

Mr Branko Livada,  
potpukovnik, dipl. inž.

## PROTIVELEKTRONSKA BORBA U OBLASTI PRIMENE OPTOELEKTRONSKIH UREĐAJA I SISTEMA

Dat je prikaz i izvršena analiza stanja i mogućnosti protivelektronske borbe (PEB) u oblasti primene optoelektronskih sredstava i sistema. Polazeći od opštih karakteristika i klasifikacije vojnih optoelektronskih uređaja i analize opštih uslova za izvođenje PEB u oblasti primene optoelektronskih uređaja, daje se kratak prikaz metoda PEB u oblasti primene optoelektronskih uređaja. Razmatran je uticaj tehničko-tehnoloških preduslova kao i trendovi razvoja PEB. Pokazano je da napredak u istraživanju i razvoju optoelektronskih uređaja čine PEB sve kompleksnijom, tako da zahteva neprekidnu i povećanu brigu pri uvođenju novih i usavršavanju postojećih metoda PEB.

### Uvod

Snažan naučno-tehnički napredak posebno je uočljiv u oblasti primene optoelektronike u sredstvima i sistemima ratne tehnike. Optoelektronski uređaji omogućavaju prikupljanje i obradu informacija iz optičkog dijapazona elektromagnetnog spektra. Zahvaljujući tome, omogućili su razvoj velikog broja novih sredstava ratne tehnike koja su dovela do bitnih izmena u mogućnostima vođenja oružane borbe. Najveći napredak postignut je u povećanju mogućnosti korišćenja sredstava ratne tehnike u specifičnim uslovima vezanim za:

- upotrebu oružanih snaga noću i u uslovima ograničene vidljivosti,
- precizno pogađanje ciljeva.

Noću i u uslovima ograničene vidljivosti mogućnosti oka su znatno smanjene, pa se takvi uslovi smatraju vrlo složenim za izvođenje borbenih dejstava.

Iako su uslovi za izvođenje borbenih dejstava složeni, izražena je tendencija za dejstvom i u tim uslovima,

jer umanjene mogućnosti vizuelnog kontakta sa protivnikom omogućavaju postizanje pozitivnih efekata, kao što su: postizanje iznenađenja, efikasna primena oružanih dejstava uz korišćenje posebnih postupaka i namenskih tehničkih sredstava, korišćenje tehničko-tehnoloških slabosti protivnika, izbegavanje efikasnih odbrambenih dejstava protivnika, smanjenje gubitaka, izazivanje negativnih psiholoških efekata, održavanje tempa napada, i dr.

Među sredstvima koja omogućavaju izvođenje borbenih dejstava u uslovima ograničene vidljivosti značajnu ulogu imaju optoelektronska sredstva (uređaji, sprave) koja omogućavaju korišćenje informacija koje sadrži slika osmatranog prostora [1]. Zbog toga je izražen interes za razvoj i upotrebu optoelektronskih sredstava koja podržavaju izvođenje borbenih dejstava u uslovima ograničene vidljivosti (uređaji sa pretvaračima i pojačivačima slike, termovizijski uređaji i sistemi).

Optoelektronska sredstva mogu biti aktivna i pasivna [1]. Aktivna sred-

stva u svom sklopu sadrže veštačke izvore zračenja (IC far, laserski označavač), koji su za golo oko nevidljivi, ali se korišćenjem adekvatnih prijemnika u optoelektronskom uređaju može učiniti vidljivom raspodela reflektovanog zračenja korišćenog izvora, u posmatranoj sceni. Pasivna sredstva koriste za svoj rad prirodne izvore zračenja koji su za golo oko nevidljivi ili slabo vidljivi.

Zračenje sa noćnog neba (Mesec, zvezde) osnovni je izvor zračenja za pasivne optoelektronske uređaje sa pojačavačima svetlosti (slike). Sopstveno »toplotno zračenje« scene koristi se u termovizijskim uređajima.

Razvoj aktivnih uređaja (pretvarači slike i IC far) počeo je tridesetih godina, a praktično su korišćeni i u Drugom svetskom ratu. Intenzivno usavršavanje i opremanje jedinica ovom vrstom sredstava karakteriše prvih dvadeset godina posle rata, tako da se i danas mogu sresti u opremi jedinica.

Krajem pedesetih i početkom šezdesetih godina započet je intenzivan razvoj i primena pasivnih sprava sa pojačavačima slike prve generacije. Njihovo usavršavanje i dalje traje, tako da se u upotrebi nalazi treća generacija pojačavača slike sa GAAs NEA foto-katodom. Vrlo je izvesan razvoj foto-katoda koje su osetljive u srednjem IC području (3 do 5  $\mu\text{m}$ ) sa verovatnom primenom u sistemima za noćno pilotiranje helikopterom.

Vizuelizacija prostorne raspodele toplotne energije, tj. konverzija prostorne raspodele IC energije u odgovarajuću vidljivu sliku daje nove mogućnosti za prikupljanje novih i nevidljivih informacija o okolini, i njihovu upotrebu u najrazličitije svrhe, a otvara novo poglavlje u razvoju nauke i tehnike — *Termovizije*.

Iskustva iz većine lokalnih ratova i sukoba u periodu posle Drugog svetskog rata ukazuju na poseban značaj mogućnosti izvođenja borbenih dejstava noću. Takođe, uočene su i sve pred-

nosti i mane primene uređaja sa pretvaračima i pojačavačima slike.

Pri planiranju i korišćenju optoelektronskih sredstava za izvođenje borbenih dejstava noću prisutna su dva osnovna pristupa koja se međusobno preklapaju i dopunjuju, a to su: težnja da se »noć pretvori u dan« i da se što više iskoriste prednosti koje pružaju uslovi ograničene vidljivosti za izvođenje borbenih dejstava.

Razvoj sredstava ratne tehnike i ratne veštine ukazuje na dva osnovna motiva koji su pokretačka snaga istraživanja i razvoja sredstava ratne tehnike: postizanje što većeg stepena zaštićenosti sopstvenih snaga i povećanje efikasnosti uništenja protivničkih ciljeva.

Masovnost upotrebe i pokazana efikasnost optoelektronskih sredstava ukazuju na neophodnost i poseban značaj protivelektronske borbe u uslovima primene optoelektronskih sredstava. U ovom radu učinjen je pokušaj da se prikaže raznovrsnost primene optoelektronskih sredstava, kompleksnost protivelektronske borbe i analiziraju uslovi i mogućnosti za smanjenje efikasnosti primene protivničkih optoelektronskih sredstava.

### **Opšte karakteristike i klasifikacija vojnih optoelektronskih uređaja**

Optoelektronski uređaji omogućavaju prikupljanje, obradu, prikazivanje i korišćenje informacija koje nosi elektromagnetsko zračenje optičkog dijapazona spektra, tako što omogućavaju pretvaranje optičkog signala u odgovarajući električni signal koji se može dalje obrađivati i/ili prikazivati. Osnovni element svakog optoelektronskog uređaja je detektor zračenja koji omogućava konverziju optičkog u električni signal.

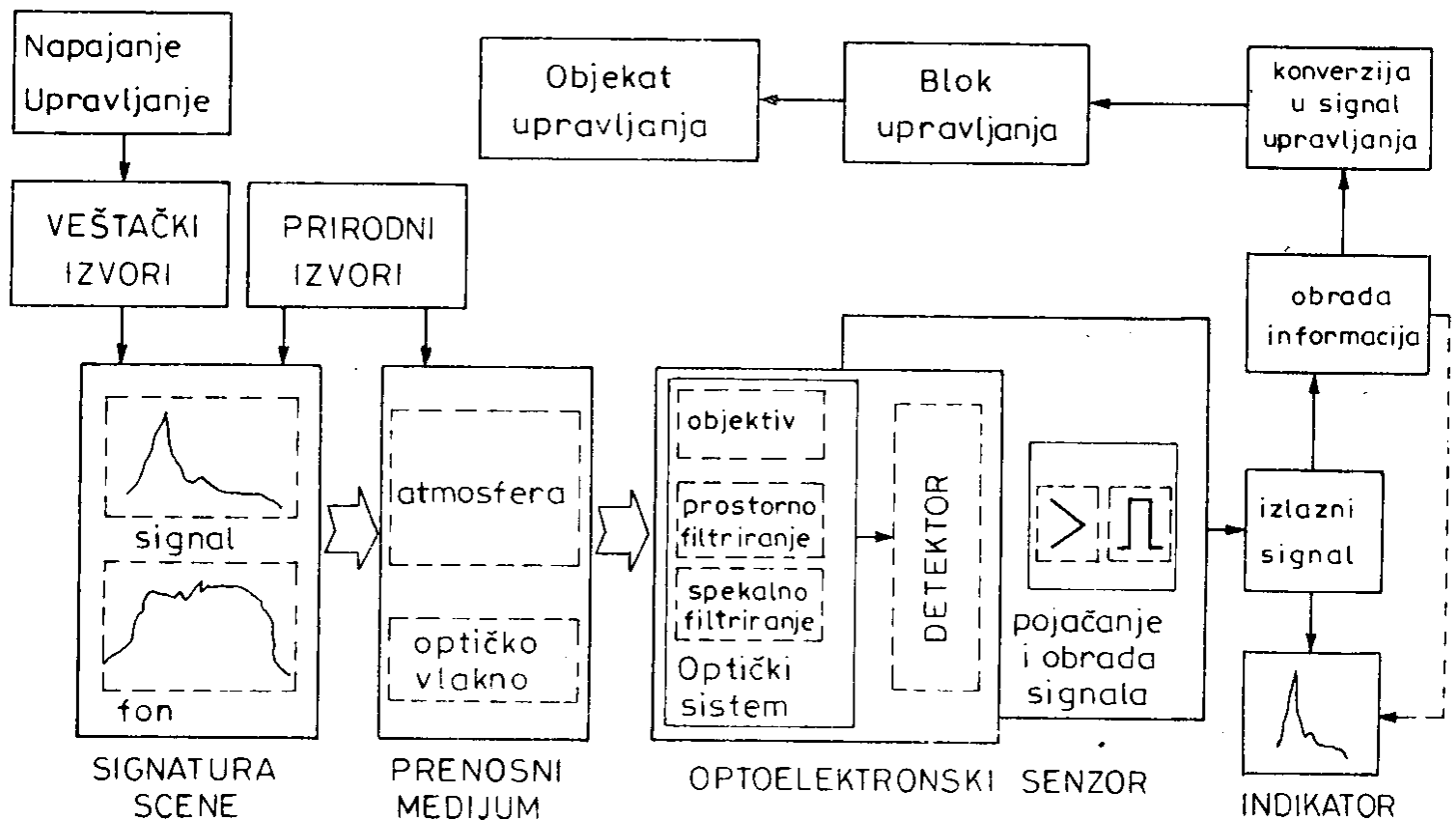
Uopštena strukturna blok-šema optoelektronskih uređaja sa naznačenim

osnovnim faktorima koji utiču na funkciju uređaja prikazana je na slikama 1 i 2.

Informacije koje koristi optoelektronski uređaj sadržane su u okviru tzv. signature posmatrane scene. Sig-

*UV — B srednje ultraljubičasto zračenje (280 do 315 nm)*

Zračenje Sunca u ovom spektralnom opsegu apsorbuje se na ozonskom omotaču atmosfere, tako da ne utiče na signaturu scene, iako je transmisija



Sl. 1 — Uopštena blok-šema strukture i funkcionisanja optoelektronskih uređaja

natura scene je skup karakteristika zračenja objekata (energetske, spektralne, prostorne, vremenske, i dr.) koje opisuju polje zračenja a omogućavaju detekciju, prepoznavanje i identifikaciju scene i/ili objekata i pojava koje na njoj postoje, tj. sadrže informaciju o stanju scene.

Na signaturu scene ključni uticaj imaju izvori zračenja u sceni (prirodni i veštački). Spoljašnji izvori zračenja utiču na signaturu scene preko procesa refleksije. Raspodela emisivnosti (materijali, orijentacija) i temperature objekata u sceni doprinose sopstvenom zračenju objekata scene.

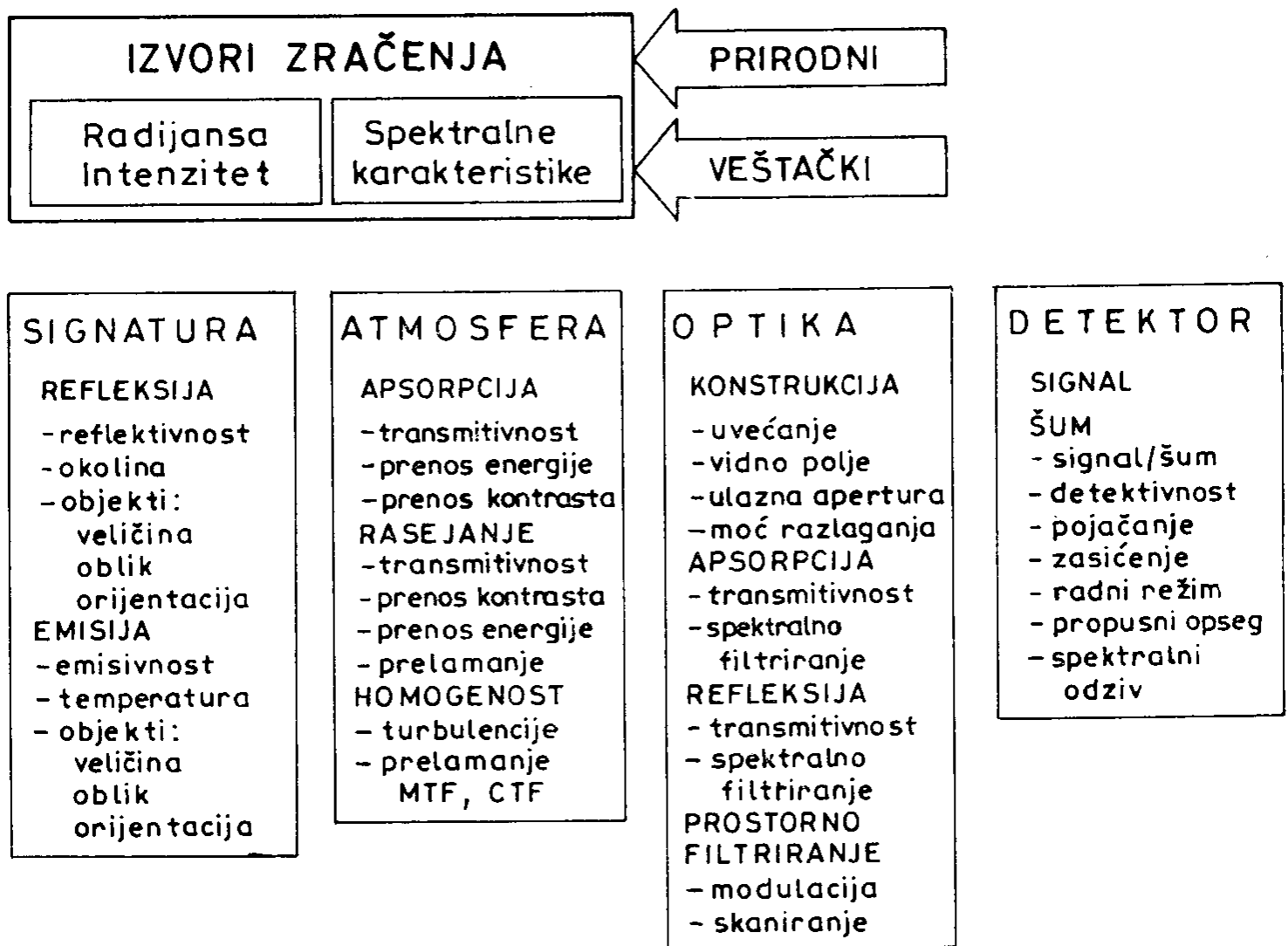
Sadržaj informacija u signaturi u mnogome zavisi od spektralnih karakteristika, odnosno od spektralnog opsega funkcionisanja uređaja. Za funkcionisanje optoelektronskih uređaja značajni su sledeći spektralni opsezi:

prizemnih atmosferskih slojeva dobra. Zračenje koje se može pojaviti u sceni potiče od produkata sagorevanja (aviionski motori, raketni motori, sagorevanje pirotehničkih smeša, bljesak artiljerijskog naoružanja i sl.). Najčešće se koristi za detekciju lansiranja i leta raketa. Ovaj opseg se koristi i kao dopunski senzorski kanal za zaštitu glava za samonavođenje (GSN) samonavođenih raketa od ometanja pirotehničkim mamcima.

*UV — A blisko ultraljubičasto zračenje (315 do 400 nm)*

Rasejano zračenje Sunca u atmosferi formira uniformni UV fon. Svaki objekat koji se pojavi u vidnom polju može se detektovati preko izrazitog kontrasta (zaklanjanjem) u odnosu na uniformni fon.

*VID vidljivo zračenje (400 do 770 nm)*



Sl. 2 — Šematski prikaz delovanja procesa i uticajnih faktora na funkcionisanje optoelektronskih uređaja

Reflektovano zračenje Sunca osnovni je sačinilac signature scene u dnevnim uslovima. Koristi se za formiranje slike u televizijskim uređajima.

Rasejano zračenje neba i svetlost Meseca i zvezda osnovni je sačinilac signature u noćnim uslovima. Koristi se u pasivnim uređajima sa pojačivačima slike (I i II generacija) i televizije niskog nivoa osvetljaja.

*BIC — blisko infracrveno zračenje (0,77 do 1,5  $\mu\text{m}$ )*

Zračenje prirodnih izvora koristi se u pasivnim uređajima sa pojačavačima slike (III generacija) i u aktivnim uređajima sa pretvaračima slike. U ovom opsegu radi veliki broj laserskih uređaja (Nd:YAG, poluprovodnički laseri).

*KTIC — kratkotalasno infracrveno (IC) zračenje (1,5 do 3,0  $\mu\text{m}$ )*

Osnovni doprinos signaturi u ovom opsegu daje sopstveno zračenje jako zagrejanih objekata ( $T > 500 \text{ K}$ ). Koristi se za detekciju toplotno jako aktivnih objekata.

*STIC — srednjetalasno IC zračenje (3,0 do 6,0  $\mu\text{m}$ )*

Osnovni doprinos signaturi u ovom opsegu daje sopstveno zračenje slabo zagrejanih objekata i intenzivno zračenje zagrejanog  $\text{CO}_2$  u okolini 4,3  $\mu\text{m}$ . Koristi se u termovizijskim uređajima i za detekciju objekata koji tokom rada stvaraju zagrejene produkte sagorevanja u kojima se nalazi i ugljen-dioksid.

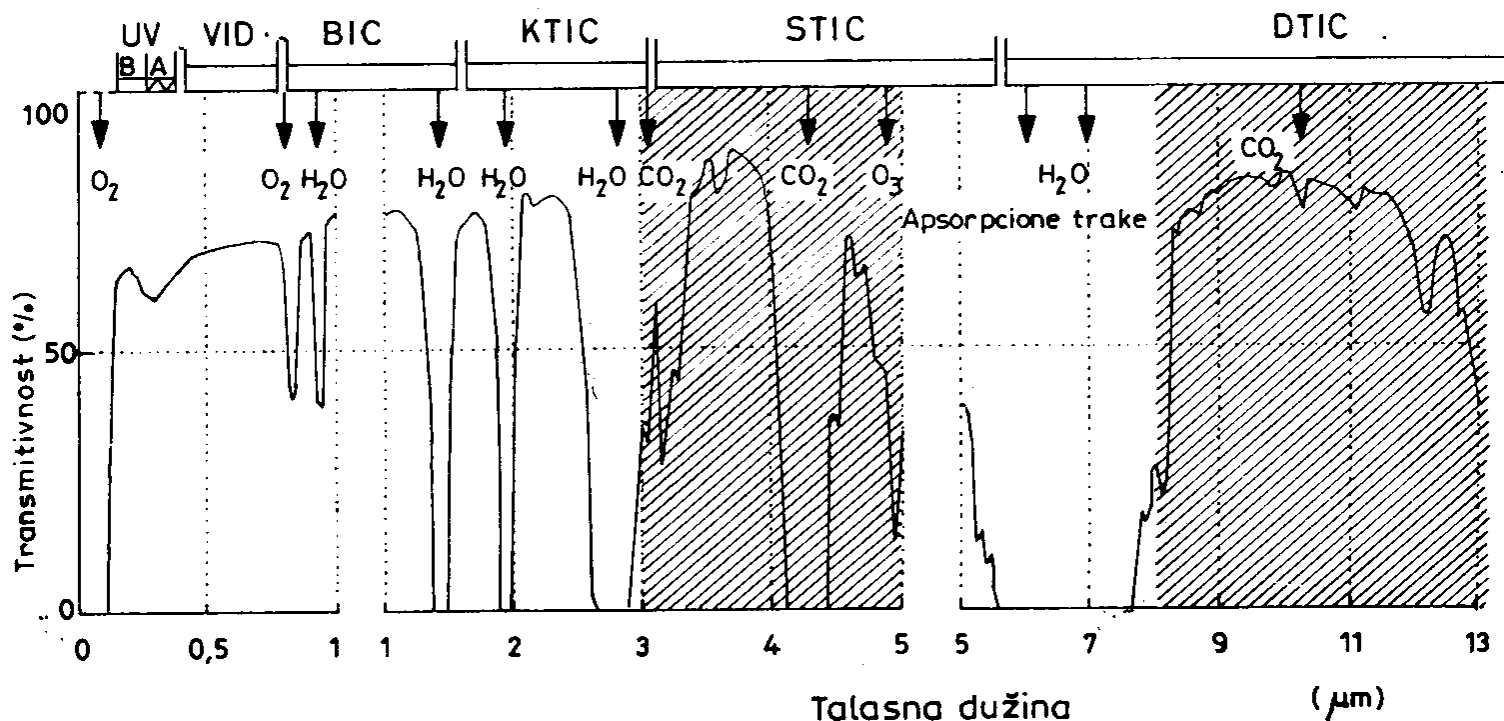
*DTIC — dugotalasno IC zračenje (6,0 do 14,0  $\mu\text{m}$ )*

Signatura scene određena je sopstvenim zračenjem objekata scene. Ra-

zlike u prostornoj raspodeli radijance potiču od razlika u emisivnosti objekata u sceni (materijali i orijentacija) i razlika u prostornoj raspodeli temperature u sceni.

Pri izboru spektralnog opsega rada pored informativnosti signature, bitnu ulogu ima i spektralna transmisija atmosfere (prozori transmitivnos-

— *UREĐAJI SA FORMIRANJEM SLIKE (UFS)* koji prostornu raspodelu polja elektromagnetnog zračenja u okviru vidnog polja uređaja transformišu u vidljivu sliku ili odgovarajuću prostornu raspodelu signala (video signal). Razlikuju se dve osnovne podgrupe ovih uređaja, u odnosu na tehniku koja se primenjuje za realizova-



Sl. 3 — Spektralna zavisnost transmisije standardne atmosfere

ti). Spektralna zavisnost transmitivnosti standardne atmosfere prikazana je na slici 3.

Konstrukcija optoelektronskog uređaja (izbor optičkih materijala, spektralnog opsega osetljivosti detektora) prilagođena je izabranim opsezima rada, a obrada signala i informacija sadržaju informacija iz signature koje definišu namenu uređaja.

Vrlo je teško napraviti jednoznačnu klasifikaciju optoelektronskih uređaja. Za potrebe ove analize, radi lakše preglednosti i naglašavanja specifičnosti vezanih za PEB, koristi se sledeća klasifikacija [2]:

Prema osnovnoj funkciji koju uređaj obavlja, odnosno prema vrsti informacija koje obezbeđuje, mogu biti [11, 12, 13]:

nje prostorne strukture slike (signala), a to su: uređaji sa simultanim obrazovanjem slike (TV, LLLTV, pojačavači i pretvarači slike) i uređaji sa skaniranjem (termovizijski uređaji, LIDAR).

— *KOORDINATORI - LOKATORI (K)* koji omogućavaju određivanje koordinata cilja u odnosu na zadati referentni koordinatni sistem. Osnovni izvor informacija koje koristi ova klasa uređaja je, najčešće, signatura pojedinačnih objekata. Prostornim filtriranjem i obradom informacija određuju se ugaone koordinate izvora u odnosu na referentne ravni koordinata.

— *DALJINOMERI LASERSKI (LD)* koji se koriste za određivanje udaljenosti do cilja. To su aktivni uređaji koji omogućavaju da se poređenjem emitovanog i reflektovanog laserskog

zračenja (kašnjenje ili faza) određuje daljina odabranih objekata.

— *OPTOELEKTRONSKI KOMUNIKACIONI UREĐAJI (OKU)* koji omogućavaju prenos signala i informacija (govor, slika) velikom gustinom i brzinom, uz visoki stepen zaštićenosti komunikacionog kanala. Mogu biti sa optičkim vlaknima i sa atmosferskim kanalom prenosa informacija.

— *OPTOELEKTRONSKI MERNI UREĐAJI (OMU)* koji omogućavaju kvantitativno ili kvalitativno određivanje svojstva, stanja ili položaja objekata ili pojava. Najčešće se koriste kao osnovne senzorske jedinice u složenim sistemima.

Prema primeni u odgovarajućim sistemima NVO mogu biti:

— *SISTEMI ZA OSMATRANJE, IZVIĐANJE I NIŠANJENJE UPRAVLJANJE VATROM (SOIN)* koji omogućavaju detekciju, prepoznavanje i iden-

tifikaciju cilja, tako što formiraju i prikazuju sliku osmatranog prostora.

— *SISTEMI ZA UPRAVLJANJE VATROM (SUV)* koji objedinjuju više značajnih funkcija: detekciju, prepoznavanje i identifikaciju cilja, praćenje cilja, određivanje koordinata i parametara kretanja cilja (pravac, smer, brzina), prenos informacija do oruđa i upravljanje oruđem.

— *SISTEMI VOĐENJA I SAMONAVOĐENJA PROJEKTILA (SVP)* ugrađuju se na projektilu (samonavođenje) ili na lanseru (vođenje) a objedinjuju sledeće funkcije: otkrivanje cilja, određivanje koordinata cilja (projektila) i upravljanje letom projektila.

— *SISTEMI ZA ALARMIRANJE I OBEZBEĐENJE (SAO)* koriste se za detekciju cilja, dejstva ili prisustva objekata ili pojava koji ugrožavaju bezbednost štićenog prostora.

Tabela 1

Funkcionalne klase optoelektronskih uređaja i spektralni opsezi rada

Spektralni opseg	Funkcionalne klase uređaja					Optoelektronski sistemi			
	UFS	K	LD	OKU	OMU	SOIN	SUV	SVP	SAO
UV B (0,28 do 0,315 $\mu\text{m}$ )					+				+
UV A (0,315 do 0,4 $\mu\text{m}$ )		+			+			+	
VID (0,4 do 0,77 $\mu\text{m}$ )	+	+			+	+	+	+	+
BIC (0,77 do 1,5 $\mu\text{m}$ )	+	+	+	+	+	+	+	+	+
KTIC (1,5 do 3,0 $\mu\text{m}$ )		+			+			+	
STIC (3,0 do 6,0 $\mu\text{m}$ )	+	+			+	+	+	+	+
DTIC (6,0 do 14,0 $\mu\text{m}$ )	+	+	+		+	+	+	+	+

Prema osnovnim tehnikama i tehnologijama koje se koriste mogu biti:

— *INFRACRVENI UREĐAJI (ICU)* koji rade u talasnom području infracrvenog zračenja (*BIC, KTIC, STIC, DTIC*) i, shodno tome, koriste tehnologije primenljive za detekciju IC zračenja.

— *LASERSKI UREĐAJI (LU)* koji koriste lasersko zračenje kao osnovni nosilac informacija o cilju ili za dejstvo na cilj.

— *SENZORSKI UREĐAJI (SU)* koji koriste zračenje optičkog dijapazona za detekciju prisustva cilja, dejstva ili aktivnosti protivnika, i generišu signal za preduzimanje odgovarajućih aktivnosti ili protivmera.

— *UREĐAJI SA OPTIČKIM VLAKNIMA (UOV)* u kojima se optičko vlakno koristi za prenos informacija, odnosno za dobijanje informacija o cilju.

Osnovni opredeljujući faktor efikasnosti primene optoelektronskih uređaja je spektralni opseg rada. U tabeli 1 prikazana je međusobna veza spektralnih opsega rada i funkcionalnih klasa optoelektronskih uređaja.

### **Opšti uslovi za izvođenje protivelektronske borbe u oblasti primene optoelektronskih uređaja**

U okviru sprovođenja PEB neophodno je omogućiti ostvarivanje nekoliko globalnih funkcija, kao što su [4, 5, 6]:

— *otkriti upotrebu optoelektronskih sredstava.*

Otkrivanje upotrebe aktivnih optoelektronskih sredstava može se realizovati primenom optoelektronskih sredstava za izviđanje. Otkrivanje upotrebe pasivnih optoelektronskih sredstava realizuje se posredno preko otkrivanja upotrebe sredstva na koje je

ugrađeno ili procenom preko obaveštajnog obezbeđenja borbenih dejstava;

— *pratiti optoelektronsko sredstvo.*

Praćenje optoelektronskog sredstva može se realizovati primenom sličnih tehnika, kao i za otkrivanje upotrebe;

— *ometati rad i upotrebu optoelektronskog sredstva.*

Ometanje rada i upotrebe podrazumeva bitnu izmenu funkcije optoelektronskih uređaja, a realizuje se primenom više različitih tehnika primenjenih spektralnom opsegu i principima funkcionisanja;

— *smanjiti efikasnost upotrebe optoelektronskog sredstva ili sistema.*

Smanjenje efikasnosti odnosi se na smanjenje dometa ili preciznosti, a realizuje se primenom više različitih tehnika;

— *uništiti optoelektronsko sredstvo ili sistem.*

Uništenje optoelektronskog sredstva moguće je primenom različitih borbenih dejstava ili snažnih lasera. Podrazumevaju se trajna oštećenja vitalnih funkcija uređaja.

Planiranje, organizovanje i izvođenje PEB u oblasti optoelektronskih uređaja i sistema, podrazumevaju dve osnovne grupe aktivnosti:

*PROCENA PRETNJE* polazna je osnova za planiranje obima i mesta organizovanja PEB primerenoj očekivanom dejstvu protivnika, pri čemu se razmatraju:

— *struktura i taktika upotrebe optoelektronskih uređaja i sistema čija se upotreba očekuje, a posebno je značajno da se identifikuju tipovi uređaja, masovnost i taktika njihove upotrebe;*

— *karakteristike konstrukcije identifikovanih tipova optoelektronskih uređaja i sistema kao što su spektral-*

ni opseg rada, optički sistem, vrsta detektora, obrada signala, obrada informacija;

— karakteristike upotrebe identifikovanih tipova optoelektronskih uređaja i sistema kao što su: domet uređaja, uticaj meteoroloških (magla, atmosferski talog, doba dana) i drugih uslova na terenu (prašina) na efikasnost i verovatnoću njihove primene;

— zastupljenost u naoružanju i ubojna moć identifikovanih klasa optoelektronskih uređaja obavlja se radi procene ukupnih efekata upotrebe (moguće štete) optoelektronskih sredstava protivnika i obima PEB.

**PROCENA SOPSTVENIH SNAGA** polazna je osnova za planiranje obima i mesta organizovanja PEB primereno sopstvenim mogućnostima i potrebama, pri čemu se razmatraju:

— karakteristike signature objekta (scene) koji se štiti (demaskirajući efekti).

Polazna osnova za planiranje, organizovanje i izvođenje PEB je poznavanje ukupne signature objekata i drugih elemenata prisutnih u sceni, značajna za funkcionisanje i upotrebu identifikovanih optoelektronskih sredstava protivnika;

— procena značaja objekta.

Verovatnoća upotrebe određenih klasa optoelektronskih uređaja i sistema (visoka cena), a time i obim primene mera i sredstava za PEB, koji bitno zavise od značaja objekta koji se štiti;

— opremljenost za PEB.

Uslovljava obim i raznovrsnost PEB;

— obučenost.

Saznanja o načinu funkcionisanja i karakteristikama optoelektronskih sredstava moraju biti dostupna svima koji su odgovorni za PEB, što se postiže kroz odgovarajuću obuku. S obzi-

rom na dinamiku usavršavanja optoelektronskih sredstava, poželjno je da se organizuju periodični kursevi za starešine koji su odgovorni za PEB, kao što su komandanti jedinica ranga bataljona i višeg.

Osnovni principi taktike PEB su:

— potpuna koordinacija PEB sa borbenim dejstvima jedinica drugih rodova po vremenu i prostoru. Podrazumeva se pravovremeno otkrivanje upotrebe, lokacije i pravca dejstva, kao i preduzimanje PEB i koordiniranje dejstava ubojnih sredstava;

— masovnost upotrebe što podrazumeva raznovrsnost i razuđenost upotrebe metoda PEB sa težnjom da se ostvari nadmoćnost, kako po broju, tako i po kvalitetu;

— izbor cilja PEB što podrazumeva pravilnu procenu pretnje i kategorizaciju po prioritetu, kako prema mogućnostima protivnikovih sistema, tako i po značaju sopstvenih objekata koji se štite;

— iznenađenje koje se postiže pravilnim izborom početka, načina (rasporeda) i metoda PEB.

Taktika PEB u oblasti primene optoelektronskih sredstava i sistema neprekidno se usavršava i prilagođava mogućnostima novih optoelektronskih sredstava i sistema. U tom smislu posebna se pažnja posvećuje obuci, počevši od obrazovanja, preko opremljenih kabineta do specijalnih poligona gde se verno dočaravaju mogućnosti optoelektronskih sistema i efikasnost sredstava za PEB.

### **Metode PEB u uslovima primene optoelektronskih sredstava**

Razvoj tehnika PEB u oblasti primene optoelektronskih sredstava vezan je za razvoj tehnika i tehnologija



koje se koriste u konstrukciji, izradi i upotrebi optoelektronskih uređaja. Primena optoelektronskih sredstava u tehničkim sistemima koji su u naoružanju savremenih armija vrlo je raznolika i široka. Primena optoelektronike opredeljujući je faktor eksploatacionih karakteristika složenih sistema za protivoklopnu borbu, sistema za izviđanje i osmatranje, sistema za protivvazдушnu odbranu na malim i srednjim udaljenostima, sistema za upravljanje vatrom tenka i artiljerijskih sredstava, sistema za protivraktnu odbranu plovila, i dr.

Posebna se pažnja posvećuje sistemu PEB u oblasti optoelektronskih sredstava, čija upotreba protivniku daje znatnu prednost, posebno pri izvođenju borbenih dejstava noću i u otežanim uslovima vidljivosti.

Za uspešno sprovođenje PEB u oblasti primene optoelektronskih sredstava treba raspolagati razvijenim sistemom mera, radnji, postupaka i dejstava koje omogućavaju sprovođenje PEB.

Pošto najveći broj optoelektronskih sredstava radi u pasivnom režimu neposredno otkrivanje upotrebe je otežano, pa do izražaja dolazi primena opštih mera, postupaka i konstrukcionih rešenja koja vode umanjenoj efikasnosti primene optoelektronskih sredstava.

Za efikasno sprovođenje PEB u oblasti optoelektronskih sredstava potrebno je poznavanje konstrukcije i principa rada sredstva od čije se primene štiti. S druge strane, moguće je koncipirati mnoštvo postupaka i opštih mera zaštite, pošto su optoelektronska sredstva vrlo osetljiva na promene stanja scene (signature cilja) koja sadrži potrebne informacije, kao i na stanje uslova prostiranja zračenja kroz atmosferu.

## *Elektronsko izviđanje*

Osnovna prednost pasivnih optoelektronskih sredstava upravo je u tome što se vrlo teško otkriva njihova upotreba i teško se ometa. Na elektronsko izviđanje manje su otporna aktivna optoelektronska sredstva (npr. laserska).

Za elektronsko izviđanje upotrebe aktivnih optoelektronskih sredstava najčešće se koriste detektori ozračenja koji mogu imati manje ili više kompleksnu obradu informacija. Posebno je značajno otkriti upotrebu laserskih označavača cilja koji se koriste u sistemima samonavedenih projektila na laserom označeni cilj.

Za elektronsko izviđanje upotrebe pasivnih optoelektronskih sredstava može se koristiti laserska sonda sa skeniranjem snopa (LIDAR) koja na bazi refleksije zračenja sa površina optičkih elemenata detektuje prisustvo optoelektronskih uređaja u rejonu elektronskog osmatranja i izviđanja. Procenjuje se da primena laserske sonde, u sprezi sa snažnim laserima namenjenim za uništenje osetljivih sklopova optoelektronskih uređaja, u principu, može predstavljati značajnu pretnju za protivničke optoelektronske uređaje i sisteme. Ovakvi sistemi tehnički su vrlo složeni i ekstremno skupi, a verovatnoća efikasne upotrebe je relativno niska.

Otkrivanje upotrebe optoelektronskih sredstava može se vršiti i posredno preko izviđanja prisustva sistema koji sadrže optoelektronske uređaje (npr. otkrivanje upotrebe samonavedenih i vođenih raketa preko detekcije zračenja raketnog motora).

Napredak u mikromehaničkoj i prostornoselektivnoj obradi silicijuma otvorio je put razvoju silicijumskih foto-dioda sa pogodnom geometrijom, koja omogućava prisluškivanje komunikacionih veza sa optičkim vlaknima. Naime, geometrijski oblik silicijumske

foto-diode može se formirati tako da omogući lokalnu deformaciju vlakna koja ne unosi bitnije narušavanje bilansa snage u vlaknu, a generiše se dovoljno rasejanog zračenja na mestu deformacije koje se detektuje sa foto-diodom, čime se omogućava prisluškivanje, tj. pristup toku informacija u vlaknu.

Izviđanje prisustva i upotrebe optoelektronskih sredstava u borbenim dejstvima vrlo je otežano zbog relativno malih gabarita i razuđenosti u potrebe.

### *Protivelektronska dejstva u uslovima primene optoelektronskih sredstava*

Protivelektronska dejstva u oblasti primene optoelektronskih sredstava su raznovrsna i zavise od karakteristika sredstava prema kojima se primenjuju. Prema zajedničkim svojstvima uticaja na optoelektronske sisteme protiv kojih se primenjuju, mogu se grupisati u dve osnovne grupe [8, 9]:

— **OMETANJE — SMANJENJE INFORMACIJA O OBJEKTU (CILJU)** predstavlja skup postupaka i mera kojima se dovodi do degradacije kontrasta i intenziteta zračenja, čime se bitno utiče na mogućnost detekcije i raspoznavanja cilja, a time i na domet optoelektronskog sredstva od koga se štiti;

— **OBMANJIVANJE — POMERANJE NIŠANSKE TAČKE** (promena koordinata cilja) jeste skup postupaka kojima se omogućuje stvaranje efekta pomeranja ili multipliciranja cilja, čime se bitno smanjuje verovatnoća detekcije, prepoznavanja, identifikacije i pogađanja cilja.

Osnovni fizički procesi koji utiču na funkcionisanje i karakteristike optoelektronskih uređaja mogu se koristiti i za izvođenje PEB, a to su:

— emisija (sopstveno zračenje).

Najčešće se odnosi na veštačke izvore zračenja koji se unose u vidno polje optoelektronskog uređaja radi ometanja;

— apsorpcija (slabljenje zračenja usled apsorpcije).

Koriste se materije koje se razvijaju na putu prostiranja zračenja, tako da slabe energiju zračenja najznačajnijih sačinilaca signature scene (objekta);

— rasejanje (slabljenje zračenja usled rasejanja).

Koriste se materije koje usled izraženog procesa rasejanja dovode do slabljenja energije zračenja ili bitno utiču na prenos kontrasta;

— refleksija (refleksija zračenja spoljašnjih izvora).

Koriste se materijali koji imaju koeficijent refleksije približno jednak koeficijentu refleksije objekata okoline, tako da doprinose ujednačavanju kontrasta objekata u sceni;

— kondukcija (toplotna izolacija).

Koriste se materijali koji usporavaju proces prenosa toplote tako da smanjuju razliku temperatura oko toplotno aktivnih objekata u sceni.

Degradacioni uticaji različitih procesa koji se primenjuju u toku izvođenja PEB mogu biti manje ili više efikasni, što zavisi od načina i vremena primene, ali i od svojstava optoelektronskog uređaja protiv koga se vodi. Pregled nekih degradacionih uticaja i osnovnih procesa koji do njih dovode, prema mestu moguće primene, prikazan je u tabeli 2.

### *OMETANJE — Smanjenje informacije o cilju*

Za omogućavanje smanjivanja informacija o cilju koji se štiti primenjuju se dve osnovne tehnike: primena aerosolnih i dimnih zavesa koje bi-

Moguća primena degradacionih uticaja, procesa i sredstva za njihovu realizaciju

Mesto delovanja	Degradacioni uticaj	Procesi	Način realizacije
Signatura scene	Smanjenje kontrasta scene	EMISIJA (ujednačavanje emisivnosti i temperature) REFLEKSIJA (ujednačavanje reflektivnosti)	prevlake (bojenje), prekrivke (maskirne mreže, radijacioni štiti)
	Izmena sadržaja signature scene	EMISIJA (novi izvori — lažni ciljevi)	makete, mamci, klateri
Atmosfera	Slabljenje zračenja	APSORPCIJA RASEJANJE (slabljenje)	dim, prekrivanje prašina, dimna zavesa
	Degradacija kontrasta pri prostiranju	RASEJANJE (rasejano zračenje izvora van scene)	aerosoli
Optika	Smanjenje transmisije, Smanjenje moći razlaganja	APSORPCIJA (oštećenja usled apsorpcije)	snažni laseri fizičko oštećenje
Detektor	Uticaj na signal detektora, Povećanje šuma, Zasićenje detektora, Uticaj na radni režim	EMISIJA (snažni izvori zračenja u spektralnom opsegu osetljivosti) APSORPCIJA	veštački snažni izvori zračenja (kontinualni, impulсни, modulirani), impulсни laseri

tno umanjuju transmisiju zračenja cilja u pravcu optoelektronskog sredstva, i izmena signature cilja (scene).

— *Dimovi (aerosoli).*

Razvijanje dimnih zavesa oko bra-njenog objekta (cilja) široko je primen- njan metod koji punu efikasnost po- kazuje u vidljivom i bliskom IC delu spektra, dok dimovi za daleko IC zra- čenje još uvek nisu u zadovoljavaju- ćoj meri razvijeni. Naime, kako maski- rna efikasnost zavisi od broja i preč- nika čestica u razvijenom aerosolu, za postizanje zadovoljavajuće maskirne efikasnosti treba formirati aerosol sa krupnim česticama, pri čemu je za po- krivanje prostora potreban veliki utro- šak materijala, a formirani aerosol je

vremenski nestabilan zbog izraženijeg efekta taloženja.

Dim se, obično, formira tokom burnog i egzotermnog procesa sagore- vanja specifičnih goriva (pirotehničke smeše, nafta, mineralna ulja i druge materije) i procesa mešanja produkta sagorevanja sa atmosferom.

Egzotermni proces omogućava za- dimljavanje željenog prostora, tj. ši- renje produkta sagorevanja u atmo- sferu. Tokom procesa mešanja produ- kata sagorevanja sa atmosferom odi- gravaju se fizičko-hemijski procesi ko- ji omogućavaju formiranje relativno stabilnog aerosola. Trajanje i stabil- nost stvorenog aerosola bitno zavisi od stanja u atmosferi (vlažnost) i posto- janja vetra.

Dim sačinjavaju gasoviti produkti sagorevanja i čestice (tečne i čvrste) koje su formirane tokom sagorevanja i mešanja produkata sagorevanja sa atmosferom. Shodno tome, osnovni parametri razvijenog dima su koncentracija čestica (masena, broj čestica) i dimenzije čestica (raspodela po dimenzijama, dominantni prečnik), kao i koncentracija specifičnih gasovitih produkata sagorevanja. Ovi parametri utiču na stabilnost i koeficijent slabljenja dima. Na dimenzije čestica u dimu najviše utiču karakteristike procesa kondenzacije, koagulacije i disperzije koji se odvijaju tokom mešanja dima sa atmosferom.

Stabilnost dima najviše zavisi od načina kretanja čestica unutar dima. Ako su čestice sitnije ( $D < 0,3 \mu\text{m}$ ) dominira Braunovsko kretanje, koje omogućava veću stabilnost dima, a ako su krupnije ( $D > 1,0 \mu\text{m}$ ) dominira kretanje pod uticajem Zemljine teže koje utiče na smanjenje koncentracije kroz proces ukрупnjavanja i taloženja čestica. Visoka koncentracija čestica ( $c_m > 0,1 \text{ g/m}^3$  ili  $c > 10^6 \text{ l/m}^3$ ) pospešuje proces koagulacije, tako da su dimovi sa visokom koncentracijom čestica nestabilni. Stabilnost dimova sa krupnim česticama veliki je problem pri razvoju maskirnih dimova u IC oblasti spektra.

Koeficijent slabljenja dima, usled rasejanja zračenja, zavisi najviše od vrste (materijal — indeks prelamanja, dominantni prečnik) i koncentracije čestica. Slabljenje zračenja usled rasejanja direktno je srazmerno koncentraciji čestica, i najveće je ako je dominantni prečnik čestica istog reda veličine kao i talasna dužina zračenja (Mieova teorija rasejanja). Da bi se postiglo veliko slabljenje dima u spektralnom području osetljivosti termovizijskih uređaja mora se realizovati dim sa relativno krupnim česticama.

Efikasnost primene dima može se pratiti preko parametara. To su:

— *koeficijent slabljenja (transmitivnosti)* dima dobija se iz odnosa signala odabranog detektora za poznati izvor zračenja pri definisanim geometrijskim odnosima u uslovima kada dim ne postoji i kada je razvijen. To je objektivni pokazatelj, ali se u praksi teško koristi zbog nepredvidljivosti prostorne raspodele dima u realnim uslovima;

— *spособnost zamućenja* dobra je mera za maskirnu efikasnost dima u uslovima primene uređaja sa formiranjem slike. Dim se razvija između posmatranog objekta i uređaja za formiranje slike, a povećava se koncentracija dima sve dok se ne izgubi slika objekta. Potrebna količina dima je mera moći zamućenja dima za zadati uređaj za formiranje slike.

Drugi, složeniji način definisanja sposobnosti zamućenja je preko praćenja promene kontrasta test-slike u funkciji koncentracije dima. Ovom vrstom merenja istovremeno se može odrediti integralna transmisija dima i moć zamućenja;

— *vreme razvoja dima* je vreme potrebno da se formira dim sa zadatim parametrima u zadanom prostoru;

— *vreme trajanja dima* je vreme u kome dim zadržava potrebnu maskirnu efikasnost;

— *efikasnost razvoja dima* je mera sposobnosti dimne materije da stvori odgovarajuću zapreminu dima sa definisanom vrednošću maskirne sposobnosti. Izražava se u jedinici zapremine dima ( $\text{m}^3$ ) po jedinici mase dimne materije (g). U toku izvođenja borbenih dejstava razvija se dimna zavesa koja treba da prikrije sopstvene jedinice od dejstva protivničkih optoelektronskih sistema. Razvijena dimna zavesa treba da ima dovoljnu maskirnu sposobnost i dovoljnu zapreminu da omogući prikrivanje sopstvenih snaga (objekata), kao i dovoljno dugo trajanje koje omogućuje ostvarivanje zaštite tokom dejstva ili izvođenja manevra izbega-

vanja. Osnovna teškoća pri upotrebi dimne zavese je određivanje pravca i vremena upotrebe optoelektronskih uređaja i sistema, što je zbog pasivnog rada otežano.

Pojačane su istraživačko-razvojne aktivnosti na iznalaženju rešenja za IC dimove koji kombinuju efekte apsorpcije i rasejanja, a imaju povećanu stabilnost formiranog aerosola (npr. primena statičkog naelektrisanja na česticama aerosola).

Sve šira primena termovizije u sistemima za osmatranje, nišanje, vođenje i samonavođenje, posebno potencira značaj primene protivelektronskih dejstava u IC delu spektra.

#### — *Prevlake*

Prevlake se koriste za privremenu ili trajnu (maskirno bojenje) izmenu osobina (refleksija, emisivnost) površine objekta koja omogućava »stapanje« objekta sa okolinom, a time i otežavanje prepoznavanja objekta. Prevlake se mogu koristiti za lokalizovane izmene ukupne signature objekata u sceni.

Prevlake imaju veću mogućnost primene u vidljivom i bliskom IC delu spektra. U dalekom IC delu spektra (termovizija) one imaju mnogo manju mogućnost primene zbog vrlo velikih razlika u emisivnosti materijala u okolini, i velikog uticaja razlika u emisivnosti na formiranje i izgled termovizijske slike, kao i procesa provođenja toplote. Da bi se prevlaka mogla koristiti za IC maskiranje, pored emisivnosti njenog materijala, transmisija materijala u odgovarajućem spektralnom području mora biti mala.

Korišćenje prevlaka u termovizijskom spektralnom opsegu je najefikasnije, ako je privremenog karaktera i ako je moguće i na drugim delovima posmatrane IC scene. Trajne prevlake za IC maskiranje u termovizijskom pod-

ručju su, praktično, neupotrebljive u slučaju primene na toplotnoaktivnim objektima.

#### — *Prekrivke*

Prekrivke u vidljivom i bliskom IC delu spektra služe za ujednačavanje refleksije sa objektima okoline i skrivanje objekata od osmatranja. Koriste se različite maskirne mreže i druga formacijska i neformacijska sredstva.

U termovizijskom spektralnom opsegu prekrivke se mogu koristiti za prikrivanje ciljeva preko ujednačavanja emisivnosti sa okolinom, pri čemu transmisija prekrivke za IC zračenje mora biti mala. Vrlo je teško napraviti sistem univerzalnih formacijskih prekrivki zbog velikog uticaja razlika u emisivnosti na formiranje i izgled termovizijske slike. Najbolji efekti sa korišćenjem prekrivki za IC maskiranje mogu se postići ako se, pored skrivanja cilja, prekrivke koriste i za generisanje lažnih ciljeva.

Ako su prekrivke napravljene kao dobre termoizolacione strukture i kvalitetne radijacione prepreke, mogu se koristiti za kratkotrajno lokalno prikrivanje zagrejanih delova ciljeva. Da bi se to ostvarilo, proces kondukcije toplote sa zagrejanih delova cilja mora biti znatno redukovan, a vreme korišćenja prekrivke ograničeno.

#### — *Klateri*

Klateri su lokalizovani izvori zračenja (topli ili hladni) sa velikom razlikom radijanse u odnosu na okolinu, a mogu se koristiti za deformaciju signature scene ili degradaciju slike usled zasićenja detektora ili indikatora.

Efekat deformacije signature scene manifestuje se kroz unošenje slika mogućih lažnih ciljeva u posmatranu scenu. Ovaj efekat više je izražen kod IC sistema sa slabijim mogućnostima prepoznavanja ciljeva.

Degradacija termovizijske slike u termovizijskim uređajima sa automat-

skom regulacijom sjajnosti i kontrasta postiže se preko uticaja radijanske klatera na automatsko određivanje temperaturskog nivoa i temperaturskog prozora u termovizijskom uređaju.

#### — Makete

Maketa je uprošćena kopija stvarnog cilja koja se koristi za imitaciju realnih ciljeva, što se postiže oblikom makete i ugrađenim agregatima za imitiranje signature cilja u svim spektralnim opsezima od interesa. Makete služe za unošenje lažnih informacija u scenu. Izrađuju se od različitih, uglavnom jeftinih materijala (drvo, guma, plastika i dr.).

Najbolji efekti primene tehnika PEB postižu se kroz istovremenu simultanu primenu više tipova radijacionih smetnji, pri čemu je značajno da se PEB sprovodi samo u vremenu očekivanog dejstva protivnikovih optoelektronskih sredstava ili sistema.

Pri upotrebi radijacionih smetnji moraju biti dobro poznati svi procesi delovanja radijacione smetnje na signaturu scene ili proces formiranja slike, jer se neadekvatnom primenom mogu lako postići neželjeni efekti (demaskiranje).

Mogućnosti primene radijacionih smetnji i drugih metoda PEB u oblasti primene termovizijskih sredstava moraju se vrlo pažljivo izučavati, kako zbog opštih mogućnosti optoelektronskih uređaja, tako i zbog mogućnosti demaskiranja u nekom drugom području spektra.

#### *OBMANJIVANJE — pomeranje nišanske tačke*

Pomeranje nišanske tačke najlakše se realizuje uz unošenje lažnog cilja u vidno polje optoelektronskog uređaja (sistema). U upotrebi su različite vrste IC mamaca koji se mogu programirati i ispaljivati sa aviona (pirotehnički IC mamci i IC baklje

kratkovremenog rada) ili biti pričvršćeni na cilju (avion, tenk) na bezbednom rastojanju od cilja, pri čemu imitiraju zračenje cilja tako da se nišanska tačka pomera na njih. Prva pojava mamaca u Arapsko-izraelskom ratu dala je izvanredne rezultate, ali su vrlo brzo nađena nova tehnička rešenja GSN koja su omogućila razlikovanje mamaca i cilja.

Nedostatak pirotehničkih mamaca je kratko vreme rada i neprilagodjenost spektra zračenju realnih ciljeva [8, 10]. Imitacioni mamci su agregati koji su namenjeni za višekratnu primenu i mogu duže da rade i vernije imitiraju zračenje ciljeva koji se sa njima štite.

Druga grupa sredstava koji mogu da omoguće efektivno pomeranje nišanske tačke su ometači sa modulisanim zračenjem koji se uspešno primenjuju za ometanje samonavedenih raketa sa modulatorom u koordinatoru GSN [3]. Superpozicija modulisanog zračenja cilja i ometača dovodi do pogrešnog određivanja koordinata cilja.

Nehomogena raspodela gustine i vrste čestica u aerosolu (dimu) može izazvati efekat stvaranje atmosferskog makrosočiva koje, praktično, dovodi do krivljenja nišanske linije, a time i do pomeranja nišanske tačke. Primena dima u borbenim uslovima može pomoći zaštititi sopstvenih ciljeva, iako gustina dima nije dovoljna da bitno umanji informaciju o cilju.

#### *Protivelektronska borbena dejstva*

Masovnost upotrebe, razlike u doimetu optoelektronskih uređaja, njihova relativno visoka cena i osetljivost konstrukcije na mehanička dejstva (optički elementi) uzrokuju da se u borbenim dejstvima, tj. direktnim oštećenjem ili uništenjem optoelektronskog sredstva, upotrebom vatre i drugih borbenih radnji, može bitno uticati na smanjenje ukupne efikasnosti njihove

upotrebe. Kako optoelektronski uređaji prema spoljašnjoj sredini komuniciraju preko mehanički osetljivog i lako lomljivog optičkog sistema, relativno je lako onesposobiti optoelektronski uređaj ukoliko je mogućan direktan pogodak u otvor optičkog sistema. Optoelektronski uređaji mogu se onesposobljavati:

— pešadijskim naoružanjem

Dobro organizovanom vatrom mogu se efikasno uništavati delovi optoelektronskih podсистема SUV tenka, optoelektronski podsklopovi sistema za vođenje PO raketa na mestu lanse- ra, izviđačke bespilotne letelice i drugi optoelektronski uređaji koji su u do- metu pešadijskog naoružanja.

Za uspešno sprovođenje ovih aktivnosti neophodno je, kroz obuku strelaca, omogućiti dobro upoznavanje sa izgledom i mestima montaže optoelektronskih uređaja, kao i sa podacima značajnim za njihovo uništenje;

— artiljerijskim i raketnim naoružanjem

Poseban značaj ima upotreba PA artiljerijskog naoružanja u protivra- ketnoj odbrani jedinica i objekata od samonavedenih raketa koje koriste optoelektronske koordinate. Značaj upotrebe PA naoružanja u protivra- ketnoj odbrani brodova vrlo je važan, pri čemu se posebna pažnja posvećuje o- premanju, rasporedu i obuci posade za izvršenje specifičnih zadataka protiv- raketne odbrane.

U slučaju masovne primene opto- elektronskih sredstava u toku izvođe- nja borbenih dejstava, primena arti- ljerijskih razorno-parčadnih projekti- la može biti vrlo efikasna za uništenje optoelektronskih senzorskih jedinica, a time se postiže onesposobljavanje složenih borbenih sistema (npr. SUV tenka);

— laserskim sredstvima

Mogu se koristiti vrlo široko u okviru borbenih dejstava, pri čemu su mogući sledeći efekti: uništenje vital- nih delova optoelektronskih uređaja (detektora, delova optičkog sistema); zaslepljivanje, kako žive sile (posade) tako i uređaja dovodenjem u zasićenje detektora i drugih optoelektronskih sklopova; ometanje ispravnog rada (po- većan šum ili generisanje smetnji); pri- vremeno onesposobljavanje kroz pore- mećaj radnog režima, što je posebno izraženo kod optoelektronskih uređaja u kojima se koriste hladni detektori sa rashladnim sistemima ograničenog rashladnog kapaciteta.

Zbog cene, gabarita i složenosti prateće opreme korišćenje laserskih sredstava je ograničeno i može biti o- pravdano samo kada su u pitanju zna- čajnija i skuplja optoelektronska sre- dstva protivnika.

Posebna grupa protivelektronskih borbenih dejstava su tzv. elektronska dejstva. Pošto se u optoelektronske si- steme ugrađuje dosta elektronskih komponenti, primenom snažnih elek- tromagnetskih impulsa (npr. EMINE) mogu se onesposobiti i optoelektron- ska sredstva na sličan način kao i ele- ktronska.

*Protivelektronska zaštita u uslovima primene optoelektronskih sredstava*

Za organizovanje protivelektron- ske zaštite, pored poznavanja opštih principa funkcionisanja sredstva od koga se štiti, potrebno je poznavati i konkretne tehničko-taktičke karakte- ristike sredstava i sistema koja kori- ste optoelektronske senzore. S obzirom na raširenost primene optoelektron- skih sredstava, kao i različitost efeka- ta koji se koriste za njihov rad, prak- tično je nemoguće formirati univer- zalni sistem zaštite ili bi takva zaštita bila ekstremno skupa [6, 7].

Protivelektronska zaštita može biti uspešna samo ako se sprovodi stručno, organizovano, disciplinovano, dosledno i sveobuhvatno, kako u ratu, tako i u miru.

Protivelektronska zaštita od upotrebe optoelektronskih sredstava može se razmatrati u odnosu na dve najmasovnije grupe primena optoelektronskih sredstava, a to su:

— *zaštita od optoelektronskog osmatranja i nišanjenja*

S obzirom na relativno veliki domet i rezoluciju optoelektronskih sredstava, kao i na mogućnost celodnevnog korišćenja, optoelektronska sredstva za osmatranje i nišanjenje znatno povećavaju mogućnosti prikupljanja podataka o objektima u prostoru izvođenja borbenih dejstava i omogućavaju vrlo precizna dejstva u ubojnim sredstvima po odabranim objektima. Znatno je povećana opasnost od njihove primene, tako da je posebno važno pitanje zaštite objekata od optoelektronskog osmatranja.

— *zaštita od optoelektronskih ubojnih sredstava*

Optoelektronska sredstva (vođeni ili samonavođeni projektili) omogućavaju vrlo precizno i selektivno pogađanje odabranih ciljeva. Posebno je izražena opasnost primene optoelektronskih sistema protiv letelica, plovila, oklopnih vozila i pojedinih objekata na terenu (KM, mostovi, brane, privredni objekti i dr.). Zato se posebna pažnja posvećuje zaštiti sopstvenih sredstava od dejstva optoelektronskih ubojnih sredstava, pri čemu se mere zaštite najčešće koordiniraju i dopunjuju sa protivelektronskim i drugim dejstvima.

U okviru sistema zaštite najčešće je prisutna primena dve osnovne grupe tehnika: maskiranje i povećanje neposredne zaštićenosti objekata.

— *maskiranje* je skup postupaka kojima se prikrivaju sopstvena sred-

stva, objekti i snage, njihov raspored i pokret od protivničkih sredstava za izviđanje, osmatranje, praćenje i navođenje, čime se postiže iznenađenje i obmanjuje protivnik.

Primenom maskiranja vrši se neposredni uticaj na signaturu scene (objekta) koji se štiti. Realizuje se preko izmena reflektivnosti, emisivnosti ili raspodele temperature u sceni. Osnovni metodi koji se koriste su: skrivanje, deformacije i imitacija elemenata signature scene. Taktika izvođenja bitno zavisi od spektralnog opsega rada optoelektronskih uređaja.

Sredstva i postupci maskiranja vrlo su različiti. U vidljivom i bliskom IC delu spektra koristi se maskirno bojenje, maskirne mreže, odsečena vegetacija, ozelenjavanje, i dr. U termovizijskom delu spektra koriste se termoizolacioni materijali, radijacioni štiti-tovi, prirodni materijali, hlađenje, i dr. Zanimljivo je istaći da odsečena vegetacija koja je relativno efikasno sredstvo u vidljivom delu spektra deluje demaskirajuće u IC delu spektra.

Maskiranje je važna aktivnost koja se sprovodi, najčešće, u okviru inženjerijskog obezbeđenja borbenih dejstava i sprovodi se u miru i ratu, na taktičkom, operativnom i strategijskom nivou.

— *povećanje neposredne zaštićenosti objekta (cilja)* skup je mera postupaka i tehničkih rešenja koja su sastavni deo konstrukcije i taktike primene sredstava i objekata. Omogućavaju smanjenje efikasnosti upotrebe i ubojnog dejstva protivničkih optoelektronskih sredstava, ili pravovremeno alarmiranje opasnosti od upotrebe optoelektronskih sredstava i preduzimanje odgovarajućih unapred pripremljenih protivdejstava.

Povećanje neposredne zaštićenosti cilja se, pre svega, odnosi na ojačavanje vitalnih delova objekata i TMS od razornog dejstva ubojnih sredstava sa optoelektronskim sensorima.



Neposredna zaštićenost se povećava uz primenu senzora za pravovremeno otkrivanje upotrebe optoelektronskih sredstava koja su sastavni deo sistema zaštite radi njegovog automatskog aktiviranja posle alarma opasnosti. Takva sredstva su npr. detektori laserskog ozračenja koji mogu signalizirati ozračenost cilja laserskim snopom i odrediti pravac dejstva laserskog zračenja i vrstu primenjenog lasera.

U operativnoj upotrebi koriste se senzori na avionima za detekciju pojave lansiranja raketa i određivanje pravca leta, što je osnovni preduslov za pravovremenu i efikasnu primenu protivmera i mera zaštite (IC mamci, ometači i dr.).

Poseban problem predstavlja zaštita sopstvenih optoelektronskih sredstava od protivelektronskih dejstava protivnika. Mere zaštite se ugrađuju u konstrukciona rešenja preko izbora spektralnog opsega rada, tipa i strukture detektora, tehnika za obradu signala i informacija.

Specifičnosti postupaka, sredstava i mera zaštite detaljnije će se razmatrati u odnosu na zaštitu snaga (žive sile), objekata i tehničkih sredstava.

### *Zaštita žive sile*

Zaštita žive sile razmatra se kao posebna kategorija zbog značaja koji se posvećuje ljudskim resursima koji se koriste u toku oružanih sukoba, iako ih je relativno teško izdvojiti iz okvira sredstava i objekata koje opslužuju. Može se razmatrati individualna i kolektivna zaštita.

Individualna zaštita od primene optoelektronskih sredstava vrlo je kompleksan problem i bitno zavisi od vrste optoelektronskih sredstava čija se primena očekuje. Zaštita žive sile realizuje se preko primene individualnih zaštitnih sredstava ili kroz obuku (taktički postupci). Kada su u pitanju optoelektronska sredstva obuka ima ključnu ulogu, jer njihova primena u-

nosi i bitne izmene u taktiku upotrebe oružanih snaga tako da se kroz obuku moraju dobro upoznati opasnosti koje su izazvane upotrebom optoelektronskih sredstava i efikasnost pojedinih mera i postupaka.

Maskirna odeća omogućava prikrivanje sopstvenih snaga u odnosu na optoelektronska sredstva koja rade u vidljivom delu spektra. Postoje tendencije upotrebe maskirne odeće za zaštitu od termovizijskog osmatranja. Polazeći od specifičnosti funkcionisanja termovizijskih uređaja efikasna primena maskirne odeće u termovizijskim spektralnim opsezima (STIC i DTIC) ograničena je na mali broj specifičnih situacija i relativno kratko vreme, tako da ne može biti u masovnoj upotrebi.

Kako je primena laserskih sredstava sve šira (laserski daljinomeri, laserski ozračavači (označavači) cilja, laserski sistemi za praćenje ciljeva, laserska sredstva za uništenje ciljeva i ometanje rada optoelektronskih uređaja (snažni laseri), realno je očekivati da u savremenim oružanim sukobima živa sila bude izložena dejstvu laserskog zračenja koje može da izazove znatna oštećenja tkiva, a posebno čula vida. Zbog toga je prirodno da se uočava sve izraženiji trend individualne primene zaštitnih naočara za zaštitu oka vojnika, kao i drugih zaštitnih sredstava za zaštitu otkrivenih delova tela (premazi, rukavice i sl.).

Kolektivna (grupna) zaštita žive sile uglavnom se realizuje u okviru zaštite objekata i tehničkih sredstava ili u okviru protivelektronske zaštite dejstava jedinica (manevar, pokret) na svim nivoima izvođenja borbenih dejstava.

Primena optoelektronskih sredstava za izviđanje, osmatranje i nišanje omogućava bitno proširenje dnevnog resursa upotrebe oružanih snaga (noću i u otežanim uslovima vidljivosti), a time i povećanje dinamike izvođenja borbenih dejstava, čime se

omogućava neprekidni tok pouzdanih informacija o kretanju i razmeštaju jedinica i sredstava.

To prouzrokuje bitne izmene u taktici upotrebe jedinica i sredstava ratne tehnike, jer se više ne mogu koristiti maskirna svojstva noći. Kroz obuku se mora postići takav stepen poznavanja opasnosti primene optoelektronskih sredstava i razrade taktičkih postupaka koji će omogućiti bolju zaštićenost žive sile primenom radnji koje smanjuju demaskirajuće efekte.

### *Zaštita objekata*

Kako postoji veliki broj optoelektronskih sredstava za osmatranje i nišanje, kao i IC, televizijskih i laserski vođenih i samonavođenih projektila i avio-bombi koji omogućavaju precizno pogađanje sa bezbednih udaljenosti, a namenjeni su za uništenje značajnih vojnih objekata i objekata infrastrukture, neophodno je preduzimati i odgovarajuće mere zaštite koje mogu doprineti smanjenju efekata njihove primene. Ove mere mogu biti mere neposredne zaštite koje zavise od karakteristika sredstava od kojih se objekat štiti, ili mere koje se preduzimaju za maskiranje (skrivanje) objekata (npr. izgradnja lažnih objekata — maketa).

Za efikasnu zaštitu i kontrolu stepena zaštićenosti objekata neophodno je poznavanje signature objekta, tj. njihovih osobina vezanih za sopstveno zračenje ili refleksiona svojstva u spektralnom opsegu rada sredstva od koga se objekat štiti.

Pošto optoelektronska sredstva, uglavnom, reaguju na razliku kontrasta u posmatranoj sceni, osnovni način zaštite svodi se na umanjeње kontrasta objekta u odnosu na okolinu, pri čemu postoje bitne razlike u odnosu na različite delove spektra:

#### — vidljivo zračenje

Zaštita se postiže odgovarajućim maskirnim bojenjem ili korišćenjem

maskirnih mreža, prekrivki i drugih formacijskih i priručnih sredstava koja doprinose skrivanju objekata.

#### — lasersko zračenje

Zaštita objekata od primene laserskih sredstava ima dve komponente: mere koje doprinose umanjeњу mogućnosti otkrivanja objekta i mere koje doprinose smanjenju refleksije objekta. Smanjenje mogućnosti otkrivanja postiže se merama zaštite od osmatranja, a smanjenje refleksije laserskog zračenja korišćenjem apsorpcionih premaza ili rasporedom reflektujućih površina, tako da se očekivana difuzna refleksija objekta preoblikuje u relativno usmerenu refleksiju u pravcu koji je van vidnog polja laserskog sredstva u slučaju kada je moguće predvideti pravac dejstva protivnikovih laserskih sredstava. Primena detektora laserskog ozračenja omogućava alarmiranje i pravovremeno preduzimanje protivdejstava (razvijanje dimne zavesе, manevar, i sl.), tako da posredno doprinose povećanju stepena zaštićenosti.

#### — IC zračenje

Optoelektronski uređaji koji koriste IC zračenje reaguju na radijacioni kontrast koji zavisi od emisivnosti objekata i temperature objekta i okoline. Zbog toga nije moguće na jednostavan način postići zaštitu, jer je komplikovano i skupo postizanje ujednačavanja emisivnosti u sceni kao i perfektnе izolacije toplotno aktivnih agregata u IC sceni.

Za zaštitu objekata koriste se materijali koji imaju približno istu emisivnost kao i okolina (prirodni materijali), pri čemu treba težiti da oblik i obrada spoljašnjih površina što više odgovaraju prirodnom ambijentu. Uporedo sa tim mora se obezbediti i što bolji stepen termičke izolacije unutrašnjosti objekta prema okolini. Za te potrebe koriste se različiti izolacioni materijali, refleksione površine ka unutrašnjosti objekta i druge tehnike.

Pristup zaštiti objekata vrlo je kompleksan zbog različitosti i često prisutne kontradiktornosti izraženih zahteva zavisno od vrste sredstava a pošto se pri zaštiti moraju primeniti relativno složena i skupa građevinska rešenja, pri planiranju zaštite objekata mora se polaziti od njihovog ukupnog značaja.

Primena dima i dimnih zavesa često se svrstava u mere zaštite, mada je opravdanije da se razmatra kao protiv-elektronsko dejstvo koje se primenjuje samo u slučaju alarmirane ili pretpostavljene primene optoelektronskih uređaja.

Primena dima i dimnih zavesa u vidljivom i bliskom IC delu spektra omogućava relativno efikasno prikriivanje šticein的角度, sredstava i objekata u trajanju dovoljnom za izvršenje manevra ili smanjenje efikasnosti dejstva.

Primena dimnih zavesa u IC delu spektra takođe je moguća, ali za razliku od vidljivog dela spektra potrebne karakteristike dima je mnogo teže ostvariti (zahtevaju se krupnije čestice, zbog čega se dim teže razvija, a uz to je nestabilan i kratkotrajan).

### *Zaštita tehničkih materijalnih sredstava i borbenih sistema*

Zaštita tehničkih materijalnih sredstava i borbenih sistema od dejstva optoelektronskih uređaja kompleksan je problem koji se rešava u toku projektovanja i izrade. Razlikuju se dva aspekta zaštite: zaštita sopstvenih sistema u uslovima primene optoelektronskih uređaja protivnika i zaštita sopstvenih optoelektronskih uređaja od primene različitih sredstava za PEB koje protivnik može primeniti.

U prvom slučaju primenjuju se takva konstrukciona rešenja koja omogućavaju bitno umanjenje radijacionog kontrasta sredstava u odnosu na oko-

linu ili odgovarajući taktički postupci u eksploataciji koji doprinose smanjenju radijacionog kontrasta, a time i prikrivanju prisustva sredstva u sceni.

U drugom slučaju primenjuju se takva tehnička rešenja koja omogućavaju kompleksnu obradu signala i informacija o cilju i doprinose povećanju praga osetljivosti uređaja ili poboljšanju kriterijuma za selekciju i identifikaciju ciljeva (različite tehnike spektralnog, prostornog, frekventnog i vremenskog filtriranja, kao i kodiranja izvora zračenja u slučaju aktivnih optoelektronskih sredstava).

Za izbor konkretnih rešenja prvi i osnovni ograničavajući faktor je poznavanje pravih signatura cilja, kao i ponašanja cilja u različitim uslovima primene. Drugi važan ograničavajući faktor je postignuti nivo tehnike i tehnologija koje se mogu primeniti u toku proizvodnje sredstva. Takođe je važna i dobra procena mogućnosti protivnika da primeni odgovarajuće protivmere.

Pored pasivnih mera zaštite, vezanih za izmenu signatura cilja, primenjuju se i različiti taktički postupci i tehnička rešenja za aktivna dejstva.

Treba voditi računa o činjenici da je, često, važno da se poseduje odgovarajuća klasa sredstava bez obzira na to što nije postignut zadovoljavajući stepen zaštićenosti od svih mogućih protivelektronskih dejstava protivnika. Dobro poznavanje karakteristika sopstvenih sredstava, karakteristika sredstava i protivdejstava koje protivnik može da primeni, kako po vrsti tako i po količinama, može omogućiti da se pogodnom primenom taktičkih postupaka poveća efikasnost primene sopstvenih optoelektronskih sredstava. Dobro obaveštajno obezbeđenje borbenih dejstava, uz kvalitetnu stručnu i taktičku obuku, može znatno doprineti efikasnosti primene optoelektronskih sredstava.

## **Tehničko-tehnološki preduslovi za uspešno organizovanje PEB u oblasti upotrebe optoelektronskih sredstava**

Primena optoelektronskih sredstava znatno doprinosi efikasnosti i proširenju vremenskog resursa primene borbenih sistema. Funkcionisanje optoelektronskih sistema osetljivo je na uslove koji postoje u okolini. Konstrukcija optoelektronskih uređaja je relativno krhka. Sve to naglašava interes za PEB u oblasti primene optoelektronskih sistema i čine je vrlo mogućom. Efikasnost i ukupni efekti primene optoelektronskih sredstava bitno zavise od obima i vrsta primene mera, postupaka i dejstava u okviru PEB. Mogućnost organizovanja PEB umnogome zavisi od nivoa poznavanja funkcionisanja optoelektronskih sredstava koje je ograničeno tehnološkim faktorima.

Za uspešno sprovođenje PEB u oblasti primene optoelektronskih sredstava neophodno je da postoje sledeći preduslovi:

— vrlo visok nivo znanja i poznavanja mogućnosti savremenih tehnologija koje su primenjive pri razvoju, proizvodnji i upotrebi optoelektronskih sredstava, a posebno u oblastima:

— poznavanja signatura ciljeva (scene) u različitim oblastima spektra;

— uticaja atmosferskih pojava i uslova u atmosferi (magla, kiša, sneg) na upotrebu optoelektronskih sistema;

— uticaja i karakteristika veštački generisanih aerosola (dimova) na prostiranje zračenja;

— poznavanja principa funkcionisanja i uticaja karakteristika ugrađenih komponenti na karakteristike optoelektronskih uređaja;

— visok nivo poznavanja (procena) taktike i obima upotrebe optoelektronskih sistema;

— postignuti nivo tehnološkog razvoja u oblasti tehnologija primenljivih pri proizvodnji optoelektronskih

uređaja i u oblasti tehnologija primenljivih u PEB, pri čemu treba posebno istaći:

— razvijenost meteorološke osnove (posebno radiometrije i fotometrije);

— tehnologije izrade optičkih materijala i obrade optičkih komponenti, uključujući i projektovanje, justiranje i proveru kvaliteta optičkih sistema;

— tehnologije izrade i provere kvaliteta foto-detektora (poluprovodnički materijali i tehnologije, rashladni sistemi, vakuumska tehnika);

— tehnike obrade signala i informacija i tehnologije koje su primenljive pri strukturiranju elektronskih sklopova (elektronika visokog stepena integracije i brzine rada, mikroprocesori, složeni algoritmi za obradu signala i informacija);

— povezanost tehničkih i operativno-taktičkih struktura, efikasnost transvera znanja i neprekidnost toka informacija.

Optoelektronska sredstva karakteriše vrlo visoki stepen tehničke složenosti, pa je za iskorišćavanje njihovih mogućnosti potreban vrlo visoki nivo specijalističkih znanja. Integracija specijalističkih znanja kroz timski rad jedina je mogućnost za efikasnu primenu i za protivelektronsku borbu u uslovima primene optoelektronskih sredstava.

— raznovrsnost i fleksibilnost sistema PEB u oblasti primene optoelektronskih sredstava.

— razvijenost tehničkih sredstava za EI ili metoda za efikasnu procenu verovatnoće i obima primene optoelektronskih sredstava.

Optoelektronska sredstva predstavljaju klasu sredstava u kojima je zastupljena masovna primena novih tehnologija. Njihovom masovnom primenom može se ostvariti strategijska premoć u izvođenju borbenih dejstava. Efekti primene optoelektronskih sred-

stava bitno zavise od uspešnosti integracije operativno-taktičkih zahteva i tehničkih mogućnosti primenjenih sistema.

PEB u oblasti primene optoelektronskih sredstava u savremenim uslovima mora, takođe, imati strategijski značaj. S obzirom na veliku povezanost tehničkih mogućnosti optoelektronskih sredstava i taktike njihove primene, razvoj PEB mora se oslanjati na resurse unutar armijskih naučno-istraživačkih ustanova, uz dobru koordinaciju rada sa drugim naučno-istraživačkim, razvojnim i proizvodnim resursima u zemlji. Uspeha u PEB ne može da bude bez dugoročnog, dobro usmerenog i koordiniranog rada u relevantnim oblastima nauke i tehnike.

### **Trendovi razvoja PEB u oblasti primene optoelektronskih uređaja i sistema**

Buran razvoj tehnologije omogućio je vrlo intenzivan i širok razvoj primena optoelektronskih uređaja u vojnim sistemima (sa prosečnim godišnjim porastom ulaganja u razvoj i proizvodnju oko 20% u toku poslednje decenije). Razvoj optoelektronskih sistema pratio je i razvoj odgovarajućih sredstava za PEB koji se zasnivaju na primeni istih tehnologija. S druge strane, razvoj sredstava i metoda PEB dovodio je do vrlo brzog zastarevanja razvijenih optoelektronskih uređaja i njihovog brzog usavršavanja, tako da se vek najvećeg dela optoelektronskih uređaja i sistema sveo na desetak godina.

Trendovi razvoja optoelektronskih uređaja i sistema u oblasti PEB vezani su i direktno zavise od stepena razvoja tehnologija i prate trendove razvoja optoelektronskih uređaja, pri čemu se mogu izdvojiti sledeći težišni pravci:

— povećanje stepena zaštićenosti žive sile, tehničkih materijalnih sredstava i objekata kroz primenu zaštit-

nih sredstava i postupaka i primenu konstrukcionih rešenja koja otežavaju detekciju prisustva primenom optoelektronskih sredstava;

— razvoj novih dimova i aerosola sa povećanim faktorom prigušenja u IC delu spektra, i sa povećanom stabilnošću razvijene dimne zavese;

— razvoj novih vrsta IC mamaca i novih tehnika i taktičkih postupaka primene veštačkih izvora zračenja, uključujući i primene maketa;

— razvoj tehnika za ispitivanje uslova funkcionisanja i upotrebe optoelektronskih sredstava i uticaja stanja atmosfere i spoljašnjih faktora (prašina, dim, eksplozije) koji se javljaju pri izvođenju borbenih dejstava na efikasnost optoelektronskih uređaja;

— formiranje baza podataka o efektima primene pojedinih optoelektronskih sredstava u različitim geografskim prostorima, vremenskim i dnevnim uslovima, radi određivanja optimalne taktike primene i verovatnoće upotrebe optoelektronskih sredstava u konkretnim situacijama;

— formulisanje matematičko-fizičkih i numeričkih modela za simuliranje uslova primene optoelektronskih uređaja i sistema, radi procene efikasnosti primene optoelektronskih uređaja i protivmera;

— razvoj novih saznanja vezanih za tehnologije, konstrukciju i upotrebu optoelektronskih sredstava;

— razvoj novih tehnika za detekciju prisustva i upotrebe optoelektronskih sredstava ratne tehnike;

— razvoj sistema sa snažnim laserima za ometanje i uništenje optoelektronskih uređaja.

### **Zaključak**

Pregled opštih karakteristika i klasifikacija vojnih optoelektronskih uređaja pokazuje da je izražena široka zastupljenost i raznolikost njihove pri-

mene u naoružanju i opremi oružanih snaga savremeno opremljenih armija sveta.

Primena optoelektronike je opredeljujući faktor eksploatacionih karakteristika složenih sistema za protivoklopnu borbu, sistema za izviđanje i osmatranje, sistema za protivvazдушnu odbranu na malim i delimično srednjim udaljenostima, sistema za upravljanje vatrom tenkova i artiljerijskih sredstava, sistema za protivrakatnu odbranu plovila, i dr.

Primena optoelektronskih sredstava za izviđanje, osmatranje i nišanje omogućava bitno proširenje dnevnog resursa upotrebe oružanih snaga (noću i u otežanim uslovima vidljivosti), a time i povećanje dinamike izvođenja borbenih dejstava, čime se omogućava neprekidni tok pouzdanih informacija o kretanju i razmeštaju jedinica i sredstava ratne tehnike. To uzrokuje bitne izmene u taktici upotrebe jedinica i sredstava, jer se više ne mogu koristiti maskirna svojstva noći.

Analiza opštih uslova funkcionisanja i primene optoelektronskih uređaja, kao i uslova za izvođenje protivelektronske borbe pokazuje da, sa jedne strane, primena optoelektronskih sredstava znatno doprinosi povećanju efikasnosti i vremenskog resursa upotrebe oružanih snaga, a, sa druge strane, umnogome zavisi od uslova primene. To znači da je organizovanje protivelektronske borbe izvodljiv ali i relativno složen zadatak, posebno zbog raznolikosti u konstrukciji optoelektronskih uređaja.

Kako se za funkcionisanje optoelektronskih uređaja i za organizovanje PEB mogu koristiti isti procesi, značajno je naglasiti da je za efikasnost PEB izuzetno važno poznavanje procesa koji utiču na formiranje signature

scene i prostiranje zračenja kroz atmosferu. Izučavanje ovih procesa zahteva kompleksna i dugotrajna usmerena istraživanja koja se, uglavnom, sprovode u specijalizovanim vojnim istraživačko-razvojnim laboratorijama.

U poslednje vreme uočava se trend širenja upotrebe optoelektronskih sredstava kroz fuziju termovizijskih senzora i uređaja sa pojačavačima slike, primenu noćnih nišana zajedno sa laserskim daljinomerima i označavačima cilja, primenu noćnih nišana na prenosnim protivoklopnim oruđima i u okviru prenosnih protivavionskih raketnih sistema, kao i masovnija primena noćnih nišana za pešadijsko naoružanje.

Optoelektronska sredstva predstavljaju klasu sredstava u kojima je vrlo zastupljena primena novih tehnologija. Njihovom masovnom primenom može se ostvariti strategijska premoć u izvođenju borbenih dejstava. PEB u oblasti primene optoelektronskih sredstava u savremenim uslovima mora, takođe, da ima strategijski značaj.

Kada su u pitanju optoelektronska sredstva, obuka ima izuzetno važnu ulogu, jer primena optoelektronskih sredstava unosi i bitne izmene u taktiku upotrebe oružanih snaga, tako da se kroz obuku moraju dobro upoznati opasnosti koje su izazvane upotrebom optoelektronskih sredstava, i efikasnost pojedinih mera i postupaka.

Kroz obuku se mora postići takav stepen poznavanja opasnosti primene optoelektronskih sredstava i razrada taktičkih postupaka koji će omogućiti bolju zaštićenost žive sile, objekata i tehničkih materijalnih sredstava. Obrazovanost starešina iz ove oblasti mora da bude na visokom nivou, a kroz posebne kurseve znanje treba neprekidno obnavljati.

## Literatura:

- [1] Livada B., Babić V.: Noćne optoelektronske sprave sa pojačavačima slike, Vojnotehnički glasnik, br. 1/92, str. 18—35.
- [2] Livada B.: Optoelektronika i oružane snage: Funkcionisanje, klasifikacija i putevi istraživanja i razvoja vojnih optoelektronskih uređaja i sistema, NTP vol. XXXV, 1985, br. 5, 38—49.
- [3] Livada B.: Neki aspekti zaštite vazduhoplova od IC samonavedenih raketa, Glasnik RV i PVO, br. 1—2/92, str. 25—41.
- [4] Volarević V.: Elektronsko izviđanje i protiv-elektronska zaštita jedinica, tehničkih sredstava i informacija, 1983, Savremeni strategijski problemi vol. 7—8, Savremena ratna tehnika i ratna veština, 298—307.
- [5] Banjac D.: Sredstva i snage za protivelektronsku borbu i njihov uticaj na vođenje oružane borbe, (1983), Savremeni strategijski problemi vol. 7—8, Savremena ratna tehnika i ratna veština, 288—298.
- [6] Bajić M., Razinger A.: Tehnika daljinskog osmatranja i njen uticaj na borbena dejstva, (1983), Savremeni strategijski problemi vol. 7—8, Savremena ratna tehnika i ratna veština, 307—317.
- [7] Bugarinović Đ., Babić V., Živković Lj.: Optoelektronska sredstva i vođenje borbenih dejstava, (1983), Savremeni strategijski problemi vol. 7—8, Savremena ratna tehnika i ratna veština, 317—329.
- [8] Boyd J. A. i sar. (ed): Electronic Countermeasures, 1978, Peninsula Publishers, Los Altos.
- [9] Jakushenkov Yu. G., Lukancev V. N., Kolosov M. L.: Metody borby s pomehami optiko-elektronnyh priborah, (1981), Radio i svjaz, Moskva.
- [10] Lazarev L. P.: Optiko-elektronnye pribori navedenija letatelnih apparatov, (1984), Mashinostroenie, Moskva.
- [11] Kriksunov L. Z. (ed): Spravotchnik po priboram infrakrasnoj tehniki, (1985), Tehnika, Kiev.
- [12] Kriksunov L. Z.: Spravotchnik po priboram infrakrasnoj tehniki, (1980), Tehnika, Kiev.
- [13] Wolfe W. L., Zissis G. J. (ed): The Infrared Handbook, (1978), Office of Naval Reseach, Department of Navy, Washington.