske stanice za osmatranje i navođenje RStON-1 RStON-2, razmeštene nedaleko jedna od druge, zbog potrebe da se izvrši sinhronizacija repeticionih frekvencija nišanskih radara (slika 1).

Nišanski radar ometač (NR_{OM}), iz RStON-1 (radarska stanica za osmatranje i navođenje), proglašen je za ometač, a nišanski radar NR, iz RStON-2, za ispitivani nišanski radar. Radne frekvencije nišanskih radara u radarskim stanicama puka razlikuju se zbog isključenja međusobnog ometanja nesinhronim impulsnim smetnjama, ali i zbog mogućeg oštećenja



Sl. 1 – Radarska stanica za osmatranje i navođenje

prijemnika jednog radara predajnim signalima drugog. Za potrebe eksperimenta izvršeno je kompletno prepodešavanje NR_{OM}, kako bi mogao preuzeti funkciju ometača radara NR. Zbog toga su radarske stanice postavljene tako da nije bilo optičke vidljivosti između njih. Postavljene su duž druge izohipse kote 369 iznad sela Čamurlije (sekcija 582 Niš 1:100 000), čime su obezbeđene iste nadmorske visine stanica (slika 4).

Na koti 322 iste sekcije, iznad sela Bajnac, formirane su dve grupe uglovnih reflektora na istoj visini. Grupe su, zavisno od eksperimenta, imale ulogu pasivnih, aktivnih ili kompletnih oblaka smetnji. Formirane su od dve vrste uglovnih reflektora u različitim kombinacijama, kao što je prikazano na slikama 2 i 3. Oni veći su formacijski reflektori dodeljeni svakom puku. Manji uglovni reflektori, sa dimenzijama jedne stranice između 8 i 15 cm, konstruisani su specijalno za ove eksperimente. Prethodna ideja da se stalni odrazi pojačavaju posipanjem dipol-reflektorima, koja je korišćena u toku rata, nije se pokazala uspešnom u ovim eksperimentima. Zbog malih dimenzija ($\lambda/4$) reflektori su se gubili u travi, i nije se primećivao njihov uticaj na radarski signal. Naravno, to ne mora biti konačan odgovor na pitanje o efikasnosti dipol-reflektora. Verovatno bi se sasvim drugačiji efekti dobili u slučaju povećanja upadnih uglova radarskih signala, što bi bilo interesantno sa stanovišta zaštite od protivradarskih raketa. Karakteristike upotrebljenih uglovnih reflektora nisu snimane. Postavljeni su na osnovu teorijskih pretpostavki oblika njihovih sekundarnih dijagrama zračenja. Kompletna ispitivanja „malih“ uglovnih reflektora vrše se u VA Vojske SCG.



Sl. 2 – Grupa od 6 „velikih“ linijski postavljenih uglovnih reflektora

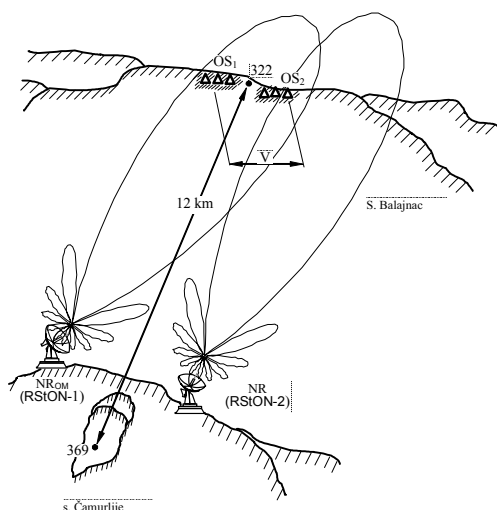


Sl. 3 – Grupa od 6 „velikih“ i 12 „malih“ uglovnih reflektora

Grupe uglovnih reflektora obeležene su belom tkaninom kako bi se mogle učiti pomoću televizijsko-optičkog vizira (TOV) 12 km udaljenih radarskih stanica (slika 4).

Merenje uglovne greške, odnosno odstupanje ESP nišanskog radara od izabranog cilja, vršilo se na sledeći način: najpre bi se jedna od dve grupe uglovnih reflektora proglasila za cilj, čime bi ona druga automatski bila ometačka. Nišanski radar NR bi se pomoću TOV-a (televizijsko-optički vizir) naveo na čaršav grupe reflektora koja je proglašena ciljem i izvršio zahvat. Zatim bi se merio položaj ESP pomoću precizne uglovne skale. Položaj pseudocentra odraza merio

bi se tek nakon 8 do 10 sekundi stabilnog zahvata. Ovo vreme proisteklo je iz uslova da vreme stabilnog zahvata bude veće ili jednako vremenu inercionog praćenja koje iznosi 3 do 4 s. Funkcije gustine verovatnoće snimale su se na osnovu 20 izvršenih zahvata iste grupe reflektora, u istim uslovima, osim u trećem eksperimentu, gde je zbog nestabilnog zahvata broj merenja povećan na 40.



Sl. 4 – Raspored radarskih stanica i oblaka smetnji u širem rejonu Niša

Odlučujući faktor da se broj merenja ograniči na 20 bio je smanjenje vremena opitovanja, odnosno rada radarskih stanica. To ne predstavlja malu veličinu, budući da je u toku ispitivanja izvršeno 1020 merenja, ne računajući ona koja su vršena radi ustanovljavanja najbolje kombinacije grupa.

U drugom slučaju bi se druga grupa reflektora proglasila za cilj, odnosno vršio bi se zahvat te grupe reflektora i merio uticaj prve grupe koja se proglašava ometačkom tačkom.

U trećem slučaju bio bi zahvaćen geometrijski centar i merio položaj pseudocentra.

Grupe uglovnih reflektora imale su ulogu parnog pasivnog oblaka smetnji, ako je bio uključen samo nišanski radar, odnosno kompletnog oblaka smetnji ako ih je, pored NR, osvetljavao predajnik NR_{OM}. Merenja su vršena u tri varijante, i to kada su grupe uglovnih reflektora iste ili približno iste, kada je prva grupa veća od druge, kada je druga grupa veća od prve, i kombinacijom grupa. Pri tome je međusobni razmak grupa reflektora – baza uziman kao parametar. Biran, je takođe, za tri specifična slučaja na osnovu teorije o rezolucionim uglovima kanala za automatsko praćenje ciljeva po uglovnim koordinatama [2]:

- razmak pri kojem je međusobni ugao grupa reflektora Θ posmatran sa mesta NR bio manji od rezolucionog ugla nišanskog radara Θ_r , tj. $\Theta < \Theta_r$;
- razmak pri kojem je $\Theta \approx \Theta_r$;
- razmak pri kojem je $\Theta > \Theta_r$.

U svim merenjima servosistem za pomeranje antene nišanskog radara po mesnom uglu isključivan je nakon postavljanja na visinu oblaka smetnji.

Rezultati ispitivanja pokazali su da je ovako definisani eksperiment potpuno uspeo.

Pretpostavke o mogućnosti formiranja oblaka smetnji na zemlji bile su ispravne. Jedina, mada veoma važna nepogodnost, bila je nemogućnost provere rada radara u faznom režimu, zbog nemogućnosti stvaranja pokretnih oblaka smetnji, kako je to u punoj konfiguraciji eksperimenta zamišljeno. Ipak, postavka je dobra podloga za nastavak istraživanja u ovom području.

Otklonjene su mnoge dileme koje je ekipa imala na početku eksperimenta. Eksperimenti sa imitiranjem treptećih smetnji nisu uspjeli, zbog nemogućnosti pomeranja dijagrama zračenja NR_{OM} po azimutu, brzinom kojom bi se mogle imitirati bar spore trepteće smetnje. Naime, širina propusnog opsega servosistema nišanskog radara koji „glumi“ ometač je reda nekoliko Hz, a ručno pomeranje snopa u tom ritmu je skoro nemoguće zbog relativno velike širine dijagrama zračenja na 12 km od radara, tj. na mestu oblaka smetnji. Mogućnost sofisticiranog upravljanja servosistemom ostaje da se proverí u nastavku istraživanja.

Ispitivanje mogućnosti primene oblaka smetnji za zaštitu od protivradarskih raketa – metodika 2

U konfiguraciji prikazanoj na slici 4 NR_{OM} bio bi postavljen na mesto OS_1 , a NR bi ostao na istom mestu. Antena NR_{OM} bi se usmerila na NR i uključio predajnik. U nišanskom radaru NR uključio bi se režim praćenja izvora šumnih smetnji, zbog povećanog dinamičkog opsega u tom režimu i izvršio zahvat. Nakon toga bi se na opisani način proverio položaj ESP antene NR . Budući da NR ima ulogu protivradarske rakete, njegov predajnik mora biti isključen.

Varijanta nije proverena zbog opasnosti od oštećenja prijemnika NR predajnim signalima NR_{OM} velike snage. Umesto toga, ekipa se odlučila za eksperiment u kojem bi oblaci smetnji OS_1 i OS_2 imali posredne uloge. Raspored radarskih stanica i oblaka smetnji ostao bi isti kao na slici 4, s tom razlikom što bi NR_{OM} radio samo na predaji, a NR samo

na prijemu. Oblak smetnji OS_1 proglašen je za radar – cilj, a OS_2 ima svoju stvarnu ulogu – odvlačenje ESP antene NR (protivradarske rakete) od OS_1 tj. radara – cilja. Imitiranje većeg signala OS_1 u odnosu na signal OS_2 vršen je pravilnim usmeravanjem dijagrama zračenja NR_{OM} .

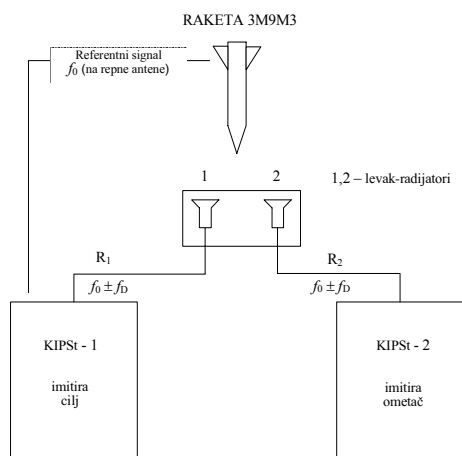
Ispitivanje uticaja oblaka smetnji na radarsku glavu PA rakete – metodika 3

Kao i u prethodnom slučaju, predviđeno je da se eksperiment vrši tako što bi helikopter formirao oblake pasivnih dipola koje bi osvetljavao signalima na frekvenciji predajnika osvetljenja kanala vođenja rakete na cilj. Ovako definisani eksperimenti nisu se mogli izvršiti iz već opisanih razloga, koji su ovde pojačani potrebom da signali osvetljenja sa helikoptera imaju i komponentu Doplerovog pomaka [3]. Varijanta primene oblaka smetnji na zemlji ne može se ostvariti i zbog nemogućnosti uvođenja brzine u signal osvetljenja. Predajnik osvetljenja cilja $RstON$ -a osvetljava cilj veoma stabilnim signalima na fiksnoj frekvenciji f_0 , koja se može menjati samo pre lansiranja rakete.



Sl. 5 – Postavljanje levak-antena imitatora cilja i ometača ispred antene rakete 3M9M3 – pogled sa leve strane

Zbog toga je odlučeno da se eksperimenti izvedu na sledeći način:



Sl. 6 – Povezivanje kontrolno-ispitnih pokretnih stanica sa raketom 3M9M3

Raketni sistem PVO KUB-M/M3 opremljen je kontrolno-ispitnim pokretnim stanicama (KIPSt) u okviru kojih se nalazi komplet instrumenata za proveru RGS raketa. Za ovaj eksperiment stanice su smeštene jedna pored druge (slika 5) i povezane raketom po šemi prikazanoj na slici 6. Stanica KIPSt-1 imitira cilj, tako da osim glavnog čeonog kanala na frekvenciji $f_0 \pm f_D$ (levak-antena 1) obezbeđuje i referentni signal f_0 preko repne antene rakete [4].

Planirano je da se eksperiment izvede tako što bi se u prvoj varijanti menjali odnosi snaga R_1 i R_2 , tj. Z_0 sa bazom (B) kao parametrom. Zatim bi se uz konstantan odnos Z_0 menjala baza u skladu sa rezolucionim uglom (Θ_r) RGS rakete.

Rezultati ispitivanja PA rakete novije generacije bili su bitno drugačiji od onih koje je ekipa očekivala. Pokazalo se da su ugrađene zaštite od ometanja po

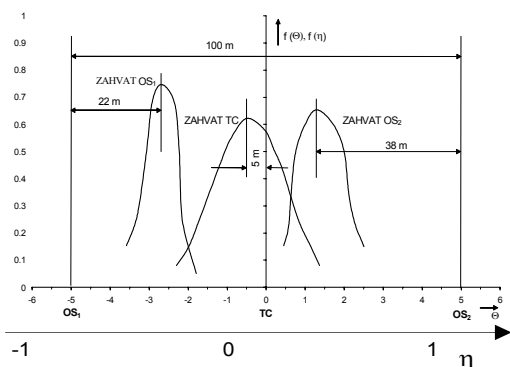
uglu znatno efikasnije nego što se pretpostavljalo na osnovu prethodnih teorijskih razmatranja. Budući da proizvođač rakete nije dao sve podatke o raketi, uključujući električne šeme pojedinih vitalnih sklopova, zaključeno je da bi eksperimente trebalo nastaviti nakon detaljnijeg proučavanja konstrukcije rakete, uz angažovanje stručnjaka iz VTI i TOC-a. Zbog toga je nakon većeg broja izvršenih merenja (>50), konstatovano da je ova raketa izuzetno otporna na ometanje po uglovnom kanalu. Raketa se drži zahvaćenog cilja nezavisno od odnosa snaga Z_0 i baze B. Do prezahvata ometača dolazi tek ako se antena ometača poklopi sa antenom cilja, i tu ostaje izvesno vreme. U suprotnom, ako se antena ometača samo prevuče preko antene cilja, raketa nastavlja da prati cilj. Ako se tome doda već navedena karakteristika ove rakete da je u stanju da za svega 0,3 s ponovo zahvati cilj po brzini, ako se desi da ga, na primer, zbog ometanja izgubi – može se zaključiti da je raketa izuzetno otporna na protivelektronska dejstva. Unutar vremena inercionog praćenja po uglu od 3 do 4 s, raketa može 10 ($3/0,3$) puta da izgubi i ponovo zahvati cilj po brzini, što nije bio slučaj sa starijom raketom 3M9M, kojoj je za ponovni zahvat cilja bilo potrebno vreme od 2 do 3 s.

Deo eksperimentalnih rezultata ispitivanja uticaja oblaka smetnji

U eksperimentu 1 koji je vršen po metodici ispitivanja 1 pri $\Theta < \Theta_r$, oblaci smetnji OS₁ i OS₂ su pasivni. Uglovno rastojanje oblaka smetnji OS₁ i OS₂ $\Theta < \Theta_r$. Na koti

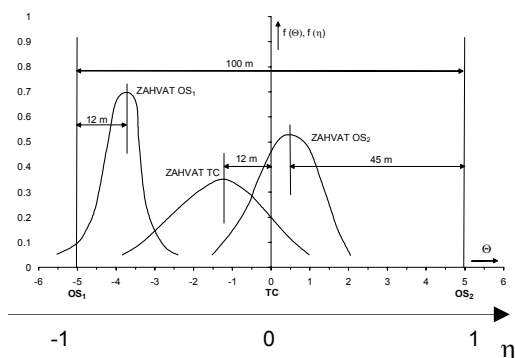
322, koja je od kote 369 udaljena 12 km, rastojanje između oblaka smetnji (baza B) jeste $B = \operatorname{tg} \Theta_r \cdot R = \operatorname{tg} 0,85^\circ \cdot 12\,000 = 178 \text{ m}$. Izabrano je rastojanje od 100 m, tj. $B = 100 \text{ m}$. Merenja, kojih je bilo 20, vršena su u tri različite varijante, i to: $OS_1 = OS_2$; $OS_1 > OS_2$ i $OS_1 < OS_2$. Vrednost uglovne greške uzeta je tek nakon 8 do 10 s u stabilnom praćenju.

Varijanta 1: $OS_1 = OS_2$ ($OS \rightarrow$ Sl. 3; $OS_2 \rightarrow$ Sl. 3)



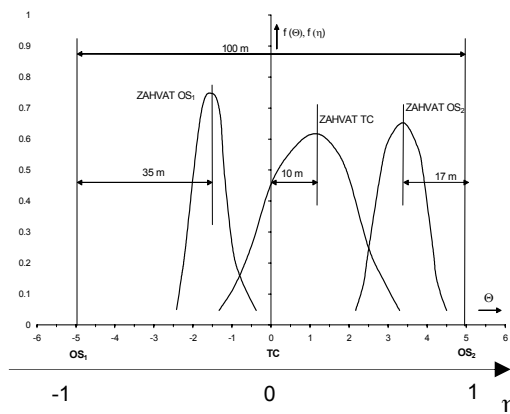
Sl. 7 – Eksperimentalne funkcije gustine verovatnoće pri $OS_1 = OS_2$

Varijanta 2: $OS_1 > OS_2$ ($OS_1 \rightarrow$ Sl. 3; $OS_2 \rightarrow$ Sl. 2)



Sl. 8 – Eksperimentalne funkcije gustine verovatnoće pri $OS_1 > OS_2$

Varijanta 3: $OS_1 < OS_2$ ($OS_1 \rightarrow$ Sl. 2; $OS_2 \rightarrow$ Sl. 3)



Sl. 9 – Eksperimentalne funkcije gustine verovatnoće pri $OS_1 < OS_2$

Eksperiment 1 pokazao je značaj konfiguracije oblaka smetnji sa stanovišta ometanja monoimpulsnog radara. Svejedno je da li je radar na zemlji, a oblaci smetnji u vazдушnom prostoru, ili su oblaci neposredno na zemlji, a ometa se RGS protivradarske rakete. Takvo proširenje analize moguće je na osnovu oblaka smetnji [1]. Pitanje je samo u koju grupu treba svrstati realizovane oblake smetnji na zemlji. Odgovor na to pitanje je veoma diskutabilan. Možda je najispravnije reći da su oblaci smetnji u scenariju sa slike 4 formirani gotovo od svih modela, jer se ovde, pored signala uglovnih reflektora, superponiraju i signali stalnih odraza. Nameće se potreba da se posebno ispita struktura samih oblaka smetnji, što nije bio cilj ovih eksperimenata. Ovde se ograničilo samo na pojavni oblik, tj. na sistemski pristup uticaja oblaka smetnji.

Slučaj „Zahvat TC“ odgovara situaciji kada se ni na koji način ne može uticati na položaj optičke ose antene, odno-

sno ESP u trenutku zahvata, tako da je zahvat izvršen po težišnom centru (TC) reflektovanog signala.

Slučaj „Zahvat OS₁“ odgovara situaciji kada je OS₁ na mestu letelice – cilja, a OS₂ predstavlja oblak smetnji koji je formirala letelica – cilj OS₁.

Slučaj „Zahvat OS₂“ odgovara obrnutoj situaciji, kada je OS₂ objekat zahvata, odnosno letelica – cilj, a OS₁ predstavlja oblak smetnji.

Funkcija gustine verovatnoće u slučaju zahvata OS₁ (slika 7) pokazuje da je najverovatniji položaj ESP NR-a pomaknut 22 m od cilja. To je uglovna greška, jer 10 m baze odgovara jednom podeoku na skali azimuta servosistema NR-a, u konkretnim geometrijskim odnosima radara i oblaka smetnji. Širina dijagrama zračenja predajnika osvetljenja, koji se usmerava pomoću NR je 1°, tj. identičan širini dijagrama zračenja NR-a. To znači da luk dijagrama zračenja predajnika osvetljavanja na 12 km iznosi 210 m. Do prekida osvetljenja cilja dolazi tek kada uglovna greška u praćenju cilja prelazi maksimalno dozvoljenu grešku $\Theta_{\max} = 210/2 = 105$ m. Greška od 22 m je manja od Θ_{\max} , tako da nema štete po proces navođenja rakete na cilj.

Kada se radi o ometanju vođenja rakete na cilj, situacija je znatno drugačija. Maksimalno dozvoljena greška Θ_{\max} u navođenju rakete na cilj jednaka je poluprečniku zone uništenja bojne glave rakete, koji je u ovom slučaju, uz verovatnoću uništenja cilja 0,8, jednak 20 m. Prema tome, $22 \text{ m} > \Theta_{\max} = 20 \text{ m}$ tako da je ometanje uspešno, odnosno promašaj rakete je verovatan.

Ista je situacija sa protivradarskom raketom. U ovom slučaju PRR zahvata

radar – cilj aproksimiran oblakom smetnji OS₁ i leti prema njemu. Zbog uticaja oblaka smetnji OS₂, ESP radarske glave PRR pomaknut je 22 m u smeru OS₂. Pitanje je samo koliki je poluprečnik zone uništenja bojne glave PRR. Bez obzira na razne podatke, agresija NATO na Jugoslaviju pokazala je da promašaj PRR više od 10 m ne dovodi do velikog oštećenja radara. Neka je onda $\Theta_{\max} = 10$ m. Promašajem PRR od 22 m obezbeđena je potpuna zaštita radara.

Bitno drugačija situacija je u slučaju da se OS₂ proglasi ciljem. Môda funkcije gustine verovatnoće pomaknuta je 38 m od OS₂. Nišanski radar NR u tim uslovima obezbeđuje osvetljenje cilja, jer je $38 \text{ m} < \Theta_{\max} = 105 \text{ m}$. PA raketa promašuje cilj jer je $38 \text{ m} > \Theta_{\max} = 20 \text{ m}$. Protivradarska raketa takođe promašuje cilj, jer je $38 \text{ m} > \Theta_{\max} = 10 \text{ m}$.

Zahvat TC u obavljenim eksperimentima nema veću praktičnu vrednost. Ostvaren je zbog dokazivanja teorije zahvata i praćenja složenog cilja. Složeni cilj, u ovom slučaju, formiran je od oblaka smetnji OS₁, OS₂ i neizbežnih stalnih odraza na mestu postavljanja OS₁ i OS₂.

Varijante 2 i 3 eksperimenta 1 potvrđuju važnost izbora konfiguracije oblaka smetnji. Čak i vizuelna promena sastava oblaka smetnji utiče na vrednosti uglovnih grešaka, što je dobro sa stanovišta praktične primene oblaka.

U varijanti 2 (slika 8) stiče se utisak kao da je kompletna slika 7 pomaknuta prema OS₁, tj. OS₁ „vuče“ funkciju gustine verovatnoće prema sebi, jer je $OS_1 > OS_2$.

U varijanti 3 je obrnuto. Oblak smetnji OS₂ „vuče“ gustine verovatnoće

prema sebi, jer je $OS_2 > OS_1$. Tako, na primer, zbog lošeg izbora konfiguracije OS_2 u varijanti 2 cilj OS_1 se ne može zaštititi od PA rakete, a što se tiče PRR na samoj je granici, jer je môda funkcije distribucije svega 12 m udaljena od OS_1 . Pri tome je možda važnije to što je OS_1 „ispod“ krivulje funkcije gustine verovatnoće zahvata OS_1 . Verovatnoća pogotka radara protivradarskom raketom nije nula.

U varijanti 3 (slika 9) letelica – cilj OS_1 je zaštićena od PA rakete, a radar – cilj OS_1 od PRR, jer je môda funkcije gustine verovatnoće na 35 m od OS_1 . Međutim, cilj OS_2 u ovoj varijanti je gotovo u situaciji OS_1 sa slike 8. Udaljenost môde funkcije gustine verovatnoće od OS_2 je svega 17 m.

Eksperiment 1 u svim varijantama pokazao je da OS_2 manje „vuče“ ESP antene NR-a (RGS PA rakete ili RGS PRR). Očigledno je da su se tu umešali stalni odrazi svojim uticajem, mada se vizuelno na terenu nisu uočavale određene nehomogenosti. Možda je odgovor u činjenici da je levo od OS_1 (slika 4) bilo brdo sa repetitorom, koje je moglo formirati dodatnu svetlu tačku pored oblaka smetnji OS_1 . U prilog ovoj mogućnosti ide činjenica da je u pripremnom periodu eksperimenta, kada su se vršili probni zahvati stalnih odraza radi ispitivanja fona, repetitorska antena imala izvanredan odraz. Veoma lako se mogla zahvatiti i držati u režimu automatskog praćenja. Izbor radarskog položaja i položaja oblaka smetnji je, prema tome, veoma važan. Verovatno da 100 m pomaka u određenom smeru može biti odlučujuće. Rešenje bi se moglo naći u tome da svaka ra-

ketna jedinica izvrši detaljno „sondiranje“ mogućih radarskih položaja na predviđenom terenu, po metodici kojom su se i ovi eksperimenti vršili. Pokazalo se da su za to u potpunosti dovoljne sopstvene snage raketnog puka PVO. Određena deformacija dijagrama zračenja antene NR-a takođe ide u prilog potrebi snimanja položaja. U [5] je pokazano kako se dijagram zračenja NR deformiše po mesnom uglu. To se isto događa i po azimutu, mada znatno manje, što ipak treba proveriti. Sa tako snimljenim dijagramom zračenja ulazi se u proračun rezolucionog ugla Θ_r sa znatno većom pouzdanošću, tako da se rezultati mogu predvideti sa većom tačnošću.

Eksperimentom 2, koji je vršen pri $\Theta < \Theta_r$ dokazana je teorijska tvrdnja da se podsvetljavanjem oblaka smetnji može dodatno uticati na položaj ESP NR-a.

Nišanski radar NR_{OM} , koji radi samo na predaji, usmeren je na OS_2 . Oblak smetnji OS_2 izabran je za osvetljavanje zbog toga što se u eksperimentu 1 pokazao slabijim izvorom signala. Da bi se izbeglo osvetljavanje OS_1 , antena NR_{OM} je pomaknuta udesno, toliko da je OS_2 osvetljavala levim bokom glavne lepeze dijagrama zračenja antene NR_{OM} .

Osvetljeni oblak smetnji OS_2 znatno više privlači ESP niškanskog radara NR. Môda funkcije gustine verovatnoće zahvata OS_1 u 1. varijanti je sa 22 m iz eksperimenta 1 pomaknuta na 45 m od OS_1 . To je duplo veća vrednost. U varijanti 2 pokazano je da funkcija gustine verovatnoće još uvek ostaje dovoljno daleko od OS_1 , čak i ako se OS_1 znatno poveća u odnosu na OS_2 . Ako se u kombinacijama oblaka smetnji desi da je OS_2 , pored toga

što je osvetljen, veći od OS_1 , onda je zaštita OS_1 od PA rakete ili PRR znatno poboljšana. To ide u prilog primeni imitatora radarskog zračenja za zaštitu od PRR osvetljavanjem oblaka smetnji.

U toku daljih ispitivanja u eksperimentu 3 je izabran telesni ugao oblaka smetnji Θ jednak rezolucionom uglu Θ_r , tj. $\Theta = \Theta_r$.

Cilj eksperimenta 3 bio je da se pokaže značaj poznavanja tačne vrednosti rezolucionog ugla Θ_r . Zbog toga su oblaci smetnji formirani na isti način kao u eksperimentu 2, ali je njihovo rastojanje promenjeno u smeru iznalaženja rezolucionog ugla. Rezultati su pokazali da smo bili blizu tog ugla. Otežan zahvat, veoma kratko i nestabilno automatsko praćenje izabrane tačke, velika disperzija položaja pseudocentra odraza, osnovne su karakteristike merenja u ovom eksperimentu. Sređivanje rezultata je, ipak, pokazalo potpunu zakonomernost. Mòde funkcije gustine verovatnoće su se mogle uočavati. To dokazuje da je u ovako formiranim oblacima smetnji teško odrediti rezolucioni ugao Θ_r , ali da on zaista postoji. Međutim, mi nismo bili u rezolucionom uglu, što se pokazalo kroz činjenicu da su se funkcije gustine verovatnoće ipak pomerale po osi Θ u zavisnosti od vrste oblaka smetnji. U ovakvim uslovima teško je govoriti o zaštiti npr. letelice – cilja OS_1 ili radara – cilja OS_1 , itd.

Slučajnost zahvata svih tačaka je velika, mada sa veoma malim verovatnoćama. Ipak, uočava se da je poželjno „pojačanje“ oblaka smetnji OS_2 čak i u ovakvoj situaciji. Mòda funkcije gustine verovatnoće je, doduše pomaknuta za 68 m od OS_1 , ali levi krak funkcije skoro

dodiruje ovaj oblak smetnji. Verovatnoća pogotka OS_1 nije nula.

Eksperiment 4 vršen je po metodici ispitivanja 1 pri $\Theta > \Theta_r$. Ovaj eksperiment je pokazao da slučajan izbor konfiguracije oblaka smetnji pri $\Theta > \Theta_r$ nije pogodan za uspešnu zaštitu od NR ili PA rakete ili PRR. Ovde se još jednom pokazala inferiornost položaja oblaka smetnji OS_2 . Teško je reći da li je tome dodatno doprinela moguća pretpostavka da su se „mali“ uglovni reflektori u OS_2 „utopili“ u okolni teren ili je to normalno pri $\Theta > \Theta_r$. Naravno da razlog velikog pomeranja mòda funkcija gustina verovatnoća ulevo može biti dovoljno jak izvor signala oblaka smetnji OS_1 . Pokazalo se da pri $\Theta > \Theta_r$ ovako formiran oblak smetnji OS_2 ne utiče na zahvat i praćenje OS_1 . Nikakva zaštita položaja OS_1 nije ostvarena, što nije slučaj ako se položaj OS_2 proglašuje za cilj. Zaštita je kompletna. Očigledno da uslovi ove varijante pogoduju zahvatu težišnog centra parnog cilja $OS_1 - OS_2$, koji je gotovo kompletno privukao i zahvat OS_2 . Iz navedenih razloga oblak smetnji OS_2 je u daljim eksperimentima pojačan formiranjem konfiguracije prikazane na slici 3, dok je oblak smetnji OS_1 ostao bez promene. Očekivani efekat je ostvaren, što je dobro, jer se time dokazuje da je procesom u praksi moguće upravljati.

Mòda funkcije gustine verovatnoće zahvata OS_1 pomerena je prema OS_2 za čitavih 50 m, što je ogromna promena u odnosu na prethodnu varijantu. U takvim uslovima samo nišanski radar NR nesmetano vrši svoju funkciju, jer je $50 \text{ m} < \Theta_{\max} = 105 \text{ m}$. Raketa i protivradarska raketa imaju velike promašaje. In-

interesantan je slučaj zahvata OS₂. Dobijena je dvomodna funkcija, gustine verovatnoće. Obe su dovoljno daleko od OS₂ (80 m i 48 m) tako da je zaštita OS₂ od PA rakete i PRR takođe ostvarena. Nišanski radar NR pri tome omogućava osvetljavanje cilja, jer je $80 \text{ m} < \Theta_{\text{max}} = 105 \text{ m}$.

Oblak smetnji OS₂ je u nepovoljnijoj situaciji, ako je pre poletanja PA rakete ili PRR došlo do prezhvata sa OS₂ na težišni centar TC. Oblak smetnji OS₂ je u tom slučaju „ispod“ krivulje „zahvat TS“, mada je môda čak 35 m daleko od OS₂.

Narednim eksperimentom je imitiran rad protivradarske rakete: oblaci smetnji OS₁ i OS₂ se osvetljavaju predajnikom NR_{OM}, a nišanski radar NR radi u režimu prijema. Ostali uslovi identični su uslovima u eksperimentu 1.

Eksperiment je prvenstveno dokazao validnost pretpostavke da se i prethodni eksperimenti mogu koristiti za analizu ponašanja protivradarskih raketa. Rezultati su očekivani pošto su nišanski radari NR_{OM} i NR identični. U eksperimentu je praktično nišanski radar NR „pozajmio“ predajnik od nišanskog radara – ometača NR_{OM}. Osim toga, ako se posmatra sa mesta oblaka smetnji, NR i NR_{OM} su faktički u istoj tački.

Zaključak

Osnovni doprinos eksperimenata koji su opisani u ovom radu je u tome što je teorija oblaka smetnji prvi put dokazana u realnim, terenskim uslovima, u organizaciji u kojoj je angažovan kompletan raketni puk PVO.

Zaključak koji proizilazi iz svih eksperimenata jeste da ometanje nišanskog radara, koji se nalazi u osnovi svih režima gađanja ciljeva u vazдушnom prostoru, nijednog trenutka nije poremetilo osvetljenje cilja predajnikom osvetljenja, što je od suštinskog značaja za vođenje PA rakete na cilj. Zbog toga se, pre svega, može očekivati primena protivradarskih raketa za fizičko uništavanje radarskih sredstava raketnog sistema. Ovim eksperimentima dokazana je pretpostavka da se znalačkom primenom oblaka smetnji protivradarska raketa može skrenuti sa svoje putanje, čime se povećava verovatnoća preživljavanja radara. Posebno, istom metodologijom, dokazano je da se i PA raketa isto tako uspešno može skrenuti sa svoje putanje primenom oblaka smetnji u vazдушnom prostoru.

Dalji rad u ovoj oblasti trebalo bi da bude nastavak istraživanja na osnovu pune konfiguracije eksperimenta, uključivanjem helikoptera u eksperiment. Time bi se mogli proveriti i fazni režimi rada radara u uslovima primene oblaka smetnji.

Literatura:

- [1] Gacović, Č.: Oblak smetnji kao reprezent ometanja monoimpulsnih radara iz više tačaka u prostoru, Naučnotehnički pregled, Vol. 1, L. 11, br. 1, 2002.
- [2] Gacović, Č.: Nišanski radari PVO u protivелеktronskoj borbi, Kumulativna naučno-tehnička informacija, VTI Beograd, 1991.
- [3] Leroy, B. V. B.: Applied ECM, Electronic Warfare, March/April 1977, Vol. 1.
- [4] Gacović, Č.: Raketni sistemi PVO u protivелеktronskoj borbi, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1989.
- [5] Gacović Č.: Praćenje niskoletućih ciljeva monoimpulsnim nišanskim radarom, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1999.
- [6] Леонов, А. И.; Фомичев, К. И.: Моноимпульсная радиолокация, Радио и связь, Москва, 1984.
- [7] Судаков, О. А.: Коррекция диаграммы направленности антенны методом фильтрации, Радиотехника и электроника, 4/1989.