

VOJNOTEHNIČKI

G L A S N I

NOVINSKO-IZDAVACKA USTANOVA
„VOJSKA“

NACELNIK

Pukovnik
STANOJE JOVANOVIĆ

UREDIVACKI ODBOR

General-major
dr JUGOSLAV KODZOPELJIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)

General-major
dr SINISA BOROVIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika)

General-major
dr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.

General-major
MILISAV BRKIĆ, dipl. inž.

General-major
dr SLOBODAN BURSAC, dipl. inž.

Pukovnik
dr IVAN ĐOKIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr JOVAN TODOROVIĆ, dipl. inž.

Profesor
dr BORIVOJE LAZIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr NIKOLA VUJANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILUN KOKANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr MILAN SUNJEVARIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr DESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
dr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
MIROSLAV COJBASIĆ, dipl. inž.
(sekretar Odbora)

Pukovnik
MLADOMIR PETROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik
mr ILIJA ZAGORAC, dipl. inž.

Pukovnik
MILAN UZELAC, dipl. inž.

Potpukovnik
mr RADOMIR ĐUKIĆ, dipl. inž.

●
GLAVNI I ODGOVORNI
UREDNIK

Pukovnik
Miroslav Cojbašić, dipl. inž.
(tel. 646-277, 23-59-133 ili 33-133)

Urednik
Potpukovnik
Stevan Jošifović, dipl. inž.
(tel. 23-59-323 ili 33-323)

Sekretar redakcije
Zora Pavličević
(tel. 23-59-258 ili 33-258)

ADRESA REDAKCIJE: VOJNOTEHNIČKI
GLASNIK — BEOGRAD, Bircaninova 5,
Pretplata 645-020 i 22-584, žiro-račun: NIU
„VOJSKA“ (za Vojnotehnički glasnik)
40823-849-0-2393 Beograd, Polugodišnja
pretplata 25,00 dinara. Rukopisi se ne
vraćaju. Štampa: Vojna štamparija —
Beograd, Generala Zdanova 40 b.

STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJE

VOJNOTEHNIČKI
G L A S N I K

4

GODINA XLV ● JULI—AVGUST 1997.

S A D R Ź A J

Dr Vasilije Mišković, dipl. inž.	397	Uticaj visine zaliha na karakteristike funkcionisanja višeešelonskog nesimetričnog sistema zaliha
Sc Milisav Jakovljević, pukovnik, dipl. inž.	407	Uticaj dinamičkog ugiba cevi na polazni ugao kretanja projektila
Sc Momčilo Đorović, potpukovnik, dipl. inž.	416	Simulator tekućeg prijemnog signala radarskog senzora prepreka za niskoletuće platforme (I)
Ljubiša Marković, dipl. inž. Dr Predrag Petrović, dipl. inž.	427	Razvoj dizel motora niske emisije izduvnih gasova za primenu u mobilnim mašinama
Dr Radun Jeremić, potpukovnik, dipl. inž.	435	Primena gasne hromatografije za proučavanje adsorpcijskih karakteristika aktivnog uglja
Dr Vladimir Vujičić, pukovnik, dipl. inž.	449	Zaštita metala od atmosferske korozije
Zdravko Marjanović, potpukovnik, dipl. inž.	459	Novi tehnički propisi i standardi o gromobranskoj zaštiti
Mr Miroslav Savanović, potpukovnik, dipl. inž.	469	Bespilotne letelice
Dr Svetomir Minić, pukovnik, dipl. inž.	484	Višekriterijumska optimizacija — prikaz knjige —

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

489	Modernizacija sistema naoružanja tenka T-72 — M.K.
493	Raketni sistem protivvazdušne odbrane BUK-M1 — M.K.
499	Perspektive razvoja sistema avionskih protivtenkovskih sredstava — M.K.
501	Malokalibarski brodski topovi — V.R.
506	Sistem za daljinsko hemijsko izviđanje sa zemlje KDHR-1N — M.K.

Dr Vasilije Mišković,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

UTICAJ VISINE ZALIHA NA KARAKTERISTIKE FUNKCIONISANJA VIŠEEŠELONSKOG NESIMETRIČNOG SISTEMA ZALIHA

UDC: 519.863:623

Rezime:

U ovom radu se obrađuje problem funkcionisanja višeešelonskog sistema zaliha. U fazi projektovanja sistema ili pri manifestacijama lošeg funkcionisanja sistema veoma je teško prognozirati ili otkriti uzroke takvog funkcionisanja. Složenost sistema, veliki broj veza i međusobnih uticaja različitog intenziteta praktično onemogućavaju analizu funkcionisanja sistema na klasičan način. Zato se ovde, kao rešenju, pribegava modelovanju i simulaciji. Kao kriterijum ocene uspešnosti funkcionisanja sistema uzima se zadovoljenje potražnje. Rezultat takvog pristupa je izdvajanje režima u kome sistem ne bi smeo funkcionisati. Pristup rešavanju problema ilustrovan je primerom.

Ključne reči: zalihe, sistem, model, simulacija.

INFLUENCE OF INVENTORY QUANTITY ON THE FUNCTIONING CHARACTERISTICS OF A MULTIECHELON NONSYMMETRIC INVENTORY SYSTEM

Summary:

This article deals with the problem of multiechelon inventory system functioning. During the system design stage or the system malfunctioning there are many difficulties in predicting or detecting a problem in functioning. The classic analysis of the system functioning is impossible because of the large number of influences between system elements. The modeling and simulation methods are used for problem solving. The demand satisfaction is taken as a criterion for the system effectiveness estimation. This approach provides the recognition of the states which the system should not reach. An example of this approach has been also provided.

Key words: inventory, system, model, simulation.

Uvod

Rešavanje upravljanja zalihama u sistemima sa više nivoa predstavlja veoma složen problem, bilo da se radi o operativnom upravljanju u sistemu, projektovanju sistema ili korekcijama i poboljšanju sistema. Kako je veoma teško analitički obuhvatiti sve uticajne faktore koji deluju u sistemu i izvan njega, za rešavanje ove klase problema može se koristiti simulaci-

ja, odnosno simulacija u kombinaciji sa drugim metodama. Metoda simulacije pruža mogućnost rešavanja nekoliko klasa problema vezanih za upravljanje zalihama. Najčešća primena metode simulacije je za:

— analizu uticaja pojedinih parametara u sistemu;

— otkrivanje uzroka ponašanja sistema različitog u odnosu na očekivano;

— eliminaciju rešenja koja ne zadovoljavaju ograničenja još u fazi projektovanja;

— određivanje vrednosti kriterijumskih funkcija za ocenu funkcionisanja sistema;

— postoptimalnu analizu.

Postoji još čitav niz mogućnosti primene ove metode.

U ovom članku biće prikazane neke mogućnosti primena, odnosno mogućnost analize uticaja pojedinih parametara zaliha na neke karakteristike sistema. Konkretno, u radu je predstavljena analiza uticaja visine zaliha na koeficijent popunjenosti skladišta i srednje vreme čekanja na rezervni deo. U višeešelonskim sistemima pojavljuje se i problem podele zaliha po nivoima. Zato se ovde obrađuje problem uticaja različite visine zaliha po nivoima na navedene karakteristike sistema.

Karakteristike funkcionisanja sistema snabdevanja predstavljaju pokazatelje uspešnosti funkcionisanja. Poznavanje ovih karakteristika ima značaj i za potrošača i za upravne organe u sistemu. Za potrošača koji se pojavljuje u sistemu, radi zadovoljenja svojih potreba, značajno je da unapred zna šta ga očekuje, koja je verovatnoća da će rezervni deo dobiti odmah, ako mora čekati na rezervni deo, koliko je vreme čekanja, sa kojom verovatnoćom može očekivati da neće čekati duže od nekog, za njega relevantnog vremena, itd. Za upravne organe u sistemu poznavanje karakteristika funkcionisanja značajno je da mogu oceniti da li sistem funkcionise na zadovoljavajući način i u kojoj meri. Na osnovu toga mogu donositi odluke: da li treba u sistemu vršiti korekcije ili, u krajnjem, da li je neophodno projektovati i uspostaviti novi sistem snabdevanja.

Analiza navedenih karakteristika sistema je veoma kompleksna. Potreb-

no je analizirati različite uticaje visina zaliha, po nivoima, i u okviru jednog nivoa, na karakteristike sistema. U radu je predstavljena analiza koeficijenta popunjenosti skladišta i srednjeg vremena čekanja samo jednog perifernog skladišta u zavisnosti od visine zaliha u tom skladištu i regionalnom skladištu na koje je ono oslonjeno.

Neke karakteristike funkcionisanja sistema

Ako se kao cilj postojanja i funkcionisanja sistema, koji ima svoju strukturu, procese i funkcionise na definisan način, postavi zadovoljenje potražnje koja se javlja, onda se kao osnovne karakteristike funkcionisanja sistema mogu uzeti: koeficijent popunjenosti skladišta, broj zahteva u redu čekanja, vreme čekanja u redu, troškovi u sistemu i reagovanje sistema na poremećaje.

Ovde će biti predstavljene samo one karakteristike funkcionisanja sistema koje se na bilo koji način analiziraju i pominju u radu.

Koeficijent popunjenosti skladišta predstavlja odnos broja tražnji koji se zadovoljava bez čekanja prema ukupnom broju tražnji. Ova karakteristika predstavlja verovatnoću zadovoljenja zahteva bez čekanja. Brojčana vrednost ove karakteristike funkcionisanja sistema izračunava se prema formuli:

$$k_p = \frac{b_r}{b_u} \quad (1)$$

gde je:

k_p — koeficijent popunjenosti skladišta,

b_r — broj tražnji koji je zadovoljen bez čekanja,

b_u — ukupan broj tražnji.

Broj zahteva u redu čekanja može se opisati srednjim brojem zahteva u redu čekanja i verovatnoćom da broj zahteva u redu ne bude veći od nekog za sistem ili potrošača relevantnog broja. Srednji broj zahteva u redu čekanja je odnos ukupnog broja tražnji koji u redu čekaju određeno vreme i ukupnog vremena čekanja. Ova karakteristika pokazuje, ako se čeka na rezervni deo, koliko tih zahteva čeka, odnosno koliki je očekivani broj sredstava koja su oslonjena na održavanje u datom sistemu, u otkazu istovremeno. Takođe, pokazuje verovatnoću da istovremeno broj sredstava u otkazu ne bude veći od nekog, unapred zadatog broja. Srednji broj zahteva izračunava se prema formuli:

$$S_{dr} = \frac{\sum_{i=1}^m k_i}{T} \quad (2)$$

gde je:

T — ukupno vreme čekanja svih tražnji,

k_i — vreme čekanja u redu i -te tražnje,

m — broj tražnji koje su čekale u redu.

Vreme čekanja u redu može se opisati srednjim vremenom čekanja i verovatnoćom da zathev ne čeka duže od nekog relevantnog vremena. Srednje vreme čekanja predstavlja odnos ukupnog vremena čekanja i broja tražnji koje se nalaze u redu. Uvek je značajno unapred znati koliko vremena se može očekivati da će se sredstvo zadržati na održavanju ili od kog vremena se neće zadržavati duže na održavanju. U ukupnom vremenu održavanja sredstva, vreme čekanja na rezervne delove ili sklopove je veoma značajno. Srednje vreme čekanja na rezervni deo izračunava se prema formuli:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{n} \quad (3)$$

gde je:

W_i — vreme čekanja i -te tražnje,

n — ukupan broj tražnji koje su čekale u redu,

W — srednje vreme čekanja u redu.

Poznavanje uticaja visine zaliha pojedinih nivoa na karakteristike funkcionisanja sistema omogućava upravnim organima da, prema konkretnim uslovima, mogu donositi odluke i preduzimati upravljačke akcije, čime predupređuju negativno delovanje na karakteristike sistema. Radi toga je takav uticaj i takvu zavisnost neophodno poznavati.

Opis modela

Sistem se sastoji od jednog centralnog, J regionalnih skladišta i N perifernih skladišta u kojima se drže nepopravljivi delovi određenog tipa. Periferno skladište može biti oslonjeno na regionalno ili centralno skladište. Na svako regionalno skladište oslonjeno je P_j , a na centralno skladište C perifernih skladišta (slika 1). Centralno skladište oslanja se na neiscrpan izvor snabdevanja. Zahtevi neposrednih potrošača dolaze samo na periferna skladišta. Ne postoje horizontalne veze među skladištima, odnosno nema međusobnih isporuka između regionalnih skladišta, a takođe ni između perifernih.

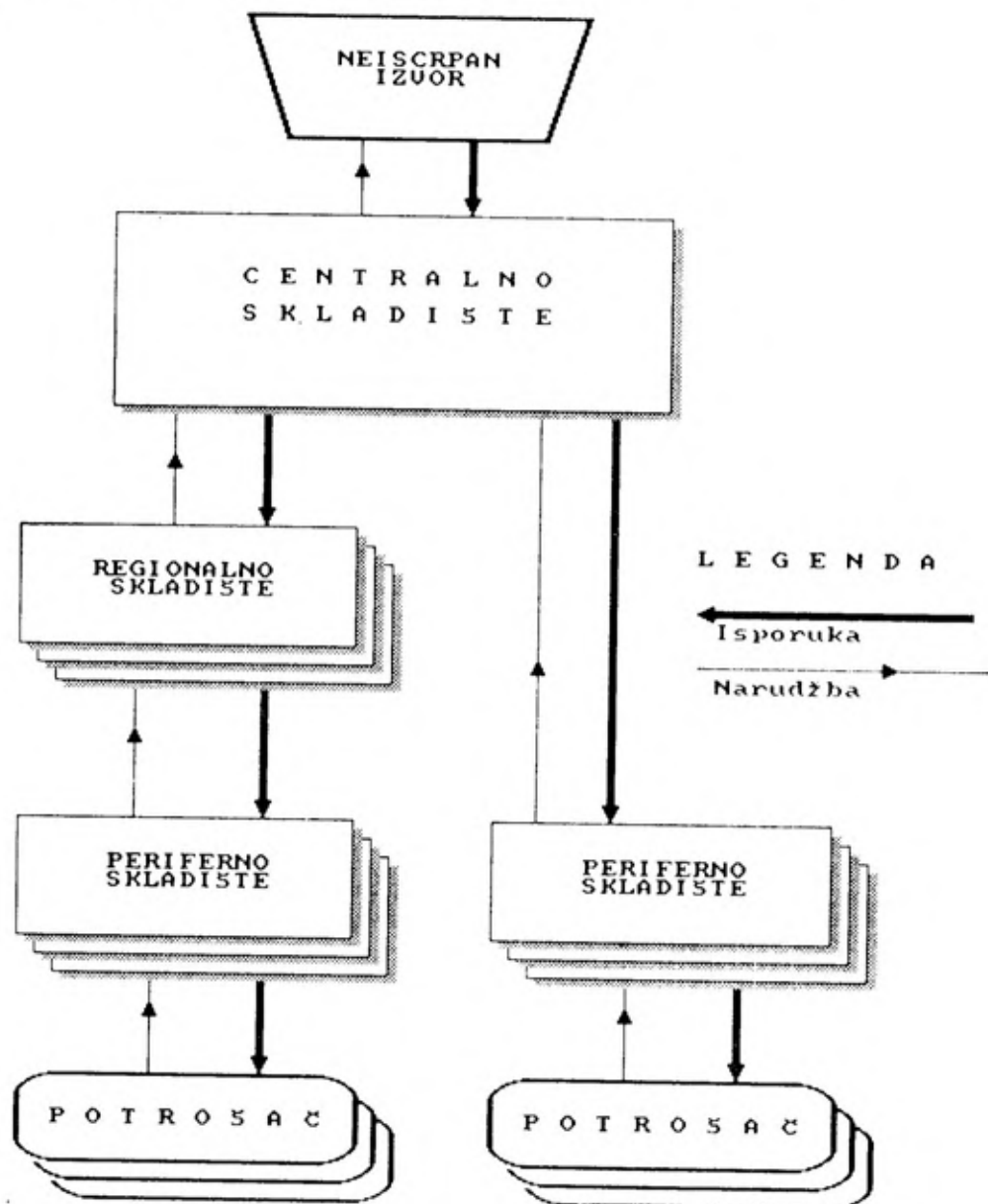
Sistem je projektovan da funkcioniše po sledećem modelu.

Zahtevi za delovima na perifernim skladištima predstavljaju složeni Poissonov proces, tj. vremena između dva dolaska zahteva su slučajne veličine raspodeljene po eksponencijalnom zakonu sa parametrima $\lambda_{i,j}$ (broj dolazaka zahteva u vremenskom periodu t je

slučajna veličina koja podleže Poasovoj raspodeli sa parametrom λt), a broj traženih delova po jednom zahtevu je slučajna veličina koja se pokorava geometrijskoj raspodeli.

Popuna perifernih skladišta, iz regionalnih ili centralnog skladišta, obav-

lja se za slučajno vreme t , normalno raspodeljeno sa parametrima (t_i, s_i) . Vreme popune, broj dolazaka zahteva i veličine zahteva mogu biti različiti za svako periferno skladište, odnosno navedene raspodele mogu imati različite parametre.



Sl. 1 — Model

Periferna skladišta slede princip (R_j, Q_j) gde je R — tačka naručivanja, Q — veličina narudžbe, a j oznaka za periferno skladište. Dakle, čim nivo zaliha padne na R ili ispod R , naručuje se Q delova. Periferno skladište upućuje svoju narudžbu regionalnom ili centralnom skladištu, u zavisnosti od toga na koje je skladište oslonjeno. Isti princip slede i periferna skladišta oslonjena na centralno skladište i periferna skladišta oslonjena na regionalna skladišta.

Dobijene zahteve periferno skladište realizuje odmah, ako je visina zaliha jednaka ili veća od veličine zahteva. U slučaju da je nivo zaliha u perifernom skladištu na nuli, vrši se evidencija pristigle narudžbe i ono se stavlja u red. Periferna skladišta obavljaju delimičnu isporuku, tako da se neisporučeni deo narudžbe stavlja u red. Red se prazni po principu »prvi došao — prvi opslužen«.

Regionalna skladišta slede (S, T) princip popunjavanja i to na sledeći način: u vremenskim trenucima $T_1, 2T_1, 3T_1, \dots$ obavlja se kontrola stanja na skladištu i naručuje $S_i - X_0(T_i)$ (S_i je veličina nominalnih zaliha, a $X_0(T_i)$ stanje u skladištu u trenutku kontrole T_i). Narudžba se ispunjava za slučajno vreme t , normalno raspodeljeno sa parametrima (t_i, s_i). Ako se zalihe u regionalnom skladištu svedu na nulu, a ne postoji već postavljena narudžba, naručuje se S_i delova pre nego što dođe trenutak kontrole ($T_i, 2T_i, 3T_i, \dots$). U slučaju kada je nivo zaliha na nuli, u trenutku kontrole veličina narudžbe odgovara sumarnoj veličini reda uvećanoj za veličinu S_i i umanjenoj za veličinu već ispostavljenih, a nerealizovanih narudžbi. Narudžbe regionalnih skladišta realizuju se u zavisnosti od stanja zaliha u centralnom skladištu. Kada zalihe u centralnom skladištu postoje narudžba se realizuje za slučajnu veličinu vremena koja se pokorava normalnoj raspodeli.

U vremenskim intervalima kada nema zaliha u regionalnom skladištu obavlja se evidencija pristiglih zahteva (formira se red čekanja). Veličina reda je beskonačna, a opsluživanje se obavlja po principu »prvi došao — prvi opslužen«. U skladištima se realizuje i delimična isporuka, tako da se neisporučeni deo narudžbe stavlja u red za čekanje.

U centralnom skladištu koristi se (S, T) politika popunjavanja, i to na sledeći način: u vremenskim trenucima $T, 2T, 3T, \dots$ obavlja se kontrola stanja na skladištu i naručuje $S - X_0(T)$ (S je veličina nominalnih zaliha, a $X_0(T)$ stanje u skladištu u trenutku kontrole T). Narudžba se ispunjava za slučajno vreme t , normalno raspodeljeno sa parametrima (t, s), različito za svako regionalno skladište i periferna skladišta oslonjena direktno na centralno skladište. Slično tome, ako se zalihe u centralnom skladištu svedu na nulu, a ne postoji već postavljena narudžba, naručuje se S delova pre nego što dođe trenutak kontrole ($T, 2T, 3T, \dots$). U slučaju kada je nivo zaliha na nuli, u trenutku kontrole veličina narudžbe odgovara sumarnoj veličini reda uvećanoj za veličinu S i umanjenoj za veličinu već ispostavljenih, a nerealizovanih narudžbi. Svaka narudžba centralnog skladišta prema neiscrpnom izvoru realizuje se u potpunosti.

U vremenskim intervalima kada nema zaliha u centralnom skladištu formira se red čekanja. Veličina reda je beskonačna, a opsluživanje se obavlja po principu »prvi došao — prvi opslužen«. U centralnom skladištu realizuje se i delimična isporuka, tako da se neisporučeni deo narudžbe stavlja u red za čekanje.

Cilj postojanja i funkcionisanja sistema po opisanom modelu je zadovoljenje potražnje koja se javlja na perifernim skladištima.

Analiza rezultata simulacije

Za potrebe prikaza analize rezultata simulacije provedena je simulacija na modelu, uz variranje minimalnog broja parametara. Model na kome je vršena simulacija je sledeći:

- broj regionalnih skladišta je 2,
- broj perifernih skladišta oslonjenih na regionalna je 4, za svako regionalno skladište,
- broj perifernih skladišta oslonjenih direktno na centralno skladište je 3.

Varirani parametri u toku simulacije su nivo naručivanja i veličina narudžbe na prvom perifernom skladištu oslonjenom na prvo regionalno skladište i nivo zaliha u prvom regionalnom skladištu.

Za nivo zaliha u regionalnom skladištu uzete su sledeće varijante: veoma nizak nivo zaliha, nizak nivo zaliha, srednji nivo zaliha, visok nivo zaliha i veoma visok nivo zaliha.

U perifernom skladištu razmatraju se sledeće varijante:

- tačka naručivanja $R_{1,1}=0, 1, 2, 3, 4$;
- veličina narudžbe $Q_{1,1}=3, 4, 5, 6, 7$.

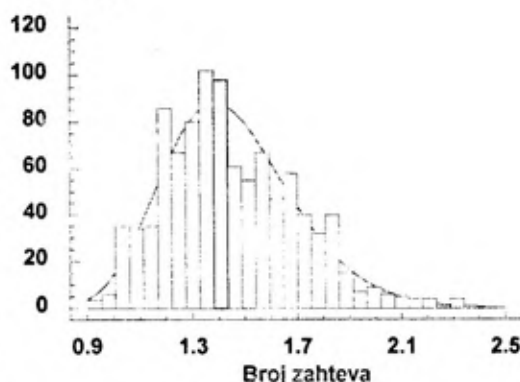
Vrednosti ostalih parametara nisu menjane.

Simulacija je obavljena za period od 3650 dana, a rezultati prvih 365 dana pri analizi nisu uzimani u obzir.

Svaki eksperiment predstavlja jednu varijantu, a za svaku varijantu provedeno je po 100 ponavljanja. Na taj način za svaku varijantu mogu se dobiti raspodele verovatnoća kojima se pokoravaju karakteristike funkcionisanja sistema. Ilustracije radi, za samo jednu varijantu pokazane su funkcije gustine raspodele verovatnoća na slikama 2 i 3. Na slici 2 prikazana je fun-

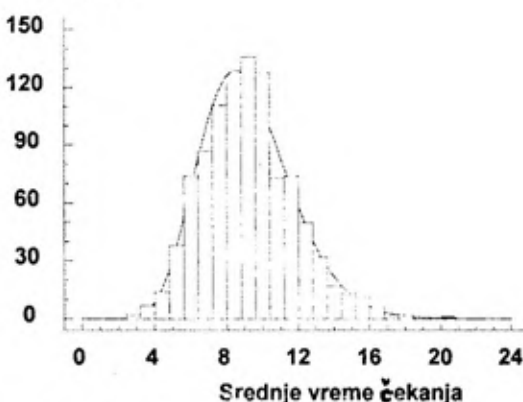
kcija gustine raspodele verovatnoća broja zahteva u redu čekanja na perifernom skladištu. Ova slučajna veliči-

frekvencija



Sl. 2 — Funkcija gustine raspodele verovatnoća broja klijenata u redu čekanja

frekvencija



Sl. 3 — Funkcija gustine raspodele verovatnoća vremena čekanja

na, broj zahteva u redu čekanja, pokorava se Erlangovoj raspodeli verovatnoća.

Na slici 3 prikazana je funkcija gustine raspodele verovatnoća vremena čekanja na rezervni deo. Ova slučajna veličina pokorava se Vejbulovoj raspodeli verovatnoća.

Rezultati simulacije, odnosno vrednosti karakteristika funkcionisanja sistema koji se analiziraju, prikazani su u tabelama 1—6. U tabelama 1—3 date su srednje vrednosti koeficijenta popunjenosti skladišta, a u tabelama 4—6 date su vrednosti srednjeg vremena čekanja za sve postavljene varijante. Za svaku varijantu dobijene su raspodele verovatnoća karakteristika funkcionisanja sistema, ali ovde su prikazane samo srednje vrednosti ovih karakteristika. U tabelama su naglašene najbolje vrednosti karakteristika funkcionisanja sistema prema veličini

veliĉine narudĉbe u perifernom skladištu. Za vrednosti jednake i veće od veliĉine narudĉbe 5 i taĉke naruĉivanja 4, obe karakteristike funkcionisanja sistema se stabilizuju, itd. Zbog toga su dati samo neki od zakljuĉaka koji su izvedeni iz provedene analize:

— za sve sluĉajeve kada je nivo naruĉivanja u perifernom skladištu veći od veliĉine narudĉbe, dolazi do naglog skoka srednjeg vremena čekanja u redu i naglog pada koeficijenta popunjenosti skladišta. Uzrok ove pojave je da nakon dovoljno dugog vremena fun-

Tabela 1

Koeficijent popunjenosti skladišta pri veoma niskom i niskom nivou zaliha u regionalnom skladištu

Veliĉina narudĉbe	NIVO ZALIHA U REGIONALNOM SKLADIŠTU											
	Veoma nizak						Nizak					
	Taĉka naruĉivanja R						Taĉka naruĉivanja R					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
3	0.62	0.77	0.86	0.74	0.64	0.55	0.68	0.82	0.90	0.77	0.73	0.58
4	0.70	0.80	0.86	0.90	0.86	0.81	0.74	0.87	0.93	0.96	0.88	0.87
5	0.76	0.85	0.88	0.92	0.88	0.84	0.79	0.89	0.94	0.92	0.93	0.92
6	0.76	0.82	0.87	0.90	0.91	0.92	0.81	0.89	0.94	0.97	0.97	0.97
7	0.80	0.86	0.85	0.93	0.94	0.86	0.84	0.91	0.95	0.97	0.99	0.97
8	0.77	0.85	0.90	0.95	0.92	0.87	0.88	0.92	0.96	0.97	0.99	0.99

narudĉbe, a uokvirene su najbolje vrednosti istih karakteristika, ali prema taĉki naruĉivanja.

Prikaz kompletne analize po svim varijantama i njihovom odnosu zahtevao bi veoma mnogo prostora. Na primer, pri srednjem nivou zaliha u centralnom skladištu obe karakteristike pokazuju izrazitu, skoro funkcionalnu zavisnost izmeĉu taĉke naruĉivanja i

kcionisanja sistema sa ovakvim odnosom parametara, periferno skladište prestaje da sledi princip (R, Q) i nastavlja da sledi princip (S, S), gde se praktiĉno vrednost S izjednaĉava sa R. To znaĉi da u perifernom skladištu nominalni nivo zaliha nije više R+Q, nego R. Zakljuĉak je da podruĉje ovakvog odnosa ova dva parametra treba izbegavati pri odreĉivanju njihovih vrednosti;

Tabela 2

Koeficijent popunjenosti skladišta pri srednjem i visokom nivou zaliha u regionalnom skladištu

Veličina narudžbe	NIVO ZALIHA U REGIONALNOM SKLADIŠTU											
	Srednji						Visok					
	Tačka naručivanja R						Tačka naručivanja R					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
3	0.67	0.83	0.92	0.83	0.70	0.62	0.72	0.85	0.93	0.83	0.72	0.59
4	0.76	0.87	0.93	0.96	0.90	0.88	0.78	0.89	0.95	0.97	0.94	0.86
5	0.81	0.90	0.95	0.97	0.99	0.89	0.81	0.91	0.97	0.98	0.97	0.95
6	0.84	0.93	0.96	0.97	0.99	0.99	0.84	0.93	0.97	0.98	0.99	0.99
7	0.86	0.93	0.96	0.98	0.99	0.99	0.86	0.94	0.96	0.98	0.99	0.99
8	0.88	0.94	0.96	0.98	0.99	0.99	0.89	0.95	0.97	0.99	0.99	0.99

Tabela 3

Koeficijent popunjenosti skladišta pri veoma visokom nivou zaliha u regionalnom skladištu

Veličina narudžbe	NIVO ZALIHA U REGIONALNOM SKLADIŠTU					
	Veoma visok					
	Tačka naručivanja R					
	0	1	2	3	4	5
3	0.72	0.87	0.93	0.84	0.78	0.59
4	0.79	0.91	0.95	0.97	0.93	0.89
5	0.83	0.91	0.95	0.98	0.98	0.86
6	0.85	0.93	0.97	0.98	0.99	0.99
7	0.87	0.94	0.97	0.99	0.99	0.99
8	0.90	0.94	0.97	0.99	0.99	0.99

— u slučaju kada veličina narudžbe perifernog skladišta ima niske vrednosti i kada je konstantan koeficijent popunjenosti skladišta i ne zavisi od nominalnog nivoa zaliha u regionalnom skladištu, ali je zato izrazita zavisnost od tačke naručivanja. Međutim, pri visokim vrednostima veličine narudžbe koeficijent popunjenosti izrazito zavisi od nominalnog nivoa zaliha u regionalnom skladištu.

Za celokupnu analizu sistema i određivanje parametara sistema po ograničenjima i kriterijumima potrebno bi bilo provesti izuzetno veliki broj eksperimenata. Zato se preporučuje određivanje optimalnih vrednosti parametara za svako skladište nezavisno, po klasičnim metodama upravljanja zalihama, a nakon toga ispitivanje okoline takvih rešenja pri uvezivanju sistema u celinu.

Tabela 4

Srednje vreme čekanja pri veoma niskom i niskom nivou zaliha u regionalnom skladištu

Veličina narudžbe	NIVO ZALIHA U REGIONALNOM SKLADIŠTU											
	Veoma nizak						Nizak					
	Tačka naručivanja R						Tačka naručivanja R					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
3	15.2	14.5	17.4	22.1	24.9	23.3	11.8	10.9	11.0	19.9	21.0	22.9
4	13.5	14.6	15.6	16.2	20.4	26.3	9.9	9.4	8.4	6.4	20.9	21.3
5	13.0	14.0	11.1	10.4	14.2	16.3	9.4	8.6	8.8	7.4	6.0	11.3
6	12.1	11.4	12.6	11.9	8.6	7.5	10.3	8.0	8.0	4.8	3.5	3.2
7	12.5	12.2	9.1	8.5	5.6	6.9	10.2	9.7	7.7	8.6	4.8	2.0
8	14.1	11.8	7.2	12.3	6.9	2.0	8.2	7.9	8.1	6.7	2.5	0.6

Tabela 5

Srednje vreme čekanja pri srednjem i visokom nivou zaliha u regionalnom skladištu

Veličina narudžbe	NIVO ZALIHA U REGIONALNOM SKLADIŠTU											
	Srednji						Visok					
	Tačka naručivanja R						Tačka naručivanja R					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
3	9.7	9.5	8.2	17.8	31.7	21.6	8.1	8.5	8.2	19.7	18.1	19.7
4	9.6	9.4	9.4	7.0	16.3	20.9	7.6	7.9	9.0	6.9	15.5	21.6
5	8.9	8.0	7.7	5.9	3.8	11.7	8.2	7.2	5.3	4.9	6.2	1.3
6	7.6	7.2	7.4	6.3	4.3	2.8	7.2	6.8	5.7	4.3	1.6	1.6
7	8.5	7.3	6.8	4.3	4.3	2.5	6.9	6.5	7.2	2.6	3.2	1.8
8	9.3	8.5	6.8	3.9	3.2	1.8	6.5	6.4	5.7	3.8	2.5	0.9

Srednje vreme čekanja pri veoma visokom nivou zaliha u regionalnom skladištu

Veličina narudžbe	NIVO ZALIHA U REGIONALNOM SKLADIŠTU					
	Veoma visok					
	Tačka naručivanja R					
	0	1	2	3	4	5
3	7.9	7.5	6.2	15.8	18.5	20.4
4	7.9	6.9	6.3	7.1	15.2	18.2
5	7.3	6.4	6.6	4.2	1.8	7.8
6	7.0	6.1	4.9	3.5	2.2	0.9
7	6.2	6.6	4.1	3.4	1.6	0.9
8	6.0	5.9	4.3	2.4	1.0	1.0

Zaključak

Primena metode simulacije predstavlja nužnost u klasi problema koji se ne mogu opisati analitički bez velikih pojednostavljenja. Tamo gde je potrebno sagledati dinamiku odvijanja procesa u sistemu ili gde postoji mogućnost da za određeni ulaz, sistem u toku funkcionisanja prevede sebe iz jednog modela funkcionisanja u drugi, takođe je neophodno koristiti metodu simulacije. Simulacijom se dobijaju sirovi podaci koje je neophodno, korišćenjem drugih metoda obraditi, radi određivanja karakteristika funkcionisanja sistema na optimalan način, uz data ograničenja. Može se reći da simulacija svoju pravu vrednost pokazuje tek u kombinaciji sa drugim metodama.

Ovako složene i kompleksne analize ima smisla raditi u slučajevima kada se radi o velikim promenama u sistemu, veoma skupim rezervnim delovima ili sklopovima ili nekom drugom materijalu, kada se radi o velikom broju rezervnih delova ili sklopova ili o veoma značajnim sredstvima na koje se ti rezervni delovi ili sklopovi ugrađuju. Presudnu ulogu u izboru varijante i preduzimanju upravljačkih akcija, osim u nekim specijalnim slučajevima, ipak imaju troškovi. Kompromis između troškova i ostalih karakteristika funkcionisanja sistema svodi se na držanje ostalih karakteristika u dozvoljenim granicama, kako ne bi došlo do, dugoročno posmatrano, značajnijeg narušavanja sistema ili negativnih posledica.

Ilustracije radi, prikazan je jedan deo analize i zaključaka iz analize na primeru samo dve karakteristike funkcionisanja sistema. Prema željenim vrednostima karakteristika funkcionisanja sistema bira se varijanta nivoa zaliha.

U ovom članku prikazane su samo neke od mogućnosti korišćenja rezultata dobijenih simulacijom. Za sisteme sa više nivoa, u kojima vladaju ne-poissonovski procesi, nameće se primena simulacije. Ovakvi sistemi su veoma komplikovani, jer teško je uočiti sve međusobne uticaje, pa je posle svake odluke o većim promenama u sistemu neophodno proveriti šta ona donosi.

Literatura:

- [1] Saković, V. A.: Modeli upravljenja zapasami, Nauka i tehnika, Minsk, 1986.
- [2] Vukadinović, S., Popović J.: Metoda Monte-karlo, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1985.
- [3] Zeigler, B. P.: Theory of modeling and simulation, J. Wiley, New York, 1986.

- [4] Grupa autora: Tehnologija sistemnog modeliranja, Mašinstvo — Moskva, Tehnik — Berlin, 1988.
- [5] Mišković, V.: Određivanje karakteristika funkcionisanja višeešelonskog nesimetričnog sistema zaliha, SYMOPIS '94, Zbornik radova, str. 610—613

UTICAJ DINAMIČKOG UGIBA CEVI NA POLAZNI UGAO KRETANJA PROJEKTILA

UDC: 623.535

Rezime:

U radu se analizira uticaj procesa opaljenja na cev artiljerijskog oruđa. Cev je posmatrana kao elastično telo koje je podvrgnuto delovanju impulsnog opterećenja. Dat je izraz za određivanje ugla nagiba cevi u vertikalnoj ravni. Na primeru jednog artiljerijskog oruđa analizirana je promena ugla nagiba sa promenom opterećenja po apsolutnoj vrednosti i po mestu delovanja. Dobijene vrednosti ugla nagiba upoređivane su sa vrednostima ugla nagiba koje su dobijene korišćenjem poluempirijskog izraza.

Ključne reči: dinamički ugib, ugao nagiba, cev artiljerijskog oruđa, polazni ugao.

EFFECTS OF THE INITIAL DYNAMIC TUBE BENDIG ON THE STARTING ANGLE OF THE MISSILE MOVEMENT

Summary:

The Conduct of an artillery tube during the firing process is analyzed. The tube is considered as an elastic tube under pulse loading. The expression for the determination of the deflection angle in vertical plane is presented. The change of deflection angle with changeable loading is analyzed including both the absolutely value and the position activity. The obtained results and the results with semi experience expression are compared.

Key words: dynamic bending, deflection angle, artillery tube, starting angle.

Uvod

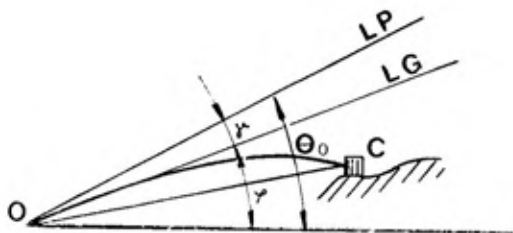
U toku procesa opaljenja artiljerijskog oruđa projektil pri kretanju kroz cev, pod dejstvom sile pritiska barutnih gasova, urezivanjem vodećeg prstena u žlebove cevi izaziva u njoj određeno naponsko stanje i višestruko oscilatorno kretanje, koje povratno deluje na projektil. Posebno je interesantan trenutak kada projektil napušta usta cevi. To je takozvano područje »međubalistike« i u njemu nastaje odskočni ugao projektila.

Odskočni ugao čini vektor početne brzine projektila i početni položaj tangente na trenutnu osu unutrašnjosti cevi u trenutku kada projektil napušta cev. Njegova projekcija na vertikalnu ravan je vertikalni odskočni ugao, a projekcija na horizontalnu ravan je horizontalni odskočni ugao.

U artiljerijskoj praksi se pod vertikalnom komponentom odskočnog ugla podrazumeva ugao koji obrazuje

linija gađanja (LG) i linija polaza projektila (LP) u vertikalnoj ravni, (sl. 1).

Stvarni vertikalni odskočni ugao γ sastoji se od geometrijskog zbira



Sl. 1 — Uglovi gađanja

projekcija na vertikalnu ravan šest prostornih uglova [1] i [2], (sl. 2).

$$\gamma = \Theta - \varphi = \pm \gamma_p - \gamma_q + \gamma_\varphi - \gamma_d + \gamma_\omega \pm \gamma_T$$

gde su:

Θ — polazni ugao,

φ — ugao elevacije cevi,

γ_p — ugao na ustima cevi usled proizvodne zakrivljenosti unutrašnjosti cevi,

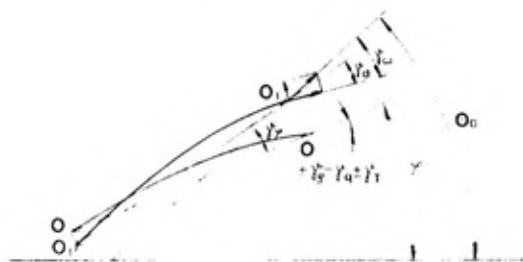
γ_q — ugao usled statičkog ugiba cevi zbog sopstvene mase,

γ_φ — ugao usled zakretanja cevi (apsolutni) u odnosu na ramena kolevke,

γ_d — ugao usled dinamičkog ugiba cevi kao elastičnog tela u trenutku kada projektil napušta usta cevi,

γ_ω — ugao između vektora trenutne aksijalne brzine projektila na ustima cevi i rezultujućeg vektora (aksijalne i radijalne komponente) projektila u momentu napuštanja cevi,

γ_T — ugao koji nastaje usled savijanja cevi zbog neravnomernog zagrevanja i različite debljine zida cevi.



Sl. 2 — Elementi odskočnog ugla

Komponente odskočnog ugla γ_p i γ_q , zavise od dimenzija i mase cevi, elastičnih svojstava materijala i mogućih grešaka u fazi izrade cevi i za određenu cev one su konstantne veličine.

Komponente γ_φ , γ_d i γ_ω nastaju kao posledica dinamičkog delovanja spoljnih sila na cev i nagibni (oscilujući) sklop oruđa za vreme opaljenja. Zavise od konstrukcije cevi i nagibnog sklopa, kao i od opaljenja u cevi oruđa.

S obzirom na to da se u dosadašnjoj praksi nije dovoljno istražio i odredio uticaj navedenih komponenti u kvantitativnom smislu na ukupnu veličinu odskočnog ugla, u ovom radu obrađen je uticaj dinamičkog ugiba cevi na ugao γ_d . (Uticaj statičkog ugiba na ugao γ_q obrađen je u [3]).

U praksi, prema [1] i [2], za određivanje vrednosti komponente odskočnog ugla γ_d koriste se poluempirijske formule:

$$\gamma_d = \frac{B_n}{EIB_k} (P_{kne} + R_u d) l_m \quad (1)$$

ili

$$\gamma_d = \frac{B_n}{EIB_k} \left(P_{kne} + R_u d - \frac{mV_u^2}{\rho_0} l_c \right) l_m \quad (2)$$

gde su:

B_n — ekvatorijalni moment inercije dela cevi ispred preseka koji odgovara najvećem pritisku barutnih gasova,

B_k — ekvatorijalni moment inercije oscilujućeg dela cevi,

I — moment inercije za poprečni presek cevi,

E — modul elastičnosti materijala cevi,

P_{km} — najveća vrednost sile pritiska barutnih gasova u cevi,

e — krak dinamičkog sprega sila P_{km} i R_u ,

R_u — sila otpora trzanju u trenutku izlaska projektila iz usta cevi,

d — krak dejstva sile R_u ,

l_m — rastojanje, mereno po osi cevi, od oslonca cevi do preseka koji odgovara najvećem pritisku barutnih gasova u cevi,

m — masa projektila,

V_u — brzina projektila u trenutku izlaska iz cevi,

ρ_o — radijus zakrivljenosti ose unutrašnjosti cevi,

l_c — rastojanje, mereno po osi cevi, od usta do oslonca cevi.

Cilj ovog rada je da se, umesto poluempirijskih izraza dobiju, na osnovu

teorije oscilacija i odgovarajućih matematičkih metoda, analitički izrazi za određivanje ugla nagiba cevi γ_d .

Analitička metoda za određivanje ugla nagiba usled dinamičkog opterećenja

Dinamički ugib cevi, usled kojeg se javlja komponenta odskočnog ugla γ_d , nastaje dejstvom spoljnih sila:

— rezultanta sile pritiska barutnih gasova na dno cevi P_{kn} koja deluje u osi unutrašnjosti cevi (sl. 3).

$$P_{kn}(t) = p(t)S;$$

— sila otpora trzanju R deluje u centru mase trzajućih delova

$$R(t) = P_{kn}(t) - F_i(t);$$

— centrifugalna sila projektila F

$$F(t) = \frac{mV^2(t)}{\rho_c};$$

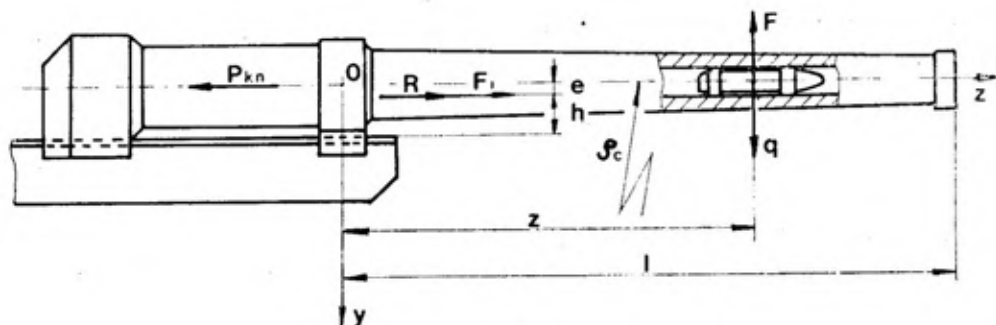
— sila težine projektila q ;

gde su:

$p(t)$ — pritisak barutnih gasova u cevi oruđa,

S — površina poprečnog preseka unutrašnjosti cevi,

$F_i(t)$ — sila inercije trzanja,



Sl. 3 — Sile koje deluju na cev oruđa

m — masa projektila,
 $V(t)$ — brzina projektila u cevi.

Pri određivanju ugla zakreta cevi polazi se od sledećih pretpostavki:

— radijus zakrivljenosti cevi je konstantan,

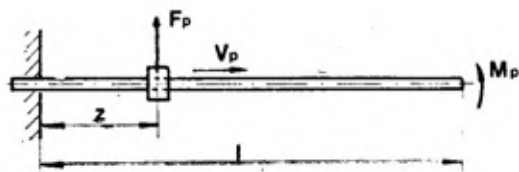
— kolevka, na koju se oslanja cev preko svojih klizača, kruto je telo,

— položaj centra masa trzajućih delova je na rastojanju od ose kanala cevi,

— koordinatni sistem yOz postavljen je na mestu prednjeg oslonca cevi na kolevku,

— uticaj mase barutnog punjenja i sile trenja između cevi i projektila zanemaruje se.

Uzimajući u obzir sile koje opterećuju cev i navedene pretpostavke, de-



Sl. 4 — Model cevi oruđa

finisan je model konzole sa opterećenjem od poprečne sile

$$F_p(t) = F(t) - q$$

koja se kreće brzinom $V_p(t)$ i momenta

$$M_p(t) = [P_{kn}(t) - R(t)]e$$

Za ovako definisan model diferencijalna jednačina prinudnih oscilacija bez otporne sile je:

$$\gamma'' + \omega^2 \gamma = \frac{\Sigma M(t)}{B_k} \quad (3)$$

gde su:

γ — ugao zakreta,

ω — broj sopstvenih poprečnih oscilacija,

$M(t)$ — trenutna vrednost ukupnog momenta.

$$M(t) = [P_{kn}(t) - R(t)]e + \left[\frac{mV^2(t)}{\rho_c} - mg \right] z \quad (4)$$

Ako se pretpostavi da je u vremenskom intervalu Δt ekvatorijalni moment inercije oscilujućeg dela cevi B_k konstantan, a momenat opterećenja linearno raspoređen, onda važi:

$$M(t) = M_{i-1} + \frac{M_i - M_{i-1}}{\Delta t_i} t = M_{i-1} + a_i t \quad (5)$$

gde je:

$$a_i = \frac{M_i - M_{i-1}}{\Delta t_i}$$

a_i — koeficijent pravca momenta.

U tom slučaju rešenje diferencijalne jednačine (3) prema [4] i [5] je:

$$\begin{aligned} \gamma_i = & \gamma_{i-1} \cos \omega \Delta t_i + \frac{\gamma'_{i-1}}{\omega} \sin \omega \Delta t_i + \\ & + \frac{M_{i-1}}{B_k \omega^2} (1 - \cos \omega \Delta t_i) + \\ & + \frac{a_i}{B_k \omega^3} (\omega \Delta t_i - \sin \omega \Delta t_i) \end{aligned} \quad (6)$$

gde su:

γ_{i-1} — početni ugao zakreta konzolnog dela cevi na posmatranom intervalu Δt_i ,

γ'_{i-1} — početna brzina zakreta konzolnog dela cevi u istom trenutku,

γ_i — ugao zakreta konzolnog dela cevi na kraju posmatranog intervala,

γ'_i — brzina zakreta na kraju posmatranog intervala.

$$\gamma'_i = \gamma'_{i-1} + \frac{\gamma_i - \gamma_{i-1}}{\Delta t_i}$$

Za određivanje ugla zakreta konzolnog dela cevi na prvom intervalu, tj. pri $t=0$, $\gamma'_0=0$. Prema tome, za prvi interval jednačina (6) pojednostavljuje se i dobija oblik:

$$\gamma_1 = \frac{M_0}{B_k \omega^2} (1 - \cos \omega \Delta t_1) + \frac{a_1}{B_k \omega^3} (\omega \Delta t_1 - \sin \omega \Delta t_1) \quad (7)$$

Po prestanku delovanja spoljnih sila, tj. od trenutka kada projektil napusti usta cevi nastupaju slobodne oscilacije, pa izraz za određivanje ugla oscilacija ima oblik:

$$\gamma = \gamma_u \cos \omega(t - t_u) + \frac{\gamma'_u}{\omega} \sin \omega(t - t_u) \quad (8)$$

gde su:

t_u — vreme od trenutka pokretanja do izlaska projektila iz cevi,

γ_u — ugao zakreta u vremenu t_u ,

γ'_u — ugao brzina zakreta u vremenu t_u .

Za određivanje ugla zakreta po izrazima (6, 7 i 8) potrebno je, osim ekvatorijalnog momenta inercije cevi B_k , odrediti broj sopstvenih poprečnih oscilacija cevi ω .

Određivanje broja sopstvenih poprečnih oscilacija cevi

Za određivanje perioda sopstvenih poprečnih oscilacija cevi polazi se od opšte jednačine za oscilatorno kretanje [1]

$$m_z \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(EI_z \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} \right) = F(t) \quad (9)$$

gde su:

$m_z = \rho S_z$ — masa cevi na jedinici dužine,

ρ — specifična gustina

S_z — površina poprečnog preseka cevi na mestu z ,

y — ugib cevi,

I_z — moment inercije poprečnog preseka na mestu z ,

$F(t)$ — sila koja se proizvoljno menja po vremenu.

Pri $F(t)=0$ jednačina (9) dobija oblik

$$m_z \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(EI_z \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (10)$$

Jednačina (10) verno opisuje slobodne poprečne oscilacije cevi, ali se teško rešava analitički. Poteškoće nastaju zbog toga što se promene mase i momenta inercije preseka cevi ne mogu verno analitički opisati.

Za cev konstantnog poprečnog preseka (po čitavoj dužini cevi) rešenje jednačine (10) može se napisati kao:

$$y = y_0(z) \cos(\omega t + \alpha) \quad (11)$$

gde su:

$y_0(z)$ — nova promenljiva koja zavisi od koordinate z ,

ω — kružna frekvencija,

α — početna faza oscilovanja.

Uvrštavajući jednačinu (11) u (10) dobija se:

$$\frac{\partial^2 y_0}{\partial z^2} = k^4 y_0 \quad (12)$$

gde je:

$$k^4 = \omega^2 \frac{\rho S}{EI} \quad (13)$$

Polazeći od opšteg integrala jednačine (12) čiji je oblik:

$$y_0 = A \sin kz + B \cos kz + C \operatorname{sh} kz + D \operatorname{ch} kz$$

ili

$$y = \cos(\omega t + \alpha) (A \sin kz + B \cos kz + C \operatorname{sh} kz + D \operatorname{ch} kz) \quad (14)$$

i njenih derivacija y' , y'' i y''' i koristeći granične uslove (za $z=0$, $y=y'=0$ i za $z=1$, $y''=y'''=0$) dolazi se do frekventne jednačine:

$$1 + \operatorname{ch} kl \cos kl = 0 \quad (15)$$

Koreni frekventne jednačine (15) određuju se grafičkim putem [4] i njihova vrednost je: $kl=1875$; 4694 ; 7855 , itd.

Uvrštavanjem vrednosti za k u jednačinu (15) dobija se izraz za određivanje frekvencije poprečnih oscilacija cevi:

$$\omega = \frac{3.516 C_z n}{l^2} \sqrt{\frac{I}{S}} \quad (16)$$

gde su:

$$C_z = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ — brzina prostiranja poprečnih oscilacija,}$$

n — broj korena frekventne jednačine.

Za cev artiljerijskog oruđa kod koje je spoljašnji radijus R_0 , a unutrašnji radijus r , izraz za određivanje frekvencije poprečnih oscilacija je:

$$\omega = 0,28 \frac{2\pi C_z n}{l^2} \sqrt{R_0^2 + r^2} \quad (17)$$

Ako se konzolni deo cevi posmatra kao zarubljena kupa sa cilindričnim otvorom, (sl. 5), sa zakonom promene:

$$R_z = \frac{R_0}{1+z_0} (z_0 + z) \quad (18)$$



Sl. 5 — Cev u obliku zarubljene kupe

gde je:

$$z_0 = \frac{R_u}{R_0 - R_u} l$$

tada se jednačina (10) može rešiti primenom sinusne formule za oscilacije

$$y = u_z \sin \omega t \quad (19)$$

pa je

$$\frac{\partial^2 y}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \sin \omega t \quad (20)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\omega^2 u_z \sin \omega t \quad (21)$$

Uvrštavanjem izraza (20) i (21) u (10) dobija se:

$$\omega^2 \rho S_z \frac{u_z}{E} = \frac{d^2}{dz^2} \left(I_z \frac{d^2}{dz^2} u_z \right) \quad (22)$$

Odnosno, ako se uvrste izrazi za poprečni presek cevi S_z i moment inercije I_z jednačina (22) dobija oblik:

$$4\omega^2 \rho (R_z^2 - r^2) \frac{u_z}{E} = \frac{d^2}{dz^2} \left(R_z^4 \frac{d^2}{dz^2} u_z \right) \quad (23)$$

Da bi se rešila jednačina (23) uvodi se nova promenljiva

$$x = \frac{2\omega}{C_z} \sqrt{R_z^2 - r^2} \quad (24)$$

Sa novom promenljivom jednačina (23) dobija oblik

$$x^2 u_x = \frac{d^2}{dx^2} \left(x^4 \frac{d^2 u_x}{dx^2} \right)$$

ili

$$u_x = \frac{1}{x^2} \frac{d}{dx} \left\{ x^3 \frac{d}{dx} \left[\frac{1}{x^2} \frac{d}{dx} \left(x^3 \frac{du_x}{dx} \right) \right] \right\} \quad (25)$$

Jednačina (25) može se napisati na dva načina:

$$-u_x = \frac{1}{x^2} \frac{d}{dx} \left(x^3 \frac{du_x}{dx} \right) = 3 \frac{du_x}{dx} + x \frac{d^2 u_x}{dx^2} \quad (26)$$

ili

$$u_x = \frac{1}{x^2} \frac{d}{dx} \left(x^3 \frac{du_x}{dx} \right) = 3 \frac{du_x}{dx} + x \frac{d^2 u_x}{dx^2} \quad (27)$$

Jednačine (26) i (27) rešavaju se razvijanjem funkcije u_x u red, koristeći granične uslove (iste kao za promenljivu z). Dobijene vrednosti x iz jednačine (27) nerealne su i nemaju fizički smisao. Radi toga se određuju vrednosti za x u jednačini (26), tj. za slučaj kada je u_x odnosno $u_x < 0$. Dobijene vrednosti za x su najmanji koreni jednačina i omogućuju da se odredi frekvencija prvog i drugog tona poprečnih oscilacija cevi artiljerijskih oruđa.

Za vrednost korena $x_1 = 10,1766$ stvarna frekvencija prvog tona slobodnih poprečnih oscilacija cevi sa promenljivim poprečnim presekom je:

$$\omega_1 = (0,81 \sqrt{R_0^2 + r^2} - 0,5302 \sqrt{R_u + r^2}) \frac{2\pi C_z}{l^2} \quad (28)$$

Za određivanje drugog tona poprečnih oscilacija koristi se drugi najmanji koren jednačine (26), tj. $x_2 = 17,371$. Pa je izraz za određivanje frekvencije drugog tona slobodnih oscilacija cevi

$$\omega_2 = (1,3823 \sqrt{R_0^2 + r^2} + 0,3711 \sqrt{R_u + r^2}) \frac{2\pi C_z}{l^2} \quad (29)$$

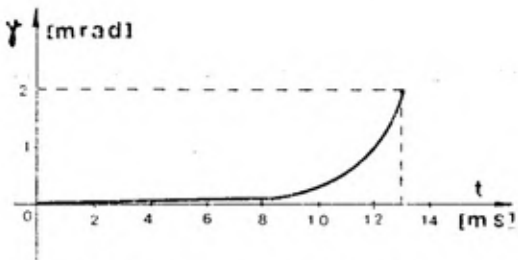
Primer proračuna

Za ilustraciju proračuna ugla nagiba usta cevi uzeto je artiljerijsko oruđe sa sledećim karakteristikama:

- masa projektila $m = 47,6$ kg;
- specifična gustina materijala cevi $\rho = 8 \times 10^3$ Ns²/m⁴;
- modul elastičnosti materijala cevi $E = 21,6 \times 10^{10}$ N/m²;
- kalibar cevi $d = 152$ mm;
- spoljni prečnik cevi na mestu prednjeg oslonca $D_0 = 280$ mm;
- spoljni prečnik na ustima cevi $D_u = 180$ mm;
- radijus krivine ose unutrašnjosti cevi $\rho_0 = 4 \times 10^3$ m;
- rastojanje centra masa trzajućih delova od ose unutrašnjosti cevi $e = 6$ mm;
- rastojanje od usta cevi do prednjeg oslonca $l_c = 5,96$ m.

Koristeći rezultate proračuna unutrašnje balističke i vrednosti sile R za isto artiljerijsko oruđe [6] i [7], kao i izraze (4; 5, 6, 7 i 28), izračunat je ugao nagiba za frekvenciju prvog tona slobodnih poprečnih oscilacija cevi, čije su vrednosti prikazane u tabeli 1 i dijagramu na sl. 6.

Vrednost ugla nagiba za usta cevi u vertikalnoj ravni kod istog artiljerijskog oruđa, uz korišćenje poluempirijskog izraza (2), iznosi $\gamma_d = 2,657 \times 10^{-3}$ rad.



Sl. 6 — Dijagram promene ugla i brzine zakreta

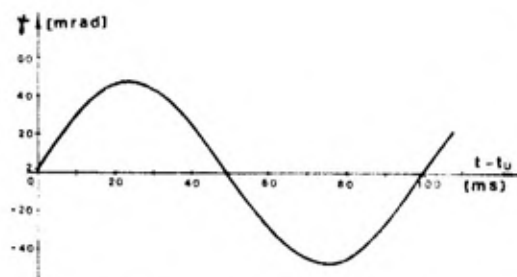
Analizom vrednosti ugla nagiba, prikazanih u T.1 i dijagramu sl. 6, uočava se da ugao nagiba usta cevi u toku procesa opaljenja raste u funkciji

razima (2) i (6), uočava se da su one približno iste.

S druge strane, ako se upoređi ugao nagiba cevi usled sopstvene mase

Tabela 1

i	t 10 ⁻³ (g)	Δt 10 ³ (g)	x=z (m)	V (m/s)	R 10 ³ (N)	P _{iz} 10 ³ (N)	M 10 ³ (Nm)	a 10 ³ (Nm/s)	γ 10 ⁻³ (rad)	γ' (rad/s)
0	0	0	0	0	56,8	574,7	3,11	0	0	0
1	3,5	3,5	0,15	130	59,7	4400	26,01	6,54	0,0045	0,0013
2	5,5	2	0,64	350	67,0	6620	40,27	7,13	0,0176	0,0078
3	6,5	1	1,08	480	97,0	6320	40,78	0,51	0,0280	0,0192
4	8,0	1,5	1,83	630	127,5	5268	41,51	0,49	0,0656	0,0436
5	8,7	0,7	2,29	700	147,0	4790	44,59	4,40	0,0979	0,0898
6	9,6	0,9	3,03	775	175,0	3484	47,33	3,04	0,1817	0,1829
7	10,6	1	3,76	825	198,0	2730	54,04	6,71	0,3685	0,3696
8	11,9	1,3	4,98	885	221,0	1958	69,98	12,26	0,8560	0,7447
9	12,5	0,6	5,48	904	231,5	1750	77,60	12,70	1,3044	1,4920
10	13,0	0,5	5,96	920	245,0	1580	85,30	15,40	2,0514	2,9859



Sl. 7 — Dijagram slobodnih oscilacija cevi

vremena i zavisi od položaja projektila u cevi oruđa. Promena ima eksponencijalni karakter do trenutka kada projektil napusti usta cevi.

Ako se uporede vrednosti ugla nagiba na ustima cevi, izračunate po iz-

$\gamma_q = 1,26 \times 10^{-3}$ rad, izračunat u [3], za navedenu cev sa uglom nagiba usled dinamičkog opterećenja $\gamma_d = 2,05 \cdot 10^{-3}$ rad, vidi se da je $|\gamma_d| \approx 1,63 |\gamma_q|$.

Dijagram promene ugla rotacije usta cevi u funkciji vremena ($t = t_0$) u toku slobodnog oscilovanja cevi prikazan je na sl. 7.

Zaključak

Prikazani model proračuna ugla rotacije cevi, usled delovanja dinamičkog opterećenja, omogućuje da se sa dovoljnom tačnošću odredi njegova veličina u bilo kom trenutku kretanja projektila kroz cev. To je prednost prikazanog modela u odnosu na proračun po izrazima (1) i (2), gde se ugao γ_d od-

ređuje samo za trenutak kada projektil napušta usta cevi.

Na veličinu i smer otklona cevi, a samim tim i na veličinu i smer ugla zakreta, presudan uticaj imaju veličine proizvodne i statičke zakrivljenosti cevi kao i položaj centra masa trzajućih delova, tj. veličina kraka dinamičkog sprega.

U konkretnom primeru ugao nagiba, usled dinamičkog delovanja opte-

rećenja, ima suprotan predznak od ugla nagiba koji nastaje zbog delovanja sopstvene mase cevi.

Za potpuno korektnu analizu uticaja procesa opaljenja na dinamički ugao zakreta cevi potrebno je uzeti u obzir i otpornu silu, tj. prigušenje koje nastaje kretanjem cevi duž kolevke i rotacijom cevi i kolevke oko ramena kolevke, što bi mogla da bude tema daljeg rada na ovom problemu.

Literatura:

- [1] Orlov, B. V. i dr.: *Ustrojstvo i projektovanje stvolov artiljerijskih orudij*, Moskva, 1976.
- [2] Ristić, Z.: *Uticaj statičkog i dinamičkog progiba cevi artiljerijskog oruđa na odskočni ugao*, VTG 3/89, Beograd, 1989.
- [3] Jakovljević, M.: *Statička zakrivljenost cevi artiljerijskog oruđa*, VTG, Beograd, 5/1996.
- [4] Rašković, D.: *Teorija oscilacija*, Beograd, 1968.
- [5] Landan L. D. i Lifšic, E. M.: *Teoretičeskaja fizika, mehanika*, Moskva, 1973.
- [6] Jakovljević, M.: *Projektovanje elemenata jednog artiljerijskog oruđa pomoću računara*, Specijalistički rad, CVVŠ KoV JNA, Zagreb, 1986.
- [7] Jakovljević, M.: *Projektovanje kolevke artiljerijskog oruđa pomoću računara*, VTG, Beograd, 6/1989.

Sc Momčilo Đorović,
potpukovnik, dipl. inž.
VP 4954, Danilovgrad

SIMULATOR TEKUĆEG PRIJEMNOG SIGNALA RADARSKOG SENZORA PREPREKA ZA NISKOLETEĆE PLATFORME (I)

UDC: 621.963.001.57

Rezime:

U radu je predložen matematički model simulatora tekućeg prijemnog signala radarskog senzora prepreka (RSP) za niskoleteće platforme (NLP). Odbirci tekućeg prijemnog signala nastaju sumiranjem anvelopa elementarnih signala — svih elementarnih doprinosa po rezolucionim ćelijama. Zbog kretanja NLP i skaniranja snopa zračenja antene, odbirci tekućeg prijemnog signala izračunavaju se za svaki impuls predajnog signala. Vreme se eksplicitno uzima u obzir računanjem trenutnog preseka DMT i snopa zračenja antene, odnosno selekciju vidljivih elementarnih površina.

Spektralna gustina i funkcija korelacije odbiraka tako nastalog slučajnog procesa $\xi_a(t)$ potpuno je određena 2D poljem specifične refleksne površine terena $\sigma_z(x,y)$. Elektrodinamički DMT, rađen za ovu namenu, ima sve relevantne parametre, koji su potrebni za opis ovog 2D polja.

Ključne reči: radarski senzor prepreka, niskoleteće platforme, matematički model, simulator prijemnog signala, odbirak tekućeg prijemnog signala, slučajni procesi.

COMPUTER SIMULATION MODEL OF OBSTACLE RADAR SENSORS FOR LOW-FLYING PLATFORMS

Summary:

A mathematical model of the simulation of current receiving signals from obstacle radar sensors for low-flying platforms is presented in this paper. Samples of a current receiving signal are formed by reflection/scattering of electromagnetic waves from all visual surfaces/scatters inside the resolutionary cells. Because of the low-flying platform moving and antenna scanning, the samples of the current receiving signal are determined for each impulse of the current transmitting signal. Time is explicitly taken into account through the selection of the visual elementary surfaces/scatters inside the resolutionary cells.

The spectral density and the correlation function of the sample formed in this random process $\xi_a(t)$ are completely determined by the 2D field radar scattering/cross section terrain $\sigma_z(x,y)$. The electrodynamic digital terrain model, developed for this purpose has all relevant parameters necessary for this 2D field description.

Key words: obstacle radar sensor, low-flying platform, mathematical model, computer simulator receiving signal, sample of current receiving signal, random process.

Uvod

Pojavom novih elektronskih komponentata i tehnika projektovanja ra-

darskih sistema (RS) na raspolaganju su sve veće mogućnosti u izboru parametara, a samim tim i potrebe za kompromisima se smanjuju. Međutim, po-

stavljanjem sve strožih operativnih zahteva, neminovno se nameće novi krug parametara i kompromisa.

Prvi korak ka približavanju optimalnoj konstrukciji RS za datu namenu je specificiranje njegovih realnih ciljnih performansi. Nakon tog koraka sledi sinteza RS, ili sinteza dva ili tri konkurentna rešenja — alternative, koje zadovoljavaju okvire zadatih: performansi, raspoloživih komponenata, finansijskih sredstava i raspoloživog vremena. Konačno, nakon što je RS projektovan, njegove se performanse analiziraju sa teorijskog stanovišta da bi se upravljalo njegovom uspešnom upotrebom, kao i da bi se odredili relevantni faktori eksperimentalne verifikacije.

Kao što nema propisanog »recepta« za projektovanje RS, tako nema ni jedinstvene metode kojom se mogu odrediti njegove optimalne karakteristike. Sinteza RS-a, koja započinje sa ciljevima misije, još uvek je više umetnost nego nauka, a raspoložive metode imaju za cilj samo da usmere one inženjere koji nisu razvili svoj vlastiti pristup projektovanju kroz praksu. Razlike u mišljenjima o relativnoj važnosti neopipljivih faktora, kao što su npr. pouzdanost i adaptivnost na različite uslove rada, često vode do sasvim različitih pristupa u projektovanju.

Najčešći od svih pristupa u sintezi RS je primena metode ekstrapolacije postojećih sistema. Ova metoda najviše zadovoljava, jer osigurava da RS, izabran za razvoj, bude jedan od onih koji zadovoljavajuće izvršava svoje sadašnje zadatke i obezbeđuje da se ti zadaci mnogo ne razlikuju od traženih u novoj specifikaciji. Većina »novih« zahteva zasnovana je na proširenju performansi postojećih sistema radi zadovoljenja nekih novih traženih zahteva.

U mnogim slučajevima primena ekstrapolacije je neplodotvorna jer je problem koji se rešava različit od onih koje rešavaju postojeći RS ili zato što

neka nova elektronska komponenta ili tehnika projektovanja omogućava novi pristup starom problemu. Direktna sinteza nove konstrukcije RS na osnovu zahtevanih performansi tada je najprikladnija. Ova metoda je zasnovana na tzv. sistemskom pristupu.

Razvoj matematičkih modela, koji opisuju fenomene iz oblasti radarske teorije, i brz razvoj računara opšte namene, presudno su uticali na to da su metode matematičkog modelovanja i simulacije na računaru postale dominantne u oblasti analize i sinteze radarskih sistema danas [1—7].

Pojam simulacije u ovom radu ima smisao zamene RS njegovim matematičkim modelom, koji dovoljno tačno i adekvatno opisuje fenomene koje on rešava, a koji se uz to može programirati na računaru. Osnova za razvoj računarskog programa koji simulira kompletan rad RS je njegova funkcija.

U dostupnoj literaturi iz ove oblasti [1—3], funkcionalna simulacija se realizuje na dosta grub način. Neinteraktivni program omogućava analizu uticaja niza parametara, ali se u radarskoj jednačini koriste unapred definisane funkcionalne zavisnosti izvedene statističkom analizom [2].

U novijim radovima [4—6], u zavisnosti od vrste problema koji se simulacijama istražuju, susreću se novi pristupi i modeli koji sve više odražavaju realno funkcionisanje sistema. Istovremeno, lepeza problema koji se na ovaj način istražuju je sve šira. Kreće se od statističkih karakteristika raspršenja elektromagnetskih talasa od površine terena [4], preko arhitekture i organizacije simulacionih modela RS [5], do specifičnih problema, kao što je primena interferencijske metode kod avionskog radara u modu ručnog izbegavanja prepreka [6].

Oblast iz koje se pokreću istraživanja — matematičko modelovanje RS i simulacija njihovog rada na računaru

dosta je razvijena. To se posebno odnosi na modele refleksije — raspršenja elektromagnetskih talasa od različitih vrsta terena, i analizu i sintezu RS.

Fenomenološka zasnovanost modela

U razvoju simulacionog modela radarskih senzora prepreka (RSP) za niskoleteće platforme (NLP) pošlo se od pretpostavke da se NLP kreće pravolinijski, jednolikom brzinom $V_1 = \text{const.}$, i na minimalnoj relativnoj visini $h_0 = \text{const.}$ iznad površine terena (slika 1, a). S obzirom na relativno malu brzinu i udaljenost RSP od osmatrane površine terena, refrakcija elektromagnetskih talasa se zanemaruje. Prostor se osmatra impulsnim signalom dužine τ_1 , s periodom ponavljanja f_1 , talasne dužine λ , koji su prostorno (radarskom antenom) usmereni u tzv. igličasti snop zračenja nagnutim pod uglom ϵ u odnosu na horizontalan pravac leta.

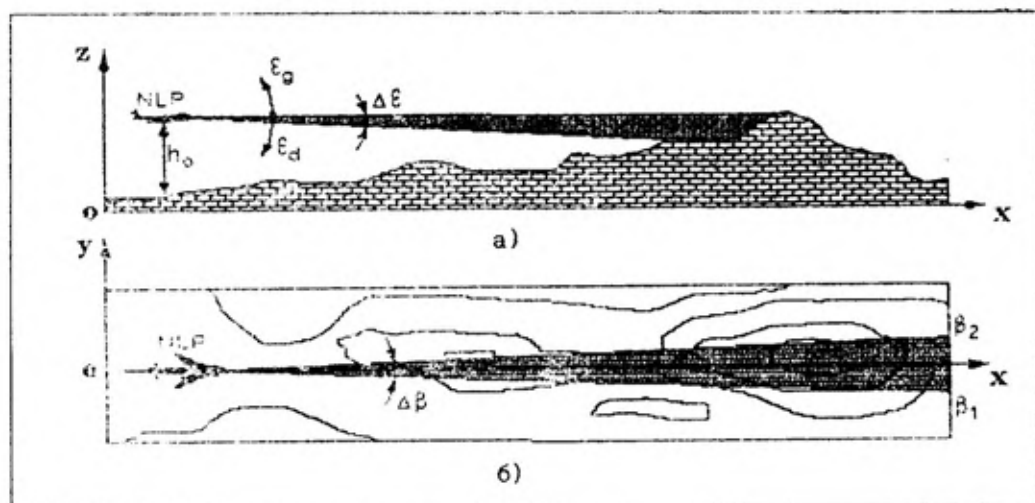
Antena RSP skanira po elevaciji u sektoru $[\epsilon_d, \epsilon_g]$ u odnosu na horizontalan pravac leta. Dimenzije snopa zračenja antene su $\Delta\beta = \Delta\epsilon$ po azimutu i elevaciji respektivno.

Kako je u digitalnom modelu terena (DMT), specijalno formiranog za ovu namenu [10], površina terena aproksimirana skupom diskretnih elementarnih površina, jasno je da rezolucionu ćeliju čini podskup nepokretnih, prostorno nekoherentnih, elementarnih površina među kojima nema dominantnih raspršivača. Drugim rečima, signali raspršeni od elementarnih površina su nezavisni, a parcijalni tekući signali raspršeni od pojedinih rezolucionih ćelija ne sadrže stabilne komponente uslovljene relativno jakim koherentnim signalima raspršenim od određenih elementarnih površina koje se na njoj nalaze.

Zanemarujuće efekte drugog i viših redova difrakcije talasa, odnosno pod pretpostavkom da predajni signal trpi samo jednu transformaciju na putu RSP — teren — RSP, tekući prijemni signal na ulazu u prijemnik predstavlja sumu:

$$\dot{u}_{pr}(t) = \dot{u}_s(t) + \dot{u}_g(t) \quad (1)$$

gde je: $\dot{u}_s(t)$ — koristan tekući signal raspršen od osvetljenih elementarnih površina u m-toj rezolucionoj ćeliji s centralnom elementarnom površinom



Sl. 1 — Fenomenologija modela RSP u modu automatskog praćenja terena

A_m (slika 2); $\dot{u}_s(t)$ — komponenta tekućeg signala formirana od drugih raspršivača, koja zajedno sa šumom prijemnika RSP deluje kao smetnja pri obradi signala $\dot{u}_s(t)$.

Na slici 2 prikazana je m -ta rezoluciona ćelija, dimenzija Δr po daljini i H_m po azimutu, u dva momenta vremena t_1 i t_2 . Rezolucione ćelije, koje formiraju tekući prijemni signal $\dot{u}_{pr}(t - \tau_{m+1} - T_i)$ i $\dot{u}_{pr}(t - \tau_{m+1})$, šrafirane su šrafurama pod različitim nagibima. Sa τ_{m+1} označeno je vreme odlaska i povratka signala, raspršenog od centralne površine A_m m -te rezolucione ćelije.

Površina m -te rezolucione ćelije određuje se pomoću izraza:

$$\Delta S = \Delta r \cdot H_m \quad (2)$$

$$\text{gde je: } \Delta r = (c \cdot \tau_i / 2) \cdot \sec \epsilon, \quad (3)$$

— dimenzija rezolucione ćelije po kojoj daljini, a njena širina, koja zavisi

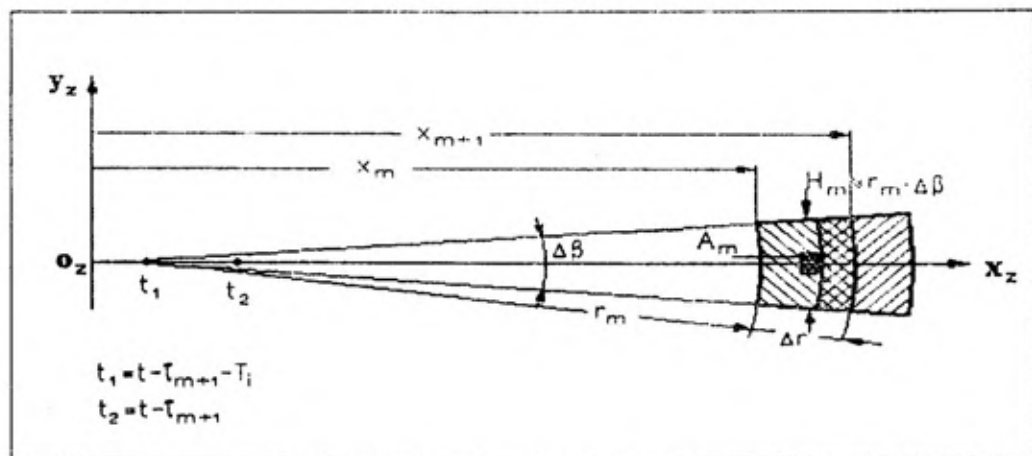
gde je: $r_m = \sqrt{x_m^2 + (h_0 - h_m)^2}$ — rastojanje između najbliže elementarne površine m -te rezolucione ćelije i RSP (slika 2).

U santimetarskom talasnom području i za širine dijagrama usmerenosti antene $\Delta\beta \approx 1^\circ$ do 3° , širina m -te rezolucione ćelije može se izraziti kao:

$$H_m = 2 \cdot r_m \cdot \Delta\beta. \quad (5)$$

Parcijalni tekući prijemni signal $\dot{u}_{pr}(t)$ nastaje sumiranjem raspršenih elektromagnetskih talasa od svih »osvetljenih« i »vidljivih« elementarnih površina terena unutar rezolucione ćelije, od kojih se ne mogu izdvojiti doprinosi elementarnih površina.

Može se zaključiti da izbor dimenzija elementarnih površina (Δx , Δy) DMT zavisi od tehničkih parametara RSP (τ_i , $\Delta\beta$, $\Delta\epsilon$). U suštini, dimenzije elementarnih površina ne smeju da budu veće od dimenzija rezolucione ćelije (Δr , H_m). Inače, u zavisnosti od na-



Sl. 2 — Šematski prikaz rezolucione ćelije u odnosu na projekciju pravca leta NLP

od širine dijagrama usmerenosti antene po azimutu na nivou pola snage ($\Delta\beta$), iznosi:

$$H_m = 2 \cdot r_m \cdot \operatorname{tg}(\Delta\beta/2), \quad (4)$$

mene modela, sa stanovišta ekonomije računarskih resursa (potrebna memorija i broj računarskih operacija), pri simulaciji signala, optimalan odnos

postoji se u slučaju kada je elementarna površina terena jednaka rezolucionalnoj ćeliji radara.

Matematički model tekućeg prijemnog signala

Matematički model tekućeg prijemnog signala raspršenog od elementarnih površina m-te rezolucione ćelije sa centralnom tačkom A_m (slika 2) razvijen je pod pretpostavkom da:

— je trajektorija leta pravolinijska u horizontalnoj ravni, a brzina $V_1 = \text{const.}$;

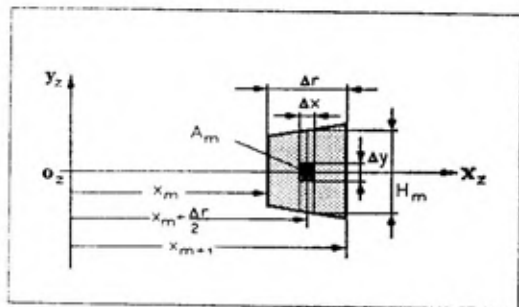
— antena skanira po elevaciji jednolikom brzinom u sektoru ($\varepsilon_d, \varepsilon_g$) oko pravca leta po sledećem zakonu:

$$\varepsilon_d(t) = \varepsilon_0 + \varepsilon(t); \quad \varepsilon(t) = \int_0^t \Omega_a(\tau) d\tau,$$

gde je: ε_0 — horizontalni pravac leta NLP; $\Omega_a(\tau)$ — brzina skaniranja antene; $\varepsilon(t)$ — pomak antene od pravca leta za vreme t ;

— tekuće rastojanje između NLP i centralne tačke A_m m-te rezolucione ćelije osmatranog terena iznosi $r_1(t)$ (slika 3). Ovo rastojanje može se izraziti kao:

$$r_1(t) = r_m(t) \approx r_{m0} + \frac{V_1^2 \cdot t^2}{2 \cdot r_{m0}}$$



Sl. 3 — Geometrijski odnosi elementarnih površina u rezolucionalnoj ćeliji

gde je: $r_{m0} = r_m(0) = \sqrt{(x_m + \Delta r/2)^2 + h_1^2}$; x_m — daljina do najbližih elementarnih površina m-te rezolucione ćelije.

Neka kompleksna anvelopa predajnog impulsnog signala ima oblik:

$$\dot{u}_{pd} = U_0 \cdot \exp(j\varphi_0) \cdot \sum_v \sigma_{g_i} \cdot (t - vT_1),$$

$$v = 0, \pm 1, \pm 2, \quad (6)$$

gde je funkcija modulacije predajnog

$$\text{signala } g_i = \begin{cases} 1, & t \in [0, \tau_i] \\ 0, & t \notin [0, \tau_i] \end{cases} \quad (7)$$

Odbirak tekućeg prijemnog signala formiraju sve »osvetljene« elementarne površine unutar m-te rezolucione ćelije (slika 3) u horizontalnoj ravni $Q_z X_z Y_z$, gde je A_m centralna površina s koordinatama $(x_m + \Delta r/2, 0, x_m)$.

Kompleksna anvelopa elementarnog signala, raspršenog od elementarne površine s koordinatama (x, y) , na ulazu u prijemnik RSP ima oblik:

$$\dot{u}(t, x, y) = U_a \cdot G_a^2(t) \cdot \varepsilon(x, y) \cdot \exp[jt\omega_a(t)] \cdot \sum_v \sigma_{g_i} [t - vT_1 - \tau(x)] \quad (8)$$

gde je: U_a — faktor, koji uzima u obzir amplitudu U_0 , koeficijent pojačanja primopredajne antene i slabljenja na trasi u oba smera;

$\tau(x) = 2 \cdot \sqrt{(x^2 + h^2)}/c$ kašnjenje raspršenog signala ($x = x_m + \Delta r/2, h = h_1 - h_m$);

$$\omega_a(t) = - \frac{4 \cdot \pi \cdot V_1^2 \cdot t}{\lambda \cdot r_{m0}} \quad (9)$$

kružna modulaciona frekvencija raspršenog signala;

$\varepsilon(x, y) = \sqrt{\sigma_0(x, y)} \cdot \exp(j\Phi_{xy})$ slučajan kompleksan broj, koji karakteriše proces raspršenja elektromagnetskih talasa od elementarne površine terena $\sigma_0 = \sigma(x, y) \cdot \Delta s$;

$\Delta s = \Delta x \cdot \Delta y$ površina elementarne površine u horizontalnoj ravni i slučajne faze $\Phi_{xy} = \varphi_0 + \varphi_{xy} - 4 \cdot \pi \cdot r_{m0}/\lambda$;

Φ_{xy} — pomak faze zbog raspršenja na elementarnoj površini;

$G_a(t)$ — normiran snop zračenja antene — uzima se da je istog iznosa za sve elementarne površine unutar rezolucione površine, uz pretpostavku da faza $\Phi_{xy} = \arg \epsilon(x, y)$ ima uniformnu distribuciju na intervalu 0 do 2π , a da distribucija modula $|\epsilon(x, y)| = \sqrt{\sigma_0(x, y)}$ zavisi od vrste vegetacije na datoj elementarnoj površini i upadnog ugla elektromagnetskog talasa na istu;

$M\{\epsilon(x, y)\} = 0$ matematičko očekivanje.

Integracijom izraza (8) po promenljivoj y u granicama $[-H_m/2, H_m/2]$, uz pretpostavku da je proces raspršenja frekvencijski nezavisna dimenzija za deo rezolucione ćelije $H_m \cdot \Delta x$ (vidi sliku 3), dobija se izraz za kompleksnu anvelopu raspršenog signala:

$$\dot{u}(t, x) = \dot{U}_a(t) \cdot \int_{-H_m/2}^{H_m/2} \xi(t, x) \Sigma g_i [t - vT_i - \tau(x)] dy \quad (10)$$

gde je:

$$\dot{U}_a(t) = U_a^2 \cdot G_a(t) \cdot \exp[jt\omega_a(t)] \quad (11)$$

$$\xi(t, x) = \int_{-H_m/2}^{H_m/2} \epsilon(x, y) \exp[jt\Omega(x, y)] dy \quad (12)$$

$$\Omega(x, y) = \omega(t, x, y) - \omega_a(t), \\ x = x_m + \Delta r/2. \quad (13)$$

U izrazu (13) funkcija $\omega(t, x, y)$ izražava frekvencijsku modulaciju signala na elementarnoj površini, koja se nalazi na m -toj rezoluciono ćeliji s koordinatama (x, y) . Na osnovu izraza (9) funkcija $\Omega(x, y)$ može se izraziti približnim izrazom:

$$\Omega(x, y) = \frac{4\pi V_1^2}{\lambda} \left(\frac{t}{r_{mo}} + \frac{t+x/V_1}{r_{xy}} \right) \approx \\ \approx - \frac{4\pi V_1}{\lambda r_{mo}} \cdot x \quad (14)$$

Činilac $\dot{U}_a(t)$ uzima u obzir uticaje svih relevantnih faktora na promenu prijemnog signala (10) koji je približ-

no jednak za sve elementarne površine — raspršivače u m -toj rezoluciono ćeliji.

Iz izraza (12) i (13) vidi se da se predajni signal (6) transformiše u reflektovani — raspršeni signal (10) s širim spektrom ili raspršenjem po frekvenciji.

Parcijalni tekući signal, koji nastaje u procesu transformacije — raspršenja predajnog signala od m -te rezolucione ćelije dimenzija $\Delta r \cdot H_m$ (vidi sliku 3), određuje se integracijom izraza (10) po prostornoj promenljivoj x u granicama $[x_m, x_{m+1}]$:

$$\dot{u}_a(t) = \dot{V}_a \cdot \eta_a(t), \quad (15)$$

$$\eta_a(t) = \sum_{x=x_m}^{x_{m+1}} \xi(t, x) \cdot g_i [t - vT_i - \tau(x)] dx. \quad (16)$$

Analizom izraza (16) dolazi se do zaključka da dužina (τ_a) raspršenog impulsnog signala $\dot{u}_a(t)$ (15), u odnosu na dužinu predajnog impulsa τ_i , raste:

$$\tau_a = \tau_{m+1} - \tau_m + \tau_i, \quad (17)$$

gde je:

$$\tau_m = \sqrt{x_m^2 + h_0^2}/c. \quad (18)$$

Zbog toga se radarski ciljevi koji transformišu predajne signale, tako što ih šire po vremenu, obično nazivaju ciljevi s disperzijom po kašnjenju (daljini) ili disperzioni ciljevi.

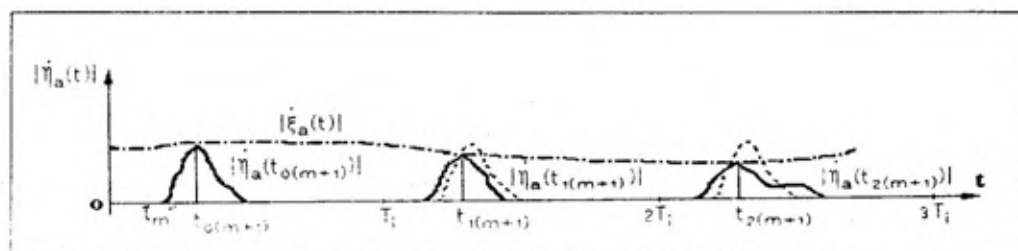
Na primer, jedna od mogućih realizacija modula $|\eta_a(t)|$ izraza (15) koji karakteriše slučajnu modulacionu komponentu signala $\dot{U}_a(t)$, prikazana je na slici 4 za tri perioda impulsnog signala ($v=0, 1, 2$), gde se sa $t_{v(m+1)}$ označavaju momenti vremena $t_{v(m+1)} = v \cdot T_i + \tau_{m+1}$.

Vremenske i frekvencijske promene odbiraka tekućeg prijemnog signala koje, uglavnom, zavise od raspršnih osobina ciljeva po frekvenciji i kašnjenju, menjaju oblik impulsnih signala

$\dot{u}_a(t)$ od perioda do perioda. Taj proces je ilustriran na slici 4, gde je, po ređenju radi, za svaki period prijemnog impulsnog signala T_i nanet i oblik impulsa $|\dot{\eta}_a(t)|$ za $v=0$.

Izrazi (15) i (16) su opšti za tekuće prijemne signale koji se sastoje od signala raspršenih od površine terena $\dot{u}_s(t)$ i šuma prijemnika $\dot{u}_s(t)$. Broj parcijal-

zu između njegovih vrednosti i prostorno-vremenskih koordinata. Jedna od takvih karakteristika je uzajamna kovarijaciona funkcija $\dot{K}_{ab}(t_1, t_2)$ parcijalnih tekućih signala $\dot{u}_a(t)$, $\dot{u}_b(t)$ dveju rezolucionih ćelija ΔS_a i ΔS_b s centralnim elementarnim površinama $A_m(x_m, 0, h_m)$, $B_k(x_k, 0, h_k)$. Uzajamni položaj rezolucionih ćelija prikazan je na slici 5. Na



Sl. 4 — Anvelopa amplitude odbiraka tekućeg prijemnog signala

Matematički model odbiraka tekućeg prijemnog signala zasnovan je na vektorskom sumiranju elementarnih signala nastalih refleksijom — raspršenjem elektromagnetskih talasa od svih »vidljivih« elementarnih površina — raspršivača unutar rezolucionih ćelija. Formiranje odbiraka tekućeg prijemnog signala vrši se, dakle, sumiranjem anvelopa elementarnih signala, odnosno, svih elementarnih doprinosa po rezolucionim ćelijama. Zbog kretanja NLP i skaniranja snopa zračenja antene, odbirci tekućeg prijemnog signala izračunavaju se za svaki impuls tekućeg prijemnog signala. Vreme se eksplicitno uzima u obzir računanjem trenutnog preseka DMT i snopa zračenja antene, odnosno selekcijom »vidljivih« elementarnih površina.

nih sabiraka po v u izrazu (16) određen je odnosom vremena osvetljavanja rezolucione ćelije (T_{os}) i perioda predajnog impulsnog signala (T_i).

Statističke karakteristike tekućeg prijemnog signala

Poznavanje tekućeg prijemnog signala podrazumeva poznavanje njegovih statističkih karakteristika koje, po zakonima verovatnoće, uspostavljaju ve-

osnovu relacija (15) i (16) izraz za uzajamnu korelacionu funkciju ima oblik:

$$\begin{aligned} \dot{K}_{ab}(t_1, t_2) = & M\{\dot{u}_a(t) \cdot \dot{u}_b(t)\} = \dot{U}_a(t_1) \cdot \\ & \cdot \dot{U}_b^*(t_2) \sum_v \sum_{i \in X_m} \sum_{k \in X_k} \int \dot{\xi}(t_1, x) \cdot \\ & \cdot \dot{\xi}^*(t_2, x) \cdot g_i[t - vT_i - \tau(x)] \cdot \\ & \cdot g_i[t - iT_i - \tau(x')] dx \cdot dx' \end{aligned} \quad (19)$$

gde se $\dot{U}_b(t)$ određuje pomoću izraza analognog (15), a i , kao i v , poprima vrednosti $i=0, \pm 1, \pm 2, \dots$. Simbol $M\{\cdot\}$ označava operaciju matematič-

kog očekivanja od izraza koji se nalazi u zagradama, a $(\diamond)^*$ — kompleksno-konjugovani par.

Dužina impulsa τ_b signala $\dot{u}_b(t)$ jednaka je τ_a (17), pri čemu je $\tau_b \ll T_1$. Svaki impuls signala $u_a(t)$ za bilo koju vrednost relativnog kašnjenja $\tau = t_2 - t_1$ vremenski se poklapa sa samo jednim impulsom $\dot{u}_b(t)$. Polazeći od te činjenice, kao i svojstva prostorne nekoherentnosti površine terena:

$$\begin{aligned} M\{\dot{\xi}(t_1, x) \cdot \dot{\xi}^*(t_2, x')\} = \\ = M\{\dot{\xi}(t_1, x') \cdot \dot{\xi}^*(t_2, x')\} \cdot \delta(x - x') \end{aligned} \quad (20)$$

gde je: $\delta(\diamond)$ — Dirakova (Dirac) delta funkcija, izraz (19) možemo pisati i drugačije:

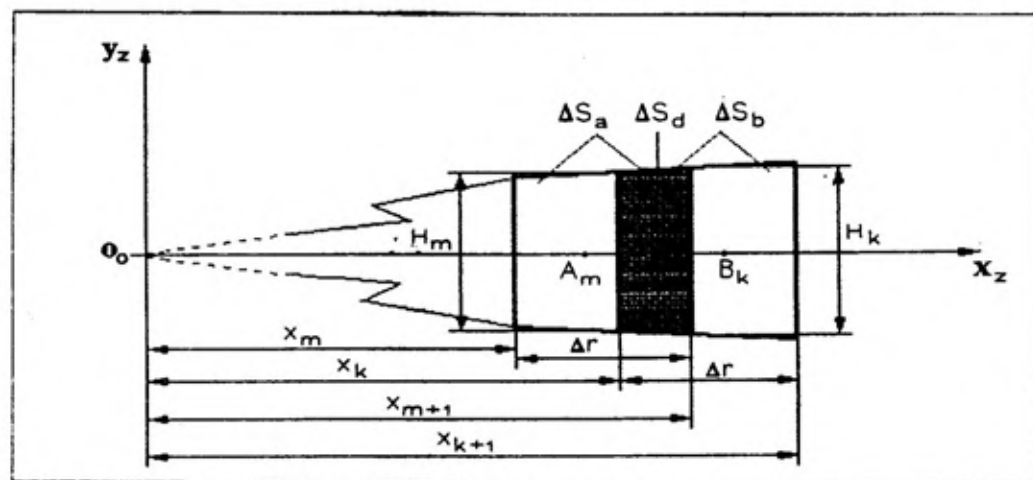
$$K_{ab}(t_1, t_2) = \begin{cases} \dot{U}_a(t_1) \cdot \dot{U}_b^*(t_2) \sum_{v=x_k}^{x_{m+1}} M\{\dot{\xi}(t_1, x)\} \cdot g_i[t_1 - vT_1 - \tau(x)] \cdot \\ \cdot g_i[t_1 - vT_1 + \Delta\tau - \tau(x)] dx, & \tau \in [l \cdot T_1 - \tau_d, l \cdot T_1 + \tau_d] \\ 0, & \tau \notin [l \cdot T_1 - \tau_d, l \cdot T_1 + \tau_d] \end{cases} \quad (21)$$

— znak broja τ, τ_{m+1}, τ_k izračunava se pomoću izraza (18). Pretpostavka je, a što se jasno vidi i sa slike 5, da je $x_m < x_k < x_{m+1}$.

Pomoću izraza (7), (19), (20), (21) i odnosa sa slike 5 lako se može dokazati da je relacija (19) funkcija kovarijance tekućeg parcijalnog signala $\dot{u}_d(t)$ nove rezolucione ćelije ΔS_d , koju formiraju uzajamno preklapljene ćelije ΔS_a i ΔS_b :

$$\begin{aligned} K_{ab}(t_1, t_2) = K_d(t_1, t_2) = \\ = M\{\dot{U}_d(t_1) \cdot \dot{U}_d^*(t_2)\}, \end{aligned} \quad (22)$$

Razmotrimo osnovne slučajeve upotrebe opšteg izraza (21) uzajamne kovarijacione funkcije parcijalnih tekućih signala $\dot{u}_a(t)$ i $\dot{u}_b(t)$.



Sl. 5 — Geometrijski odnos dve susedne rezolucione ćelije s prekrivanjem

Ovde je $l = \text{sign} \tau \cdot \text{int}[(|\tau| + \tau_d)/T_1] = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$; $\tau_d = \tau_1 + \tau_{m+1} - \tau_k$; $\tau_d \leq \tau_a$; $\Delta\tau = l \cdot T_1 - \tau$; $|\Delta\tau| \leq \tau_d$; $\tau = t_2 - t_1$; $\text{sign } \tau$

Uzajamna kovarijaciona funkcija za diskretni model parcijalnog tekućeg signala. Princip rada RSP i digitalna

simulacija pretpostavlja poznavanje iznosa tekućih odmeraka signala $u(t)$ u diskretnim trenucima vremena $t_{i(m+1)} = i \cdot T_i + \tau_{m+1}$, ($i=0, \pm 1, \pm 2, \dots$), kojima odgovara istovremeno raspršenje elektromagnetskih talasa od svih elementarnih površina u rezolucionoj ćeliji (površina ΔS_a). U trenucima $t_{i(m+1)}$ parcijalni tekući signal (15) može se opisati izrazom:

$$\dot{u}_a(t) = \dot{U}_a(t_{i(m+1)}) \cdot \dot{\eta}_a(t_{i(m+1)}), \quad (23)$$

gde je:

$$\dot{\eta}_a(t_{i(m+1)}) = \int_{x_m}^{x_{m+1}} \xi(t_{i(m+1)}, x) \cdot dx. \quad (24)$$

Parcijalne vrednosti procesa $|\dot{\eta}_a(t)|$ u diskretnim vremenskim trenucima $t_{i(m+1)}$ predstavljeni su na slici 4 impulsima nulte dužine i amplitudom iznosa $|\dot{\eta}_a(t_{i(m+1)})|$.

Uvrštavanjem u izraz (21) vrednosti argumenata $t_1 = t_{i(m+1)}$, $t_2 = t_{q(m+1)}$ diskretnih parcijalnih signala $\dot{u}_a(t_{i(m+1)})$, $\dot{u}_b(t_{q(m+1)})$, izraz za uzajamnu kovarijacionu funkciju $\dot{K}_{ab}(t_{i(m+1)}, t_{q(m+1)})$ pomoću izraza (7), (20) i (22), možemo izraziti u obliku:

$$\begin{aligned} \dot{K}_{ab}(t_{i(m+1)}, t_{q(m+1)}) &= \dot{U}_a(t_{i(m+1)}) \cdot \\ &\cdot \dot{U}_b^*(t_{q(m+1)}) \cdot \dot{K}_{\xi ab}(t, t+\tau) \cdot \delta(t - t_{i(m+1)}) \cdot \\ &\cdot \delta(t + \tau - t_{q(m+1)}) \end{aligned} \quad (25)$$

$$\dot{K}_a(t_1, t_2) = \begin{cases} \dot{U}_a(t_1) \cdot \dot{U}_a^*(t_2) \sum_{v=x_m}^{x_{m+1}} M\{\xi(t_1, x) \cdot \xi^*(t_2, x)\} \cdot g_1[t_1 - vT_i - \tau(x)] \cdot \\ \cdot g_2[t_1 - vT_i + \Delta\tau - \tau(x)] dx, & \tau \in [tT_i - \tau_a, tT_i + \tau_a] \\ 0, & \tau \notin [tT_i - \tau_a, tT_i + \tau_a] \end{cases} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \dot{K}_{\xi ab}(t, t+\tau) &= M\{\xi_a(t) \cdot \xi_b^*(t)\} = \\ &= M\{\xi_d(t) \cdot \xi_d^*(t+\tau)\} = \dot{K}_{\xi d}(t, t+\tau) \end{aligned} \quad (26)$$

gde $\delta(t)$ ima isti smisao, kao i $\delta(x)$ u izrazu (20); $\dot{K}_{\xi b}(t, t+\tau)$ je uzajamna funkcija kovarijacije procesa $\xi_a(t)$ i $\xi_b(t)$; $\dot{K}_{\xi d}(t, t+\tau)$ — funkcija kovarijacije procesa $\xi_d(t)$.

Odbirci slučajnih procesa $\xi_a(t)$, $\xi_b(t)$ i $\xi_d(t)$, uzimajući u obzir (12) i (24), mogu se odrediti pomoću izraza:

$$\begin{aligned} \xi_a(t) &= \int_{x_m}^{x_{m+1}} \xi(t, x) \cdot dx = \int_{x_m - H_m/2}^{x_{m+1} - H_m/2} \xi_{e0}(x, y) \cdot \\ &\cdot \exp[jt\Omega(x, y)] \cdot dx \cdot dy \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \xi_b(t) &= \int_{x_k}^{x_{k+1}} \xi(t, x) \cdot dx = \int_{x_k - H_k/2}^{x_{k+1} - H_k/2} \xi_{e0}(x, y) \cdot \\ &\cdot \exp[jt\Omega(x, y)] \cdot dx \cdot dy \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \xi_d(t) &= \int_{x_{m+1}}^{x_k} \xi(t, x) \cdot dx = \int_{x_k - H_k/2}^{x_{m+1} - H_k/2} \xi_{e0}(x, y) \cdot \\ &\cdot \exp[jt\Omega(x, y)] \cdot dx \cdot dy \end{aligned} \quad (29)$$

Oni odgovaraju slučajnoj modulaciji tekućih parcijalnih signala, raspršenog impulsnog signala od rezolucionih ćelija ΔS_a , ΔS_b i ΔS_d . Jedna realizacija slučajnog procesa $|\xi_a(t)|$, ilustracije radi, prikazana je na slici 4.

Kovarijaciona funkcija $K_{ab}(t_1, t_2) = K_d(t_1, t_2) = M$ parcijalnog tekućeg signala $u(t)$, zadatog relacijama (15) i (16), dobija se zamenom $x_k = x_m$, $x_k = x_m$ i $u_a(t)$ u izrazu (19):

gde se τ_a izračunava pomoću izraza (17) i (18). Kovarijaciona funkcija diskretnog parcijalnog signala $\dot{u}_a(t_{i(m+1)})$, oblika (23), na sličan način kao i u izrazu (25) i (26) ima oblik:

$$\begin{aligned} \dot{K}_a(t_{i(m+1)}, t_{q(m+1)}) &= \dot{U}_a(t_{i(m+1)}) \cdot \\ &\cdot \dot{U}_a^*(t_{q(m+1)}) \cdot \dot{K}_{\xi a}(t, t+\tau) \cdot \delta(t-t_{i(m+1)}) \cdot \\ &\cdot \delta(t+\tau-t_{q(m+1)}) \end{aligned} \quad (31)$$

$$\dot{K}_{\xi a}(t, t+\tau) = M\{\dot{\xi}_a(t) \cdot \dot{\xi}_a^*(t+\tau)\}. \quad (32)$$

Ovde se odbirci slučajnog procesa $\dot{\xi}_a(t)$ zadaju relacijom (27).

Parcijalni tekući signali $\dot{u}_a(t)$, $\dot{u}_b(t)$ i $\dot{u}_d(t)$ su odbirci nekoherentnog slučajnog procesa. Istovremeno, za izotropne, prostorno-nekoherentne površine terena odbirci slučajnog procesa $\dot{\xi}_a(t)$, $\dot{\xi}_b(t)$ i $\dot{\xi}_d(t)$ često imaju stacionarni karakter. Analizom izraza (12), (13), (14), (27), (28), (29), za realne vrednosti V_i , r_{om} , λ , i relativno male dimenzije rezolucione ćelije RSP-a (Δr , H_m), može se prikazati da su odbirci procesa uskopojasni, s nultim matematičkim očekivanjem i korelacionim funkcijama koje ne zavise od vremenske koordinate t . Na primer, ako je proces $\dot{\xi}_a(t)$ $M\{\dot{\xi}_a(t)\} = 0$, iz izraza (32) imamo:

$$\dot{K}_{\xi a}(t, t+\tau) = \dot{K}_{\xi a}(\tau) = \dot{R}_{\xi a}(\tau), \quad (33)$$

gde je $\dot{R}_{\xi a}(\tau)$ — funkcija korelacije posmatranog procesa.

Spektralna gustina $F_{\xi a}(\Omega)$ procesa $\dot{\xi}_a(t)$ dobija se Furijerovom (Furijer)

transformacijom korelacione funkcije $\dot{R}_{\xi a}(\tau)$:

$$F_{\xi a}(\Omega) = F\{\dot{R}_{\xi a}(\tau)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{R}_{\xi a}(\tau) \cdot \exp(-j\Omega\tau) d\tau,$$

ili, uzimajući u obzir relacije (20), (29), (32) i (33), može se pisati da je:

$$F_{\xi a}(\Omega) = \int_{x_m}^{x_{m+1}} S_{FX}(\Omega, x) \cdot dx, \quad (34)$$

gde je:

$$\begin{aligned} S_{FX}(\Omega, x) &= F\{\dot{R}_{\xi x}(\tau, x)\} = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \dot{R}_{\xi x}(\tau, x) \cdot \exp(-j\Omega\tau) d\tau, \\ \dot{R}_{\xi x}(\tau, x) &= M\{\dot{\xi}(t, x) \cdot \dot{\xi}^*(t+\tau, x)\}. \end{aligned} \quad (35)$$

Funkcija (35) ima veoma važnu ulogu u teoriji radio-lokacije. Njen fizikalni smisao može se objasniti ako se primeni na naš zadatak. Ako u funkciji $S_{FX}(\Omega, x)$ y i τ zamene mesta, gde je $\tau = 2\sqrt{(x^2 + h^2)}/2c$, dobija se nova funkcija $S_{FT}(\Omega, \tau)$ koja odgovara funkciji raspršne površine terena i karakteriše disperziju gustine snage raspršenog signala u koordinatama frekvencija — kašnjenje (vreme).

Koristeći izraz (14), zamenimo promenljivu Ω sa x u izrazu (35). Tako transformisana funkcija $S_{xy}(x, y)$, u slučaju površine reljefa terena, čije su elementarne površine nepokretne u pravougaonom koordinatnom sistemu, potpuno opisuje specifičnu radarsku površinu $\sigma_x(x, y)$ u zavisnosti od prostornih koordinata x i y [9].

Spektralna gustina $F_{\xi a}(\Omega)$ u funkciji korelacije $\dot{R}_{\xi a}(\tau)$ odbiraka slučajnog procesa $\dot{\xi}_a(t)$, koje su povezane relacijom $\dot{R}_{\xi a}(\tau) = F^{-1}\{F_{\xi a}(\Omega)\}$, potpuno je određena poljem 2D specifične radarske refleksne površine terena $\sigma_x(x, y)$. Elektrodinamički DMT [10], specijalno razvijen za ovu namenu, ima sve relevantne parametre koji su potrebni za opis polja 2D. Na osnovu poznatih dimenzija elementarnih površina i njihovih uglova nagiba u prostoru, određuju se upadni uglovi elektromagnetskih talasa, odnosno ugaona zavisnost srednje specifične radarske površine za odgovarajuće raspršivače.

Zaključak

U obezbeđenju sigurnog leta NLP one se opremaju radarskim senzorskim preprekama, čija je funkcija, u ovoj misiji, detekcija prepreka na terenu i merenje njihovih udaljenosti do NLP i uglova pod kojima se one sa njih vide.

Prvi korak ka približavanju optimalnoj konstrukciji svakog RS, pa samim tim i RSP za NLP, za datu namenu je specifikacija njihovih realnih ciljnih performansi. Nakon tog koraka sledi sinteza RS, ili sinteza dva ili tri konkurentna rešenja — alternative, koje zadovoljavaju postavljene okvire: performanse, raspoložive komponente, finansijska sredstva i vreme. Konačno, nakon što je RS projektovan, njegove se performanse analiziraju sa teorijskog stanovišta da bi se što uspešnije upravljalo njegovom upotrebom i da bi se odredili relevantni faktori eksperimentalne verifikacije.

Kako do danas nema propisanog »recepta« za projektovanje RS, tako nema ni jedinstvene metode kojom se određuju njihove optimalne karakteristike. Otuda i sasvim različiti pristupi u projektovanju, odnosno sintezi RS.

Razvoj matematičkih modela, koji opisuju fenomene iz oblasti radarske teorije, i brz razvoj računara opšte namene, presudno su uticali na to da su metode matematičkog modelovanja i simulacije na računaru postale

dominantne u oblasti analiza i sinteza RS danas [1—7].

U radu je predložen matematički model simulatora tekućeg prijemnog signala pogodnog za analizu i sintezu RSP za NLP. Formiranje odbiraka tekućeg prijemnog signala zasnovano je na vektorskom sumiranju anvelopa elementarnih signala, nastalih refleksijom — raspršenjem od svih »osvetljenih«, a »vidljivih« elementarnih površina unutar rezolucionih ćelija. Zbog kretanja NLP i skaniranja snopa zračenja antene, odbirci tekućeg prijemnog signala izračunavaju se za svaki impuls predajnog signala. Vreme se eksplicitno uzima u obzir kroz računanje trenutnog preseka DMT i snopa zračenja antene, odnosno selekciju »vidljivih« elementarnih površina.

Spektralna gustina $F_{\xi a}(\Omega)$ u funkciji korelacije $R_{\xi a}(\tau)$ odbiraka slučajnog procesa $\xi_a(t)$, koja su povezane relacijom $R_{\xi a}(\tau) = F^{-1}\{F_{\xi a}(\Omega)\}$, potpuno je određena poljem 2D specifične radarske refleksne površine terena $\sigma_r(x, y)$. Elektrodinamički DMT [10], specijalno razvijen za modelovanje RSP za NLP, ima sve relevantne parametre koji su potrebni za opis ovog polja 2D terena. Na osnovu poznatih dimenzija elementarnih površina i njihovih uglova nagiba u prostoru, određuju se u padni uglovi elektromagnetskih talasa, odnosno ugaona zavisnost srednje specifične radarske površine za odgovarajuće raspršivače.

Literatura:

- [1] Blake, I. V.: Fortran computer program to calculate range of a pulse radar, NRL Report — 7448, August 28, 1972.
- [2] Mitchell, R. L.: Radar signal simulations, Artech House, Dedham, 1976.
- [3] Leonov, A. I.: Modellirovanie v radiolokaciji, »Sovjetskoe radio«, Moskva, 1979.
- [4] Suresh-Babu, B. N.: Simulation of correlated clutter environment, Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987., pp 246—250.
- [5] Cynemen, J. J.: Radar computer simulation architecture & organization, Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987., pp 241—245.
- [6] Potter, K. E.: Experimental design study of an airborne interferometer for terrain avo-

- idance, Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987., pp 508—512.
- [7] Kostić, A., Kovačević, B., Radosavljević, Lj., Stanković, S. & Živojinović, V.: Funkcionalna simulacija radara, Naučno-tehnički pregled, № 7—8, 1991., str. 49—55.
- [8] Rigel, M. B.: An advanced computer calculation of ground clutter in airborne pulse-doppler radar, Proceedings of the IEEE NAECON-77, Dayton, 1981., pp 921—928.
- [9] Beloglazov, I. N., Džandžagova, G. I., & Čigin, G. P.: Osnovi navigacije po geofizičkim poljima, Nauka, Moskva, 1985.
- [10] Đorović, M.: Digitalni model terena za modeliranje radarskih senzora prepreka na niskoletećim platformama, Naučno-tehnički pregled, № 7—8, 1991., str. 56—63.

Ljubiša Marković,
dipl. inž.
Dr Predrag Petrović,
dipl. inž.
Industrija motora Rakovica,
Beograd

RAZVOJ DIZEL MOTORA NISKE EMISIJE IZDUVNIH GASOVA ZA PRIMENU U MOBILNIM MAŠINAMA

UDC: 621.436.1.001

Rezime:

Zadovoljenje sadašnjih, kao i budućih standarda emisije izduvnih gasova dizel motora, predstavlja primarni zadatak njihovog razvoja. Sa tog aspekta, u Institutu industrije motora Rakovica, zajedno sa Institutom za motore Mašinskog fakulteta u Beogradu, realizovana su istraživanja i razvoj nove verzije motora TDM33. Ugradnjom adekvatnog turbokompresora, katalizatora za naknadni tretman izduvnih gasova i optimizacijom sistema ubrizgavanja postignuti su veoma značajni rezultati koji zadovoljavaju ekološke standarde u pogledu emisije izduvnih gasova, kao i utvrđivanju smernica ka sličnim poboljšanjima drugih motora. Uslovi i metodologija, kao i deo rezultata ispitivanja, prikazani su u ovom radu.

Ključne reči: dizel motor, emisija izduvnih gasova.

DEVELOPMENT OF THE DIESEL ENGINE WITH LOW EMISSION OF EXHAUST GASES FOR THE APPLICATION IN MOBILE MACHINES

Summary:

The primary demand in the Diesel engine development is to satisfy current as well as future standards concerning Diesel engine exhaust gases. From that viewpoint, the researches and the development of a new version of the TDM33 engine were realized in the Institute of Engine Industry, Rakovica and the Institute for engines, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade. By building in an appropriate turbocompressor and a catalyst for the subsequent treatment of exhaust gases and by optimizing the injection system, we obtained very significant results which satisfy ecological standards concerning exhaust gases emission and offer help for similar improvements in other engines. Conditions, methodology and a part of test results are presented in the paper.

Key words: Diesel engine, emission of exhaust gases.

Uvod

Sagledavajući uticaj motornih vozila i drugih saobraćajnih sredstava na životnu sredinu, može se uočiti da glavni negativni uticaj dolazi od emisije izduvnih gasova. Osnovna ispitivanja dizel motora preduzimaju se radi smanjenja emisije izduvnih gasova, kao i

poboljšanja energetske karakteristika. Novijeg je datuma propis ECE R96 koji reguliše izduvnu emisiju dizel motora namenjenih ugradnji u poljoprivredne i šumarske mašine. Granice koje su sadržane propisom veoma su stroge i odnose se na motore snage iznad 37 kW. Toksični parametri CO, HC, NOx i čestice u izduvnim gasovi-

ma moraju biti u skladu sa standardom, tako da su inicirane aktivnosti u poboljšanju postojećih i razvoju novih dizel motora.

Imajući sve to u vidu, Institut IMR već duže vreme radi na razvoju novih dizel motora koji će zadovoljavati pomenute ekološke standarde. Razvijen je turbopunjeni motor TDM33 kojim je ispunjen navedeni propis.

Istraživanja je sufinansiralo Ministarstvo za nauku i tehnologiju [7].

Razvoj motora TDM33

U ovom radu predstavljen je deo rezultata istraživanja koji dotiču probleme sa kojima se suočavaju proizvođači dizel motora. Stalni pritisci, sadržani zakonskom regulativom, intenziviraju aktivnosti u ovoj oblasti. Smanjenje nivoa toksičnosti izduvne emisije dizel motora postiže se konstrukcijskim izmenama na motoru, primenom novih materijala, razvojem i optimizacijom sistema ubrizgavanja, naknadnim tretmanom izduvnih gasova, kao i usklađivanjem kvaliteta goriva. Razvoj motora TDM33, radi smanjenja toksične emisije izduvnih gasova, obuhvatio je, u osnovi, adaptaciju osnovne verzije motora DM33, uz primenu turbokompresora. Osnovni razlozi za primenu turbopunjenja su povećanje specifične snage motora i smanjenje specifične potrošnje goriva. Međutim, primena turbopunjenja jeste i vrlo efikasan način za poboljšanje efikasnosti sagorevanja, odnosno za smanjenje emisije toksičnih komponenta i dima. Poslednjih godina ovaj aspekt primene turbopunjenja dobija sve veći značaj, s obzirom na sve strože ekološke zahteve koje dizel motori moraju da zadovolje [3].

Danas su vrlo zastupljeni motori sa turbopunjenjem kod većine proizvo-

đača dizel motora, kao načina u zadovoljenju propisa izduvne emisije. Po red toga, za zadovoljenje propisa izduvne emisije dizel motora, namenjenih ugradnji u traktore i ostalu poljoprivrednu i šumsku mehanizaciju, u primeni je i naknadni tretman izduvnih gasova. U tom pravcu realizovan je konvertor sa katalizatorom domaće proizvodnje [2].

Izduvna emisija motora TDM33

U Institutu za motore Mašinskog fakulteta Beograd i Institutu IMR, realizovana su ispitivanja različitih mogućnosti smanjenja toksične izduvne emisije motora TDM33. Ovaj motor je namenjen za pogon nove generacije traktora domaće proizvodnje. Osnovna verzija motora DM33, na kojem su počela istraživanja, ima vrlo nepovoljnu emisiju toksičnih parametara. Program istraživanja obuhvatio je uporedna ispitivanja funkcionalnih karakteristika i emisije izduvnih gasova motora TDM33. U toku ispitivanja vršena je optimizacija sprege turbokompresora i motora, kao i varijacija osnovnih regulacionih parametara sistema ubrizgavanja, i to: ugla predubrizgavanja i karakteristika brizgača (pritisk ubrizgavanja, veličine i broj otvora na brizgaču). Sve promene na motoru razmatrane su sa stanovišta efekta smanjenja toksičnosti emisije [7].

Uslovi i metodologija ispitivanja

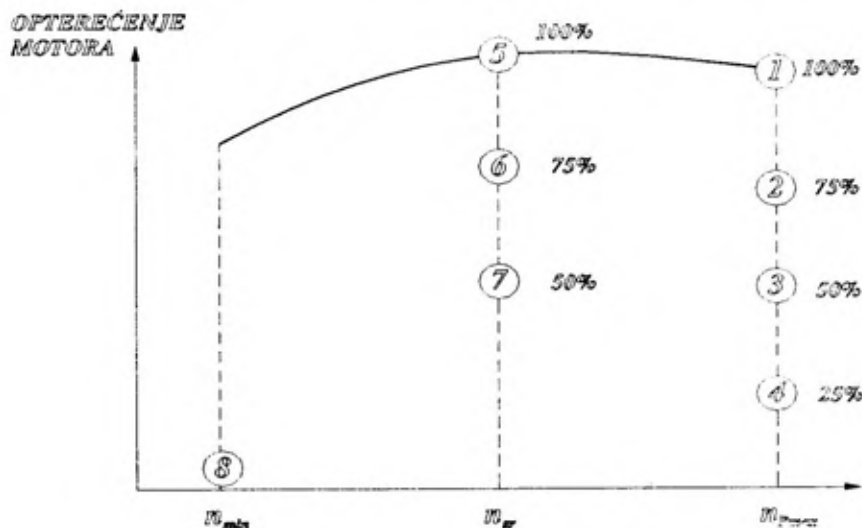
Ispitivanje emisije dizel motora sprovodi se po standardima, kojima je propisana merna oprema, procedura ispitivanja i obrada podataka. U tabeli 1 prikazane su granične vrednosti parametara izduvne emisije prema propisu ECE R96.

Na slici 1 prikazani su režimi ispitivanja po pravilniku ECE R96, odnosno

Tabela 1

Traktorski motori ECE R96 8-stupni ciklus				
Snaga motora (kW)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PT (g/kWh)
$P \geq 130$	5	1,3	9,2	0,54
$75 \leq P < 130$	5	1,3	9,2	0,7
$37 \leq P < 75$	6,5	1,3	9,2	0,85

sonde na 20 mm od priрубnice izduvnog kolektora. Uzorak je, zatim, prečišćen pomoću filtera koji je smešten u komori čija se temperatura automatski održava na 190°C, a zatim se vodi grejanim sistemom vodova do analizatora za kontinualnu analizu. Analizatori su: nedisperzivni infracrveni (NDIR) za CO i CO₂, termoregulacioni (TM) za O₂ i plamenojonizujući detektor (FID) za HC i grejni heminoluminiscentni (CLA) analizator NO_x. Pored emisije merene su, na standardni način, funkcionalne karakteristike motora.

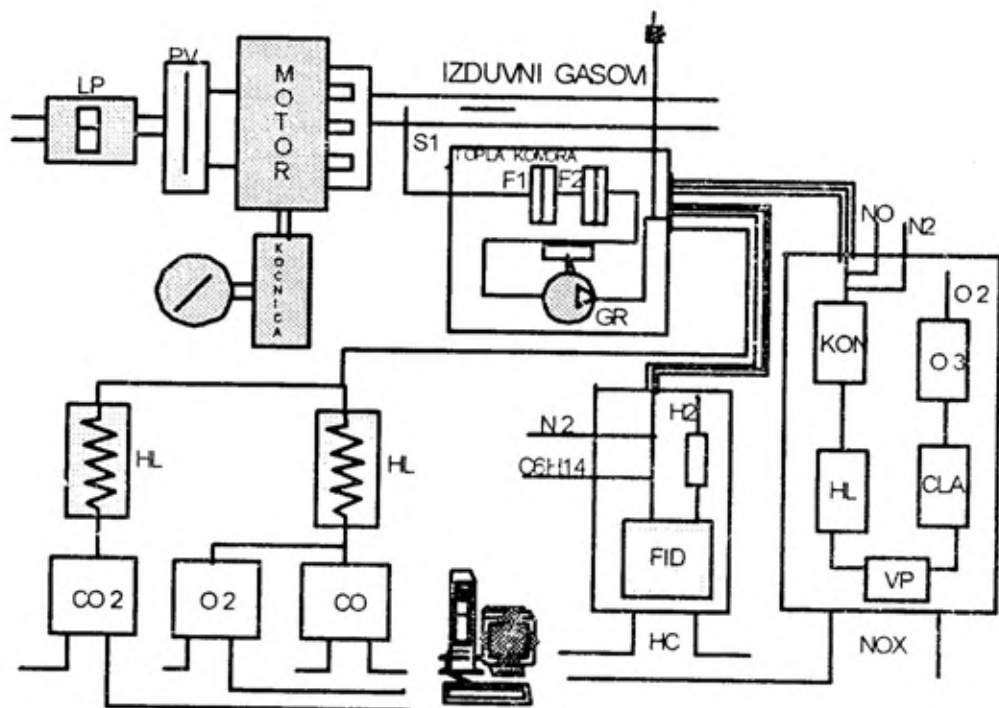


Sl. 1 — Režimi ispitivanja motora prema pravilniku ECE R96

no funkcionalna zavisnost opterećenja motora i broja obrtaja. Za ispitivanje varijanti motora TDM33 korišćena je merna oprema prikazana na slici 2.

Merna instalacija u potpunosti je razvijena prema zahtevima pravilnika ECE R-49 i ECE R-96. Uzorak izduvnog gasa uziman je pomoću standardne

Snimanja funkcionalnih parametara i emisije vršena su za svaku promenu regulacionih parametara motora. To znači da su za svaku izmenu parametara ubrizgavanja, elementa ubrizgavanja, pumpe visokog pritiska i brizgača registrovani toksični izduvni parametri kao i funkcionalne karakteristike motora.



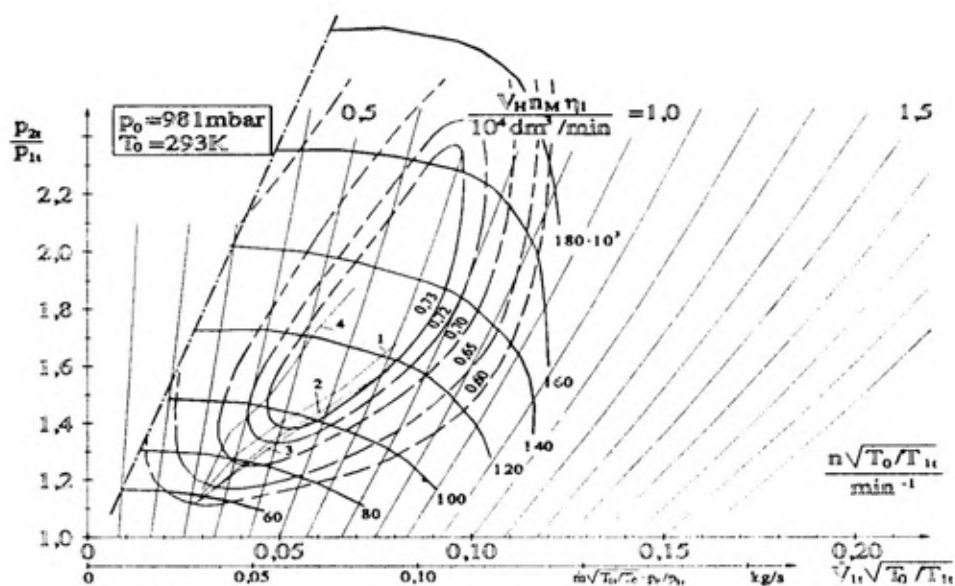
Sl. 2 — Merna oprema za emisiju izduvnih gasova

Rezultati ispitivanja

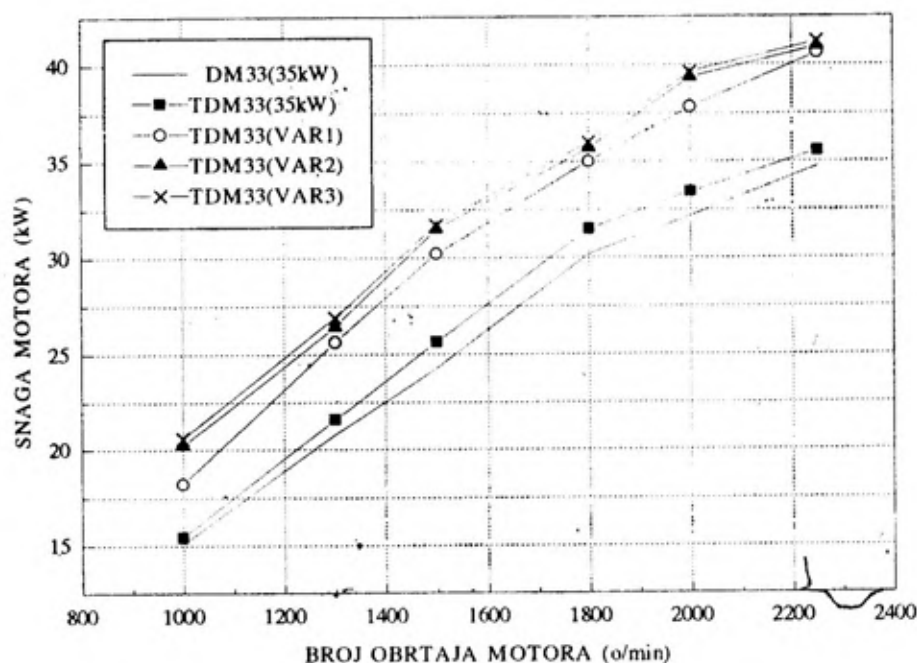
Ugradnja turbokompresora na u-sisnu varijantu motora zahtevala je detaljna razmatranja izbora optimalnog turbokompresora. Izabran je tip koji po svojim karakteristikama najviše odgovara motoru DM33. Na slici 3 prikazana je mapa turbokompresora KKK 2067 GGD i ucrtane su vrednosti protoka (linije 1—4) usisne količine vazduha prema karakteristikama motora TDM33 sa turbokompresorom, za različite regulacije sistema ubrizgavanja, odnosno snage motora. Sa dijagrama se može zaključiti da odabranim turbokompresorom nisu postignuti optimalni rezultati, odnosno kriva protoka usisnog vazduha nije u području optimalnog stepena korisnosti turbokompresora.

Na slici 4 prikazana je snaga motora u zavisnosti od varijante regulaci-

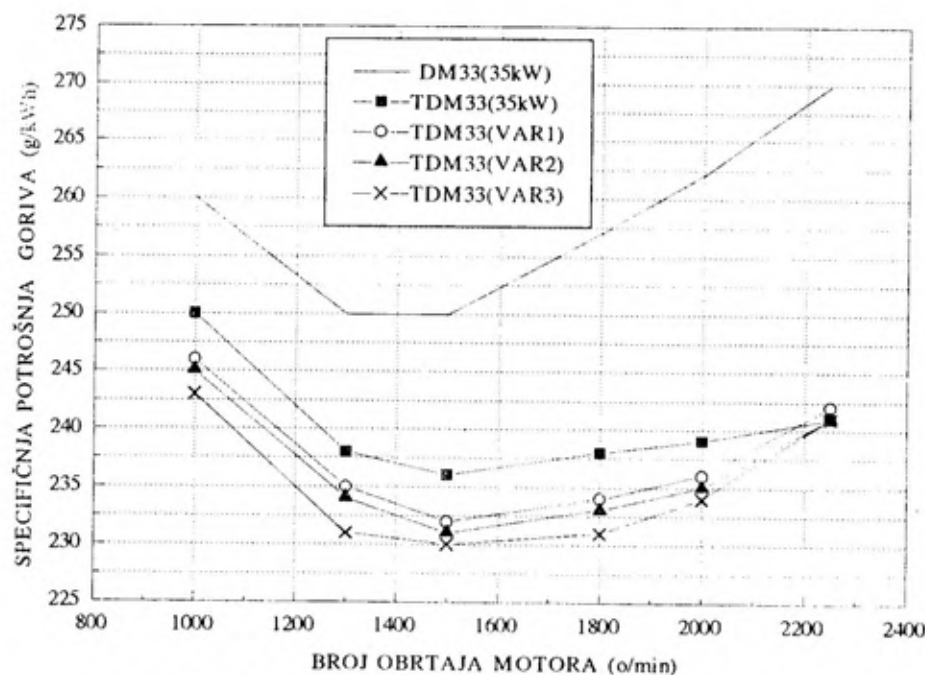
je sistema ubrizgavanja. Prikazani su rezultati pet varijanti motora i to osnovne verzije motora DM33 i varijante sa natpunjenjem, ali sa različitim nominalnim snagama na 2250 obrtaja u minutu. Na slici 5 prikazani su rezultati specifične potrošnje goriva za iste varijante motora, a na slici 6 i 7 rezultati specifične emisije po osmostupnom ciklusu ispitivanja, odnosno pravilniku ECE R96, i to na slici 6 specifične emisije za osnovnu varijantu i dve varijante sa natpunjenjem. Prikazani rezultati specifične emisije čestica dobijeni su proračunskim putem. Na slici 7 prikazana je specifična emisija za varijante motora sa natpunjenjem, ali sa različitim uglom predubrizgavanja. Vrednosti specifične emisije čestica dobijeni su proračunskom metodom.



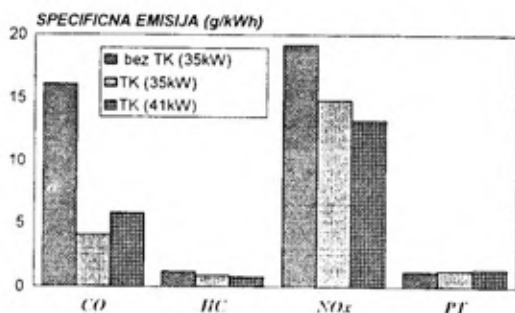
Sl. 3 — Mapa turbokompresora KKK 2067 GGD



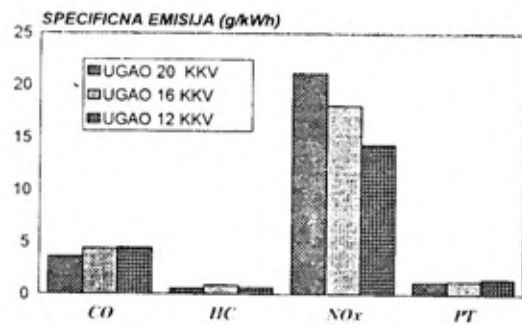
Sl. 4 — Snaga različitih varijanti motora



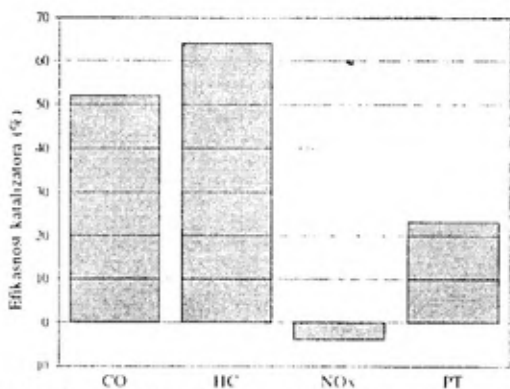
Sl. 5 — Specifična potrošnja goriva različitih varijanti motora



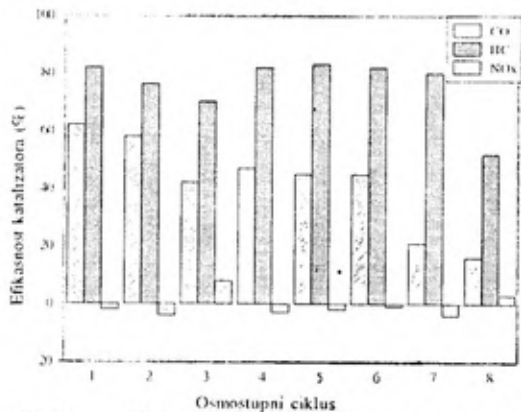
Sl. 6 — Specifična emisija motora



Sl. 7 — Specifična emisija motora sa natpunjenjem za različite uglove predubrivanja



Sl. 8 — Efikasnost katalizatora za toksične parametre



Sl. 9 — Efikasnost katalizatora prema ciklusima ispitivanja

Ispitivanja efikasnosti konvertora sa katalizatorom obavljena su na osnovnoj varijanti motora. Rezultati su prikazani na slikama 8 i 9. Na slici 8 prikazani su rezultati efikasnosti po ciklusima ispitivanja i to redom CO, HC i NO_x, a na slici 9 prema ciklusima ispitivanja.

Analiza rezultata

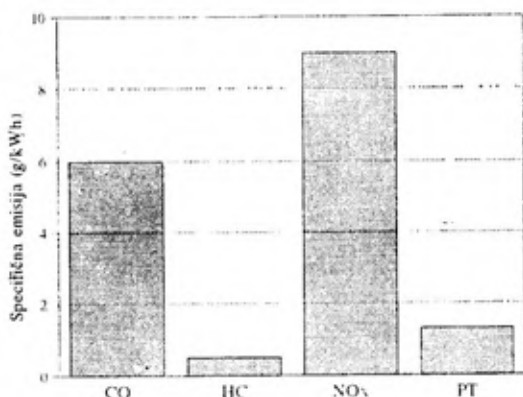
S obzirom na to da varijanta prirodnog punjenog motora DM33 ima nepovoljnu, visoku emisiju toksičnih komponenti, primenom natpunjenja postignuti su povoljni rezultati, ali pravilnik o graničnim vrednostima emisija nije zadovoljen. Efikasnost katalizatora, kao i izmerena specifična emisija varijanti motora sa natpunjenjem, pokazuje zadovoljenje zakonske regulative u oblasti dizel motora namenjenih za ugradnju u poljoprivrednu i šumarску mehanizaciju.

Analizirajući spregu motora i turbokompresora može se uočiti da postojeći turbokompresor ne odgovara. Na to navode rezultati ispitivanja, gde se na režimu nominalne snage ne postiže pritisak natpunjenja veći od 0,7 bara, pa su samim tim radne krive motora, locirane u donjem delu mape kompresora, praktično ispod zone optimalnih vrednosti stepena korisnosti kompresora. To je naročito izraženo na nižim režimima rada motora $n=1000-1500 \text{ min}^{-1}$. U osnovi svake ugradnje turbokompresora na prirodno punjen dizel motor očekuje se povećanje snage motora za 20 do 25%. S obzirom na to da cilj istraživanja nije povećanje snage, već smanjenje toksičnosti izduvne emisije, istraživanja su vršena sa varijantama motora snage do 41 kW.

Ispitivanja efikasnosti konvertora sa katalizatorom pokazala su da efekat

smanjenja toksičnih parametara iznosi kod ugljenmonoksida — CO za oko 50% a ugljovodonika — HC za oko 60%. Katalizator je domaće proizvodnje i čine ga kuglice od fine dispergovane platine u spoljašnjem sloju poroznog omotača Al₂O₃. Efikasnost smanjenja CO i HC zavisi, pre svega, od temperature izduvnih gasova i bitno se poboljšava kada je ona iznad 300°C. Zbog toga je efikasnost na punom opterećenju i preko 80%, a na nižim opterećenjima ispod 20%.

Rezultati ispitivanja pokazali su da je optimalna regulacija, kojom se postižu najniže vrednosti specifične emisije azotovih oksida — NO_x, a pri primeni sistema ubrizgavanja sa distributor-pumpom i uglom predubrizgavanja $\alpha_{pu}=8^\circ$. Kako su, uz zadovoljenje granice za NO_x, ostali parametri izvan dozvoljenih granica, primenjen je naknadni tretman izduvnih gasova



Sl. 10 — Emisija toksičnih parametara motora TDM33 sa katalizatorom

konvertorom sa katalizatorom. Svedene vrednosti specifičnih toksičnih parametara za motor TDM33 prikazane su na slici 10. Specifična emisija čestica dobijena je proračunskom metodom.

Zaključak

Radi zadovoljenja ekoloških zahteva propisa (standarda) izduvne emisije dizel motora kontinualno se sprovode istraživanja i razvoj motora IMR. Rezultat istraživanja i razvoja predstavlja dizel motor TDM33 sa katalizatorom, kojim je zadovoljen standard ECE R96. Do povoljnih rezultata istraživanja došlo se primenom natpunjenja i optimizacijom sistema ubrizgavanja. Pored toga, ugrađen je sistem za naknadni tretman izduvnih gasova, odnosno konvertor sa katalizatorom. Istraživanja su otvorila nove moguć-

nosti za smanjenje toksičnosti dizel motora IMR, na primer, razvojem sistema ubrizgavanja sa linijskom pumpom.

Generalno gledano, aktivnosti na istraživanju smanjenja izduvne emisije dizel motora daju doprinos obezbeđenju konkurentnosti proizvoda sa vodećim svetskim proizvođačima dizel motora namenjenim ugradnji u poljoprivrednu i šumarsku mehanizaciju. Pored toga, od velikog značaja su rezultati postignuti u smanjenju toksičnosti izduvne emisije motora, koji direktno doprinose zaštiti životne sredine.

Literatura:

- [1] Petrović, S., Tomić, M. i dr.: Negativni efekti eksploatacije motora SUS i njihov odraz na budući razvoj, Skup Mašinstvo za XXI vek, Zbornik radova, Novi Sad, 1995.
- [2] Miljković, M., Petrović, S., Tomić, M., i dr.: Mogućnosti smanjenja toksične emisije dizel motora naknadnim tretmanom izduvnih gasova, MVM 94, Kragujevac, 1994.
- [3] Miljković, M., Petrović, S., i dr.: Mogućnosti smanjenja toksične emisije dizel motora primenom turbokompresora, NMV 95, Beograd, 1995.
- [4] Matejić, M.: Prilog proučavanju uticaja radnih parametara sistema za ubrizgavanje goriva na izduvnu emisiju dizel motora, magistarski rad, Beograd, 1996.
- [5] Matejić, M., Petrović, S., i dr.: Smanjenje toksične izduvne emisije dizel motora, MVM 96, Kragujevac, 1996.
- [6] Marković, Lj., Petrović, P., i dr.: Emisija izduvnih gasova dizel motora i uticaj motornog ulja na nju, GALAX 96, Kopaonik, 1996.
- [7] IMR-MF-MNTR: projekat Smanjenje izduvne emisije dizel motora, potprojekt Primena turbopunjenja na motoru DM33.
- [8] Babović, P., Petković, N., Petrović, P.: Novi hidraulični podizač traktora Industrije motora Rakovica sa aspekta efikasnijeg regulisanja agregata, Poljoprivredna tehnika, Beograd, novembar, 1996.
- [9] Petrović, P., Marković, Lj.: Traktor R-55DV-EKO u susret novim propisima, Poljoprivredni fakultet Beograd, novembar, 1996.

PRIMENA GASNE HROMATOGRAFIJE ZA PROUČAVANJE ADSORPCIJSKIH KARAKTERISTIKA AKTIVNOG UGLJA

UDC: 543.544.1-032.35

Rezime:

Ispitivana je mogućnost primene metode gasne hromatografije za proučavanje adsorpcijskih karakteristika aktivnog uglja. Na osnovu dobijenih hromatografskih pikova benzena na aktivnom uglju, za različite temperature i veličine uzorka, primenom adekvatnih teorija adsorpcije, određena je specifična površina aktivnog uglja, maksimalna adsorpcija benzena i entalpija adsorpcije benzena na aktivnom uglju.

Ključne reči: adsorpcija, adsorpcijska izoterma, aktivni ugalj, gasna hromatografija.

APPLICATION OF THE GAS CHROMATOGRAPHY IN THE STUDY OF ACTIVATED CARBON ADSORPTION PROPERTIES

Summary:

The possibility to apply the gas chromatography method in studying activated carbon adsorption properties is presented. The specific surface of activated carbon and the maximal adsorption of benzene are determined as well as the enthalpy of benzene adsorption on activated carbon, on the basis of the obtained chromatographic peaks of benzene on activated carbon for different temperatures and sample sizes and by applying suitable adsorption theories.

Key words: adsorption, adsorption isotherm, activated carbon, gas chromatography.

Uvod

Hemijska borbeni sredstva zastupljena su u naoružanju mnogih armija, pa je, bez obzira na međunarodne konvencije, njihova primena moguća i u eventualnim budućim ratnim sukobima. Ova činjenica nameće potrebu za stalnim praćenjem razvoja bojnih otrova i usavršavanjem sredstava zaštite.

Osnovno sredstvo za zaštitu ljudi od hemijskih borbenih sredstava je zaštitna maska. Njena osnovna funkcija je da spreči prodor para bojnih otrova u disajne organe. Za ostvariva-

nje te funkcije najbitniju ulogu ima adsorbent, koji je osnovna komponenta cedila zaštitne maske. Zbog izuzetno velike adsorpcione moći, kao adsorbent u zaštitnim maskama, najčešće se primenjuje aktivni ugalj.

Istraživanja iz oblasti zaštitnih sredstava usmerena su u pravcu poboljšanja zaštitnih svojstava, produženja veka upotrebe, smanjenja otpora vazduha radi olakšanog disanja, a radi povećanja pokretljivosti, izdržljivosti, pa i borbenog morala u toku ratnih dejstava u kojima su primenjena ili se

očekuje primena hemijskih borbenih sredstava.

Pouzdanu određivanje adsorpcionih karakteristika primenjenih adsorbentata svakako je jedna od važnih faza u procesu razvoja ili usavršavanja zaštitne maske. U tom smislu cilj ovog rada je da se ispita mogućnost primene gasne hromatografije, kao jedne savremene analitičke metode za proučavanje adsorpcionih karakteristika aktivnog uglja.

Teorijske osnove adsorpcije

Svi heterogeni procesi odvijaju se kroz granične površine faza i karakteriše ih niz specifičnih površinskih pojava koje su posledica međumolekulskih privlačenja. Stanje materije na graničnoj površini faza razlikuje se od njenog stanja unutar tih faza usled razlike međumolekulskih sila.

Površinske pojave imaju veliki praktični i teorijski značaj. Proučavanjem tih pojava može se doći do podataka o energiji i prirodi međumolekulskih sila. Praktični značaj površinskih pojava uslovljen je velikom rasprostranjenosti materija sa velikom specifičnom površinom.

Pojava da se na granici površina između dve faze neka supstanca nađe u većoj koncentraciji u odnosu na unutrašnjost susednih faza naziva se adsorpcija. Moć adsorpcije je veća što je veća površina adsorbenta. Površina koju ima 1 g adsorbenta naziva se specifična površina.

Aktivni adsorbenti, odnosno adsorbenti koji imaju veliku moć adsorpcije, imaju veliku specifičnu površinu. Mikroporozni adsorbenti, kao što je aktivni ugalj i zeoliti, imaju specifičnu površinu od nekoliko stotina do preko hiljadu m²/g.

Na površini čvrste supstance molekuli adsorbata može se vezati fizič-

kom ili hemijskom adsorpcijom. Fizička adsorpcija pripisuje se dejstvu sila između površine adsorbenta i molekula adsorbata koje su slične Wan der Walsovim silama između molekula. To je relativno brza, ali i reverzibilna pojava. Fizički adsorbovani molekuli mogu se ukloniti sa površine adsorbenta snižavanjem koncentracije (pritiska) ili povećanjem temperature.

Kod fizičkih adsorpcija postoji mogućnost formiranja više slojeva. Suprotno fizičkoj, hemijska adsorpcija je rezultat mnogo jačih sila vezivanja koje su približne hemijskim vezama, tako da se može smatrati da dolazi do nastanka neke vrste površinskih jedinjenja. Reverzibilni procesi su u ovom slučaju retki.

Oba tipa adsorpcije završavaju se kada se cela površina adsorbenta prekrije adsorbovanim molekulima, odnosno kada se formira molekularni sloj.

Adsorpcijska ravnoteža

Sistemi sa velikom graničnom površinom (kao što je aktivni ugalj) odlikuju se velikom Gibsovom energijom G, što uslovljava veliku termodinamičku nestabilnost ovakvih sistema. Sa termodinamičkog stanovišta adsorpcija je praćena smanjenjem Gibsove energije i to je spontan proces.

Smanjenje Gibsove energije može se odvijati u spontanom procesu smanjenja površine A, odnosno površinskog napona, σ :

$$G = \sigma A \quad (1)$$

Pri adsorpcijskim procesima, slično kao i kod drugih materijalnih sistema, posle određenog vremena uspostavlja se ravnoteža. Adsorpcijska ravnoteža, uopšte, može se predstaviti funkcijom:

$$f(n_a, p, T) = 0 \quad (2)$$

gde je:

n_a — broj molekula adsorbovane supstance,

p — pritisak,

T — temperatura.

Pri ispitivanju ravnoteže jedna varijabla je uvek konstantna, tako da se pri konstantnoj temperaturi dobija adsorpcijska izoterma, pri konstantnom pritisku adsorpcijska izobara, a pri konstantnom broju adsorbovanih molekula adsorpcijska izostera, na osnovu koje se može izračunati tzv. izosterička entalpija adsorpcije, ΔH , za koju važi sledeća relacija:

$$\left(\frac{d \ln p}{dt} \right)_{n_a} = - \frac{\Delta H_{ads}}{RT^2} \quad (3)$$

Ova jednačina može se izvesti na sličan način kao i Clausius-Clapejronova jednačina [1].

Adsorpcijske izoterme

Adsorpcijske izoterme su teorijski najbolje obrađene, a i praktično se najčešće određuju.

Zavisnost broja molekula adsorbovane supstance, a , od pritiska, na jedinicu mase adsorbata, pri konstantnoj temperaturi, data je sledećim empirijskim izrazom [2]:

$$a = k p^{\frac{1}{m}} \quad (4)$$

gde su k i m ($m > 1$) konstante za datu supstancu i dati adsorbent, koje zavise od temperature.

Drugu jednačinu adsorpcijske izoterme teorijski je izveo I. Langmuir [2]. Ona je ograničena na formiranje samo monomolekularnog sloja na površini adsorbenta, a razvijena je za sisteme čvrsta faza — gasovita faza, u sledećem obliku:

$$\frac{p}{a} = \frac{1}{ka_m} + \frac{1}{a_m} p \quad (5)$$

gde je:

p — pritisak (koncentracija) adsorbata,

a — broj molekula adsorbovane supstance po jedinici mase adsorbenta pri ravnotežnoj koncentraciji,

a_m — broj molekula adsorbata koji formiraju monosloj na površini adsorbenta jedinične mase,

k — adsorpcijski koeficijent (odnos konstanti adsorpcije i desorpcije).

Ukoliko Langmuirova izoterma predstavlja adekvatan izraz za adsorpcijski proces, tada je zavisnost p/a od p linearna. Na taj način moguće je odrediti k i a_m .

Na osnovu eksperimentalno određene vrednosti a_m može se odrediti specifična površina adsorbenta ukoliko je poznata površina jednog molekula adsorbata:

$$A = a_m N A_0 \quad (6)$$

gde je:

N — Avogadrov broj,

A_0 — površina molekula adsorbata (m^2),

A — specifična površina adsorbenta (m^2/g).

Brunauer, Emet i Teler (BET) [3] dali su izotermu koja podrazumeva formiranje sledećih slojeva adsorbata koji pokrivaju molekule prvog sloja:

$$\frac{p}{(p_0 - p)a} = \frac{1}{ca_m} + \frac{c-1}{ca_m} \frac{p}{p_0} \quad (7)$$

gde je:

p/p_0 — relativni pritisak pare adsorbata,

c — konstanta.

Ova izoterma važi za područje relativnih pritisaka od 0,05 do 0,35. Polazeći od tzv. potencijalne teorije adsorpcije, koja uzima u obzir postojanje privlačnih sila kratkog dometa između površine adsorbenta i molekula adsorbata, Dubinjin i Raduškevič izveli su adsorpcijsku izotermu koja je primenljiva za mikroporozne adsorbente:

$$v = v_0 e^{-K\varepsilon^2} \quad (8)$$

gde je:

- v — zapremina adsorbovanog gasa,
- v_0 — granična zapremina pri vrednosti potencijala $\varepsilon=0$ (praktično je jednaka zapremini mikropora),
- K — empirijska konstanta,
- ε — adsorpcijski potencijal.

Adsorpcijski potencijal određen je iznosom slobodne energije koja je potrebna za prelaz jednog mola pare sa ravnotežnog pritiska p_0 , nad slobodnom tečnom fazom, na pritisak p koji ta para ima pri zauzimanju adsorpcijskog prostora:

$$\varepsilon = RT \ln \frac{p_0}{p} \quad (9)$$

Uvrštavanjem relacije za adsorpcijski potencijal u jednačinu (8) dobija se konačni oblik adsorpcijske izoterme Dubinjina i Raduškeviča:

$$v = av_m = v_0 e^{-K(RT \ln p_0/p)^2} \quad (10)$$

gde je:

- v_m — molarna zapremina adsorbata u tečnom stanju,
- a — broj adsorbovanih molova gasa.

Ova jednačina može se prikazati u linearnom obliku:

$$\log a = \log \frac{v_0}{v_m} - \frac{K}{2,3} \left(RT \log \frac{p_0}{p} \right)^2 \quad (11)$$

Na osnovu odsečka pravca može se odrediti maksimalna adsorpcija ($a_m = v_0/v_m$), a iz nagiba konstanta K , koja označava karakter raspodele $v(\varepsilon)$.

Uticaj oblika adsorpcijske izoterme na oblik pika hromatograma

Mnogi istraživači proučavali su odnos između adsorpcijske izoterme i oblika pika na hromatogramu [4, 5, 6]. Prema njima, uz pomoć odgovarajućih pretpostavki, ove teorije definišu idealan hromatografski proces.

Osnovna jednačina teorije ravnotežne hromatografije povezuje linearnu brzinu, u_c , kojom duž kolone putuje materija u gasovitoj fazi, koncentracije c , sa zapreminskom brzinom gasa nosioca, ω , i sa nagibom adsorpcijske izoterme dc_a/dc :

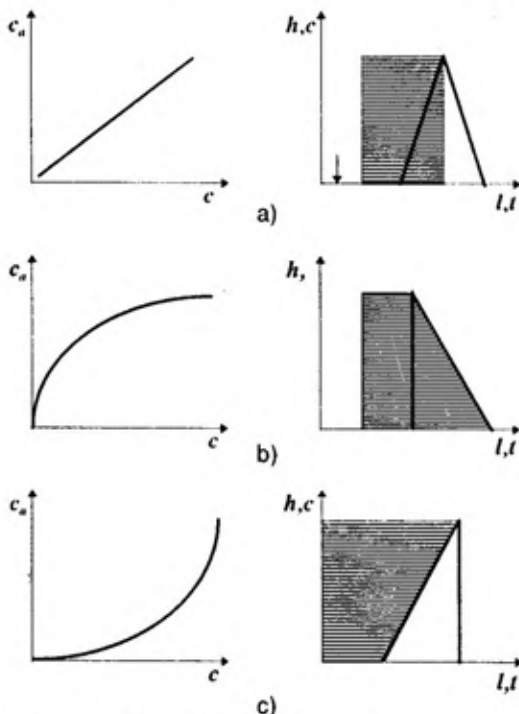
$$u_c = \frac{\omega}{v + v_a \frac{dc_a}{dc}} \quad (12)$$

gde su:

- v i v_a — zapremine gasovite faze i adsorpcionog sloja koje odgovaraju jedinici dužine kolone,
- c — koncentracija materije u gasovitoj fazi,
- c_a — koncentracija materije u adsorpcionom sloju.

Na osnovu jednačine (12) brzina kretanja gasa uzduž kolone zavisi od oblika adsorpcijske izoterme. Ako je adsorpcija linearna (potčinjava se Henrijevom zakonu), odnos dc_a/dc u jednačini (12) konstantan je i sve koncentracije u gasovitoj fazi kreću se kroz kolonu jednom istom i konstantnom brzinom u_c . U tom slučaju, na hromatogramu se dobija simetričan pik (slika 1a).

Pri odstupanju izoterme od Henrijevog zakona odnos dc_a/dc se smanjuje sa povećavanjem koncentracije c . U



Sl. 1 — Uticaj oblika adsorpcijske izoterme na oblik hromatografskog pika

tom slučaju, kao što sledi iz jednačine (12), veće koncentracije putuju većom brzinom i obrnuto, što dovodi do razvlačenja zadnje strane pika na hromatogramu.

Ako je adsorpcijska izoterma oblika prikazanog na slici 1c, odnos dc_a/dc se povećava sa porastom koncentracije. U tom slučaju manje koncentracije putuju većom brzinom, što dovodi do razvlačenja prednje stranice pika.

Određivanje adsorpcijske izoterme na osnovu oblika pika

Na osnovu jednačine (12) proizilazi sledeća veza između korigovane retencione zapremine (zapremine zadržavanja) v_R i adsorpcijske izoterme:

žavanja) v_R i adsorpcijske izoterme:

$$v_R = v_a \frac{dc_a}{dc} \quad (13)$$

gde je v_a — zapremina adsorpcionog sloja u koloni.

Oдавde sledi da je:

$$c_a = \frac{1}{v_a} \int v_R dc \quad (14)$$

Prelazeći sa koncentracije c_a u zapremini površinskog sloja na veličinu adsorpcije a , koja se odnosi na jedinicu mase adsorbenta, dobija se:

$$a = \frac{1}{g} \int v_R dc \quad (15)$$

gde je g — masa adsorbenta u koloni.

Ova jednačina omogućuje da se odredi iznos a za razne vrednosti c , odnosno adsorpcijska izoterma $a=f(c)$ ili $a=f(p)$, gde je p — parcijalni pritisak supstance u gasu nosiocu.

Za proračun izoterme u gornju jednačinu neophodno je uvesti značenje retencione zapremine, v_R i koncentracije, c , izraženih preko veličina koje se dobijaju na hromatogramu. Zato odziv detektora treba izraziti u jedinicama koncentracije.

Otklon pera pisača h proporcionalan je koncentraciji c :

$$c = K h \quad (16)$$

gde je K — konstanta za dati adsorbat i osetljivost detektora.

Veličina K može se odrediti frontalnom metodom iz otklona pisača za razne koncentracije c adsorbata u gasu nosiocu. Ova metoda je pouzdana, ali zahteva tačno poznate koncentracije u gasu nosiocu. Zato je lakše odrediti K iz samih hromatograma, uvođenjem u kolonu tačno poznatu masu adsorbata

m. Posle izlaska adsorbata iz kolone njegova masa je:

$$m = \int_{v_1}^{v_2} c dv \quad (17)$$

gde je v — zapremina gasa koji je protekao kroz kolonu, a granice integracije odgovaraju početku v_1 i kraju v_2 , izlaska uzorka iz kolone.

Uzimajući u obzir izraz (16), dobija se:

$$m = K \int_{v_1}^{v_2} h dv \quad (18)$$

Ako je brzina kretanja papira na pisaču q , a zapreminska brzina gasa nosioca ω , onda je:

$$dv = \frac{\omega}{q} dl \quad (19)$$

Supstitucijom u prethodni izraz dobija se:

$$m = K \frac{\omega}{q} \int_{l_1}^{l_2} h dl = K \frac{\omega}{q} S \quad (20)$$

gde je površina pika S :

$$S = \int_{l_1}^{l_2} h dl \quad (21)$$

Na taj način kalibraciona konstanta detektora je:

$$K = \frac{mq}{S\omega} \quad (22)$$

Konstanta K određuje se tako što se za različite veličine uzorka unetog adsorbata izmere površine dobijenih pikova i napravi dijagram zavisnosti $S\omega$ od mq . Nagib te prave predstavlja konstantu detektora. Konstanta se od-

ređuje na onoj temperaturi pri kojoj se određuje i adsorpcijska izoterma.

Zapreminska brzina gasa nosioca koriguje se na temperaturu i srednji pritisak $\bar{p}$ u koloni:

$$\frac{\omega \bar{p}}{T} = \frac{\omega_{izm} p_{izm}}{T_{izm}} \quad (23)$$

Odavde je:

$$\omega = \omega_{izm} \frac{p_{izm} T}{\bar{p} T_{izm}} \quad (24)$$

gde je:

T_{izm} — temperatura okoline,

T — temperatura kolone,

ω_{izm} — izmereni protok.

Srednji pritisak računa se pomoću izraza:

$$\bar{p} = \frac{p_0}{f} \quad (25)$$

gde je f — faktor korekcije [1, 4] koji se računa na sledeći način:

$$f = \frac{3}{2} \frac{\left(\frac{p_i}{p_0}\right)^2 - 1}{\left(\frac{p_i}{p_0}\right)^3 - 1} \quad (26)$$

Ovde je p_i — pritisak na ulazu u kolonu, a p_0 — pritisak na izlazu kolone.

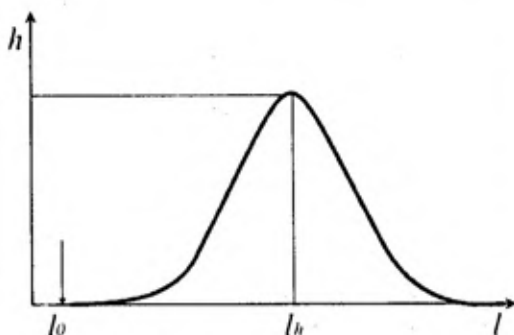
Za određivanje veličine adsorpcije a u formulu (15) treba uvrstiti izraze $de = K dh$ i $v_R = \omega(t_c - t_0) = \omega/q(l_h - l_0)$, gde je t_c — vreme zadržavanja uzorka pri određenoj koncentraciji c u gasovitoj fazi, t_0 — vreme zadržavanja neadsorbovanih komponenata, $(l_h - l_0)$ — rastojanje na hromatogramu od momenta ulaska gasa nosioca do momen-

ta izlaska gasa sa koncentracijom c (slika 2).

Odatle sledi da je:

$$a = \frac{K\omega}{gq} \int_0^h (l_h - l_0) dh = \frac{K\omega}{gq} S_a \quad (27)$$

Ovde $S_a = \int_0^h (l_h - l_0)$ predstavlja površinu na hromatogramu između ose h pri $l=l_0$ i razvučene strane pika adsorbata. Na slici 1 prikazan je način određi-



Sl. 2 — Tipičan hromatografski pik

vanja ove površine za tri tipa pika, gde išrafirana površina predstavlja gornji integral.

Uvodeći izraz (22) za K u prethodnu jednačinu dobija se:

$$a = \frac{mS_a}{gS_p} \quad (28)$$

Koncentracija adsorbata u gasu nosiocu je:

$$c = Kh = \frac{mqh}{S_p\omega} \quad (29)$$

a njegov parcijalni pritisak:

$$p = cRT = KhRT = \frac{mqh}{S_p\omega} RT \quad (30)$$

Ovi izrazi koriste se za određivanje a i p iz hromatografskih podataka u slučajevima kada se ne obavlja posebna kalibracija detektora.

Eksperimentalni deo

Ispitivanja su obavljena na gasnom hromatografu »Varian 2400« sa plamenjonizacijskim detektorom. Kao gas nosilac korišćen je azot.

Upotrebljena je hromatografska kolona dužine 30 cm, prečnika 2,5 mm, punjena aktivnim ugljem kao adsorbentom, granulacije 50—60 Msh. Pri punjenju kolone aktivnim ugljem posebno se vodilo računa o tome da kolona bude ravnomerno ispunjena po celoj dužini, bez praznih mesta.

Ukupna masa aktivnog uglja u koloni iznosila je $g = 0,2733$ g.

Nakon punjenja kolone izvršeno je kondicioniranje na 250°C u trajanju od pet sati.

Kao adsorbat odabran je benzen, koji je prethodno predestilovan i osušen natrijumom.

Ispitivanja su obavljena sa konstantnim protokom gasa nosioca od $30 \text{ cm}^3/\text{min}$.

Za dobijanje adsorpcijskih izotermi benzena upotrebljene su veličine uzorka od 0,1 do 1 μl , a merenja su vršena na temperaturama od 260, 280, 300, 330, 350 i 370°C .

Temperatura injektora bila je 290°C , a detektora 330°C .

Ostali radni uslovi, koji su neophodni za proračun adsorpcijskih izoterma, sadržani su u tabeli 1.

Radni uslovi pri kojima su realizovana merenja

Temp. kolone (°C)	Temp. okoline (°C)	Atmo-sferski pritisak, p_a (mbar)	Relativ-na vlaž-nost (%)	Pritisak zas. vode-ne pare (mbar)	Pritisak vod. pare na mernoj temp. (mbar)	Izmereni pritisak (mbar) $p_{izm} = p_a - p_{H_2O}$	Pritisak na ulazu u kolonu p_i (mbar)
260	20	1017	70	23,3	16,6	1000	1035
280	19	1017	70	22,6	15,9	1001	1035
300	18	1016	65	20,6	13,3	1002	1035
330	18	1016	65	20,6	13,3	1003	1035
350	20	1010	60	23,3	14,0	997	1029
370	20	1010	60	23,3	14,0	997	1029

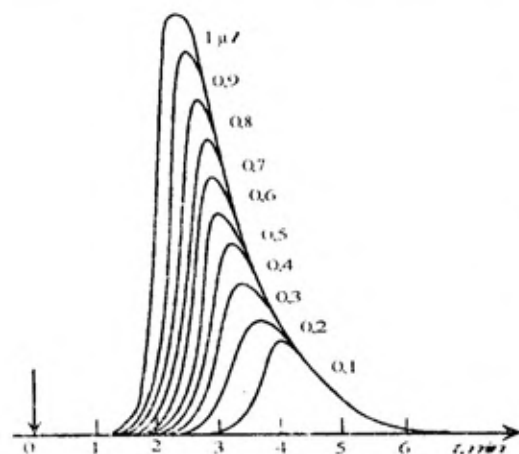
Tabela 2

Rezultati obrade hromatograma benzena dobijenih na 350°C (osetljivost aparata $1/64 \times 10^{-10}$, brzina papira pisača 1 cm/min)

Veličina uzorka		Retencio-no vreme t_R (s)	Visina pika h , (mm)	Površina pika S_{pik} (mm ²)	Površina hrom. S_h , (mm ²)
μl	mol				
0,1	1,13	114	17	193	473
0,2	2,26	108	21	234	567
0,3	3,39	102	33	368	827
0,4	4,51	90	45	478	1020
0,5	5,64	87	54	568	1237
0,6	6,77	84	58	604	1291
0,7	7,90	78	64	671	1359
0,8	9,02	72	72	732	1473
0,9	10,15	69	85	852	1700
1,0	11,28	66	92	904	1747

Rezultati i diskusija

Na slici 3 prikazan je primer dobijenih hromatograma na 350°C . Nakon snimanja hromatograma za sve ispitivane



Sl. 3 — Primer hromatograma benzena za različite veličine uzorka na 350°C

vane temperature i veličine uzoraka izvršena je njihova obrada. Rezultati obrade hromatograma za istu temperatu-

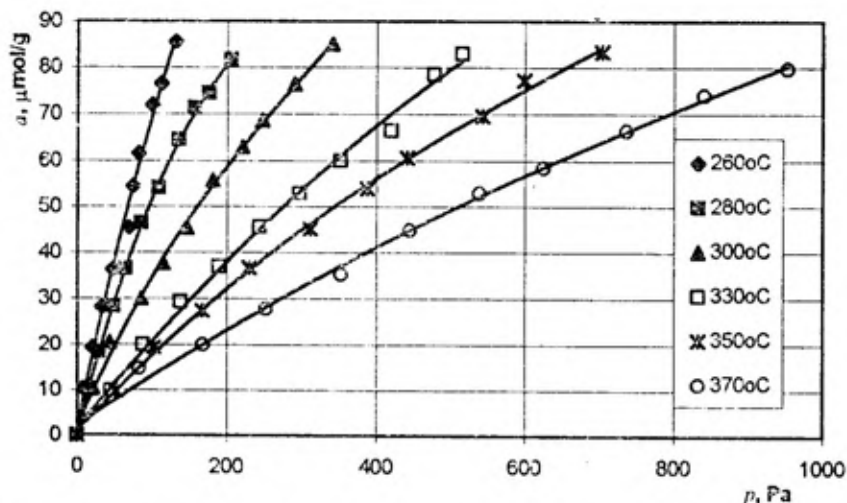
ru sadržani su u tabeli 2. Isti parametri određeni su i za ostale ispitivane temperature.

Proračun adsorpcijskih izoterma benzena i karakteristika aktivnog uglja

Radi dobijanja adsorpcijskih izoterma, na osnovu podataka izmerenih sa hromatograma i radnih uslova, pomoću izraza (28) i (30), izvršen je proračun iznosa adsorpcije, a , u zavisnosti od koncentracije, odnosno parcijalnih pritiska benzena, p . Dobijene adsorpcijske izoterme benzena za različite temperature prikazane su na slici 4.

Primenljivost Langmuirove teorije na proces adsorpcije benzena na aktivnom uglju može se proveriti na osnovu izraza (5). U slučaju da je teorija primenljiva, zavisnost p/a od p trebalo bi da bude linearna. Zavisnost p/a od p grafički je prikazana na slici 5.

Očigledno je da su na višim temperaturama relativno velika odstupanja, što znači da Langmuirova teorija nije pogodna za karakterizaciju mikro-



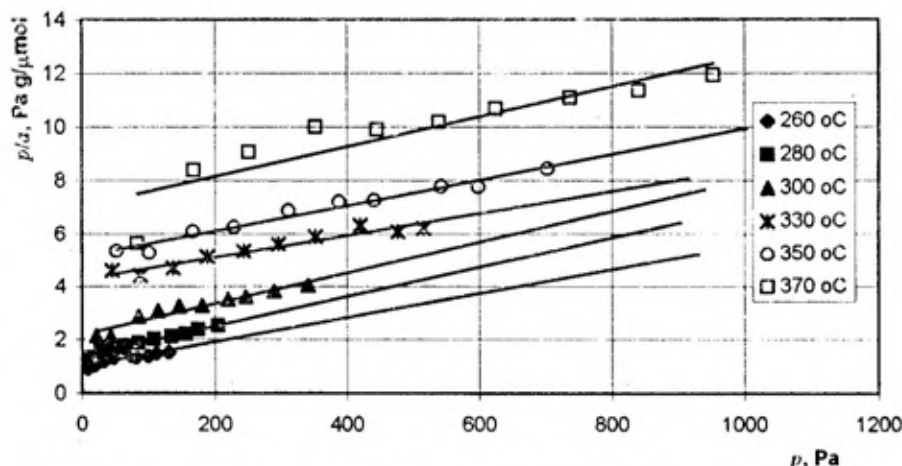
Sl. 4 — Adsorpcijske izoterme benzena na aktivnom uglju za različite temperature

poroznih adsorbenata na višim temperaturama. To je i logično s obzirom na to da je Langmuirova teorija ograničena na formiranje monosloja adsorbata.

U skladu sa izrazom (5), iz nagiba pravaca mogu se odrediti i maksimal-

Raduškeviča za adsorpciju benzena na aktivnom uglju na 260°C.

Na osnovu odsečka pravca može se izračunati granična zapremina mikropora aktivnog uglja v_0 i maksimalna adsorpcija benzena:



Sl. 5 — Langmuirove adsorpcijske izoterme na aktivnom uglju

ni iznosi adsorpcija benzena za date temperature, a na osnovu izraza (6) može se izračunati specifična površina aktivnog uglja ako je poznata specifična površina benzena.

Međutim, to u ovom slučaju ne bi imalo smisla, jer se radi o visokim temperaturama. Zato je potrebno poznavati maksimalnu adsorpciju na normalnoj temperaturi, na osnovu koje bi se dobila realna specifična površina aktivnog uglja, a može se primeniti teorija Dubinjinina i Raduškeviča koja daje zavisnost zapremine adsorbovanog adsorbata od adsorpcijskog potencijala, bez obzira na temperaturu.

Iz odsečka pravca, koji je predstavljen jednačinom (11), može se izračunati maksimalna adsorpcija, a_m .

Na slici 6 prikazana je linearizovana adsorpcijska izoterma Dubinjinina i

$$\log \frac{v_0}{v_m} = 2,85$$

Odavde je:

$$a_m = \frac{v_0}{v_m} = 7,08 \cdot 10^2 \frac{\mu\text{mol}}{\text{g}}$$

S obzirom na to da molarna zapremina benzena u tečnom stanju iznosi $88,6 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3/\mu\text{mol}$, može se izračunati i zapremina mikropora aktivnog uglja v_0 , koja iznosi:

$$v_0 = 0,63 \text{ cm}^3/\text{g}$$

Na osnovu izraza (6), uz podatak da površina molekula benzena iznosi $41 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$ [1], može se izračunati i specifična površina aktivnog uglja, koja iznosi:

$$A = 174,75 \text{ m}^2/\text{g}$$

Dobijene vrednosti su u granicama podataka iz literature.

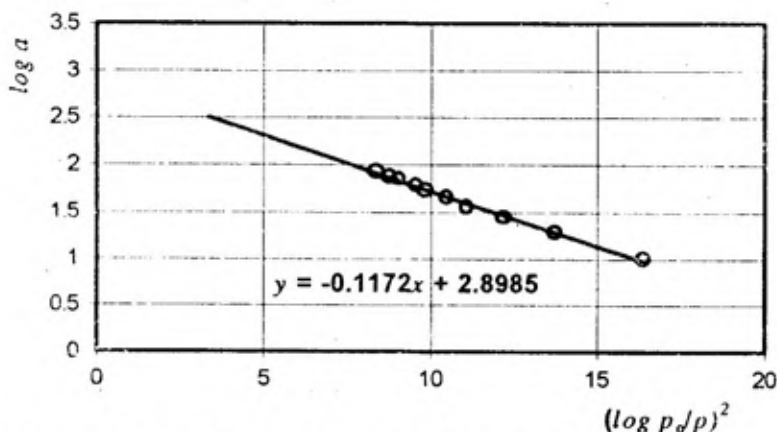
Pošto su u eksperimentima primenjeni vrlo niski relativni pritisci, teorija BET nije proveravana, jer je ograničena na više relativne pritiske (0,05—0,35).

Uzimajući u obzir sve uslove eksperimenta i analizirajući različite teorije adsorpcije, može se zaključiti da je najpogodnija teorija Dubinina i Raduškeviča, čija je ispravnost potvrđena na velikom broju mikroporoznih adsorbentata, kao što je aktivni ugalj. Pošto isključuje temperaturnu zavisnost, omogućuje izračunavanje maksimalne adsorpcije i specifične površine adsorbenta, bez obzira na primenjene temperature eksperimenta. Pored toga, poznavanjem konstante K, može se predvideti tok adsorpcijskih izoterma na bilo kojoj temperaturi, a upoređivanjem vrednosti konstanti za različite adsorbente mogu se predvideti i njihove adsorpcijske izoterme.

Na taj način mogu se vrlo lako dobiti adsorpcijske izoterme aktivnog uglja za različite granulacije, čime bi se dobili korisni podaci za njegovu primenu u zaštitnim maskama.

Određivanje entalpije adsorpcije benzena na aktivnom uglju

Pri visokim temperaturama kolone i malim uzorcima adsorpcijska izoterma se pokorava Henrijevom zakonu



Sl. 6 — Adsorpcijska izoterma Dubinina i Raduškeviča za adsorpciju benzena na aktivnom uglju

[3]. Dobijeni pikovi su simetrični, a retenciona vremena i retencione zapremine ne zavise od veličine uzorka. Proučavanjem njihove zavisnosti od temperature mogu se izračunati izosteričke entalpije adsorpcije pri beskonačno maloj zauzetosti površine.

Specifična retenciona zapremina v_{g1} , koja odgovara toj početnoj oblasti izoterme, nalazi se ekstrapolacijom v_{g1} za nultu veličinu uzorka:

$$v_{g1} = \frac{v_R}{g} \quad (31)$$

odnosno

$$v_{g1} = \frac{t_R}{g} \omega \quad (32)$$

gde je:

t_R — retenciono vreme (vreme zadržavanja),

g — masa adsorbenta u koloni,

ω — srednji protok gasa nosioca koji se računa na osnovu izraza (24).

Specifična retenciona zapremina povezana je sa Henrijevom konstantom sledećim izrazom:

$$v_g = K_1 RT \quad (33)$$

Pod pretpostavkom idealnog ponašanja adsorbata u gasovitoj fazi može se preko K izraziti i promena standardne Gibsove energije ΔG^0 :

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_1 \quad (34)$$

U tom slučaju može se uzeti da je promena standardne diferencijalne entalpije adsorbata ΔH^0 jednaka izosteričkoj entalpiji adsorpcije pri nultoj zauzetosti površine:

$$\Delta H^0 \approx \Delta H_1.$$

Ako se izrazi za ΔG^0 i ΔH^0 uvedu u jednačinu Gibbs-Helmholca:

$$\frac{\partial \frac{\Delta G}{T}}{\partial \frac{1}{T}} = \Delta H^0 \quad (35)$$

dobiće se izraz za izračunavanje izosteričke entalpije adsorpcije pri nultoj zauzetosti površine, na osnovu specifične retencione zapremine nulte probe:

$$\frac{d \ln K_1}{d \frac{1}{T}} = \frac{d \ln \frac{v_{g1}}{T}}{d \frac{1}{T}} = \frac{\Delta H_1}{R} \quad (36)$$

Nakon integracije, uz pretpostavku nezavisnosti ΔH_1 od T , dobiće se sledeći izraz:

$$\ln \frac{v_{g1}}{T} = -\frac{\Delta H_1}{R} \frac{1}{T} + C \quad (37)$$

On predstavlja jednačinu pravca iz čijeg se nagiba određuje ΔH_1 [1, 3].

Radi određivanja entalpije adsorpcije benzena na aktivnom uglju, na osnovu podataka iz tabela 1 i 2 izvršen je proračun retencionih zapremina v_{g1} u zavisnosti od temperature na najmanju upotrebljenu veličinu uzorka od 0,1 μ l. Rezultati su prikazani u tabeli 3.

Tabela 3

Rezultati proračuna zavisnosti retencione zapremine od temperature

T, °C	t_R , S	ω , cm ³ /min	v_{g1} , cm ³ /g
260	1008	53,5	3289
280	683	55,5	2312
300	454	57,2	1584
330	234	60,2	859
350	198	62,3	752
370	114	64,3	447

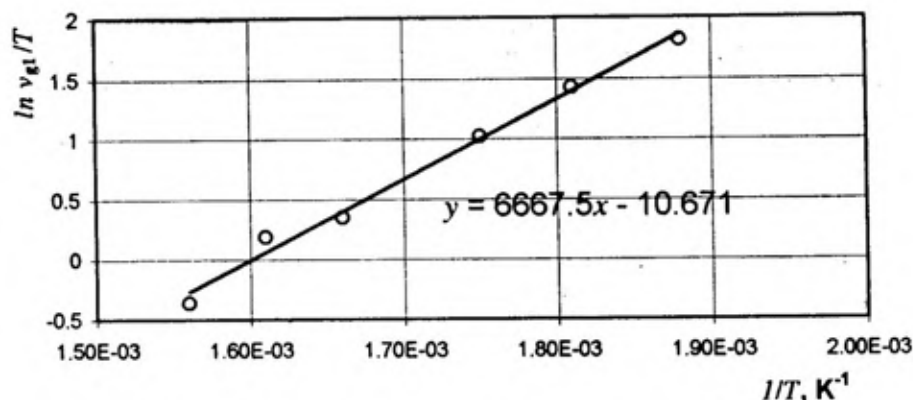
U skladu sa jednačinom (37) na slici 7 predstavljena je zavisnost $\ln v_{g1}/T$ od $1/T$ iz čijeg je nagiba određena entalpija adsorpcije pri nultoj zauzetosti površine:

$$\text{tg} \alpha = -\Delta H_1/R = 6667,5$$

$$\Delta H = -55,4 \text{ kJ/mol}$$

Na osnovu iznosa entalpije adsorpcije može se zaključiti da se radi o fizičkoj adsorpciji.

Upoređenjem dobijene vrednosti entalpije adsorpcije sa podacima iz literature o entalpiji adsorpcije benzena na drugim adsorbentima očigledno je da je za aktivni ugalj ona dosta veća u odnosu na ostale adsorbente, što govori o njenoj velikoj adsorpcionoj moći.



Sl. 7 — Određivanje entalpije adsorpcije na osnovu izraza (37)

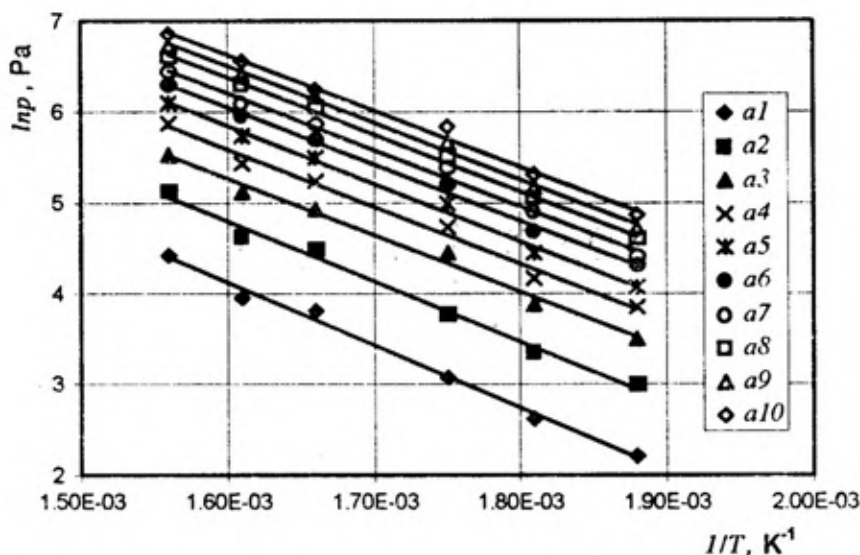
Zavisnost entalpije adsorpcije od zauzetosti površine

Dobijeni hromatografski pikovi (slika 2) ukazuju na to da se adsorpcija benzena na aktivnom uglju odvija po nelinearnoj adsorpcijskoj izotermi, jer se retenciono vreme i retenciona zapremina menjaju sa veličinom uzorka. U tom slučaju entalpija adsorpcije

može se izračunati na osnovu izraza (3) koji integriranjem dobija oblik:

$$\ln p = \frac{\Delta H}{R} \frac{1}{T} + C \quad (38)$$

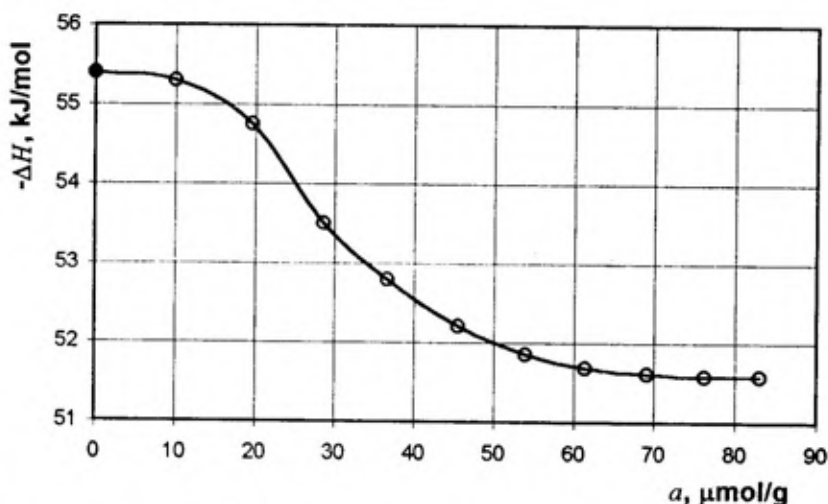
Ovaj izraz omogućuje da se iz nagiba pravaca izračunaju izosteričke entalpije adsorpcije za različite veličine uzorka, odnosno različite zauzetosti površine, a .



Sl. 8 — Određivanje izosteričke entalpije adsorpcije za različite zauzetosti površine

Na slici 8 grafički je predstavljena zavisnost $\ln p - 1/T$ za različite zauzetosti površina.

Zavisnost izosteričke entalpije adsorpcije od zauzetosti površine prikazana je na slici 9. Crna tačka predstavlja entalpiju adsorpcije pri nultoj zauzetosti površine, a dobijena je na osnovu izraza (37).



Sl. 9 — Zavisnost entalpije adsorpcije benzena od zauzetosti površine aktivnog uglja

Zaključak

Rezultati istraživanja pokazuju da se pomoću gasne hromatografije mogu vrlo brzo, tačno i relativno jednostavno određivati adsorpcione karakteristike aktivnog uglja, kao i drugih adsorbenata.

Zakon adsorpcije benzena na aktivnom uglju najbolje opisuje teorija

Dubinina i Raduškeviča, dok su odstupanja od Langmuirove teorije dosta velika.

Entalpija adsorpcije benzena na aktivnom uglju smanjuje se sa povećanjem zauzetosti površine. Entalpija ima negativnu vrednost, što znači da se adsorpcija smanjuje sa povećanjem temperature.

Literatura:

- [1] Neumann M. C., J. Chem. Educ., 53, 708 (1976).
- [2] Glasstone, S.: Udžbenik fizičke hemije, prevod, Naučna knjiga, Beograd, 1967.
- [3] Gerasimov, I. J.: Kurs fizičkog hemii, Himija, Moskva, 1964.
- [4] Kiseljev, A. V., Dreving, P. V.: Eksperimentalne metode v adsorpciji i molekularnoj hromatografiji, Moskovskoj univerzitet, Moskva, 1973.
- [5] Keljcev, N. V.: Osnovi adsorpcionoj tehniki, Himija, Moskva, 1976.
- [6] Atkinson, D., J. Chem. Educ., 55, 565 (1978).

Dr Vladimir Vujičić,
pukovnik, dipl. inž.
Tehnička uprava GŠ VJ.
Beograd

ZAŠTITA METALA OD ATMOSFERSKE KOROZIJE

UDC: 620.197-034

Rezime:

U radu su opisani postupci zaštite metala od atmosfertske korozije. Zaštita se može postići izborom metala, legiranjem, određenim konstrukcionim merama, zaštitnim prevlakama i obradom korozione sredine.

Ključne reči: korozija metala, zaštita metala, legiranje, metalne prevlake, neorganske prevlake, organske prevlake, premazi, zaštitna ulja, zaštitne masti, zaštitni solventi, odvlaživanje, inhibitori korozije.

METAL PROTECTION AGAINST ATMOSPHERIC CORROSION

Summary:

The procedures of metal protection against atmospheric corrosion are described in this paper. The protection can be achieved by choice of metals, alloying, some structural measures, protective coatings and the treatment of corrosion environments.

Key words: metal corrosion, metal protection, alloying, metal coatings, inorganic coatings, organic coatings, paints and varnishes, protective oils, protective greases, protective solvents, dehumidification, corrosion inhibitors.

Uvod

Atmosferskoj koroziji podležu sve metalne konstrukcije koje su u kontaktu sa atmosferom, kao što su mostovi, automobili, avioni, železnički vozni park, TMS u vojsci, postrojenja hemijske, metalurške i naftne industrije, poljoprivredne mašine, dalekovodi, rudarska i druga oprema. To je oblik elektrohemijske korozije koja se odvija ispod tankog sloja vlage na površini metala u prisustvu kiseonika i drugih agensa [1].

Štete od atmosfertske korozije su ogromne, i mogu se smanjiti samo pravovremenom i pravilno izvedenom zaštitom.

Zaštita metala od atmosfertske korozije može se postići na nekoliko načina, a postupci zaštite zasnivaju se na smanjenju afiniteta metala prema koroziji i povećanju otpora koroziji. Zato je neophodno poznavati mehanizme korozivnih procesa, bez kojih se ne može izvršiti pravilan izbor metode zaštite, niti se izabrana metoda može efikasno primeniti.

Postupci zaštite metala od atmosfertske korozije

Prema načinu izvođenja, zaštita od atmosfertske korozije može se postići:

- izborom metala,
- racionalnom konstrukcijom,
- legiranjem,
- zaštitnim prevlakama,
- obradom korozivne sredine.

Izbor konstrukcionog metala

Osnovni nedostatak najvažnijih tehničkih metala je, upravo, njihova sklonost prema koroziji. Gotovo svaki metal od konstrukcione vrednosti podložen je koroziji na vazduhu, pa je potrebno da se provede određeni postupak zaštite.

Pri izboru konstrukcionih metala, pored ekonomskih i mehaničkih kriterijuma, moraju se uzeti u obzir i korozivna svojstva, i to na osnovu podataka iz literature, rezultata laboratorijskih, terenskih i pogonskih ispitivanja i praktičnih iskustava. U principu, za konstrukcione metale treba odabrati one koji su korozivno otporni u predviđenim uslovima primene, odnosno one čija se korozija može smanjiti odgovarajućim postupcima zaštite.

Ukoliko se u nekoj konstrukciji ili opremi moraju kombinovati razni metali, odnosno legure koje će biti u kontaktu, mora se izbegavati kontakt dva metala koji imaju veliku međusobnu razliku potencijala; na primer, kontakt anodnog cinka, aluminijuma i ugljeničnog čelika s katodnim bakrom ili mesingom. U slučajevima kada je takav kontakt neizbežan, za katodne metale se moraju odabrati oni koji imaju visoku prenapetost za redukciju kiseonika, a za anodne oni koji se pod istim okolnostima pasiviraju [2].

Pri izradi konstrukcije ili opreme od raznorodnih metala treba se pridržavati i principa prema kojem površine anodnih metala moraju biti znatno veće od površine katodnih metala. Ukoliko je anodna površina znatno manja od katodne dolazi do intenzivne korozije anodnog metala i to neposredno uz granicu dodira. Takva korozija je karakteristična za limove spojene pomoću zakivka ili vijka od anodnog metala ili za metale koji su spojeni zavarivanjem elektrodom koja je elektrohemijski negativnija od osnovnog metala.

S obzirom na to da kontakt dva metala utiče na povećanu koroziju manje plemenitog metala, treba izbegavati dodir metala sa metalom koji intenzivno korodira. Ako je to nemoguće, kontaktna mesta moraju se izolovati nemetalnim materijalom. Međutim, i pri izboru izolacionog materijala mora se voditi računa o njegovom kvalitetu, veličini i načinu postavljanja. Pre svega, izolacioni materijal ne sme sadržavati agresivne sastojke, o čemu se u praksi često ne vodi računa. Isto tako, izolacioni materijal ne sme biti ni većih dimenzija, jer će prouzrokovati skupljanje i zadržavanje vlage i raznih nečistoća.

Racionalnost konstrukcije

Korozija se može usporiti, a u nekim slučajevima i potpuno sprečiti raznim konstrukcionim i tehnološkim merama, tj. iznalaženjem najpovoljnijeg oblika elementa konstrukcije [3, 4]. Naravno, te mere moraju se uskladiti s funkcionalnim, estetskim i ekonomskim zahtevima.

Nepravilno konstruisanje prouzrokuje koroziju i dovodi do izbacivanja iz upotrebe veoma skupih uređaja i opreme, pa se, radi zaštite metala od

atmosferske korozije, preduzimaju određene mere još u fazi projektovanja.

Konstrukcije jednostavnijeg oblika manje su podložne koroziji, jer omogućavaju sakupljanje vode i nečistoća, odnosno omogućavaju oticanje vode i brzo sušenje. Ako dolazi do

nja i obnove premaza i drugih prevlaka, čišćenja i podmazivanja, popravke i zamene delova.

Zaštita legiranjem

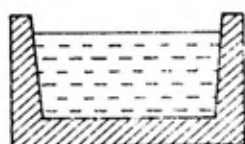
Na koroziju metala može se uticati promenom njegovog sastava, i to legiranjem ili rafinacijom.

Legiranje se sprovodi radi povećanja korozione postojanosti metala i dobijanja određenih mehaničkih i fizičkih osobina. Razlikuje se nisko i visoko legiranje. Pri niskom legiranju u leguri se nalazi do 5% jedne ili više legirajućih komponenata, a pri visokom legiranju sadržaj legirajućih komponenata je veći od 5%. U te komponente ne spadaju elementi koji su pratioci metala, kao što je to slučaj sa ugljenikom kod gvožđa.

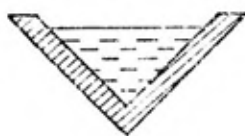
U korozivnom pogledu legiranje može biti nepovoljno ako je njegova svrha poboljšanje mehaničkih ili drugih osobina metala, i povoljno ako legirajuća komponenta metala smanjuje termodinamičku nestabilnost legure ili usporava anodnu, odnosno katodnu reakciju.

Postojanost manje plemenitih metala može se povećati legiranjem sa znatnom količinom termodinamički stabilnijih metala, koji pri dejstvu agensa korozije stvaraju zaštitni sloj. Ovaj postupak ima ograničenu primenu zbog većih količina skupe legirajuće komponente i nemogućnosti stvaranja homogene legure sa većim sadržajem hemijski otporne legirajuće komponente u obliku čvrstih rastvora.

Rafinacijom se odstranjuju katodne primese, odnosno smanjuje se sadržaj elemenata pratioca, pa se povećava mogućnost stvaranja kompaktnog pasivnog sloja. Tako je, na primer, rafinirani aluminijum, čistoće 99,99% skloniji pasiviranju od aluminijuma



a)



b)



c)



d)

Sl. 1 — Prednosti i nedostaci konstrukcije
a) i b) — nedostatak zbog zadržavanja vode,
c) i d) — prednost zbog izrade otvora ili
promene položaja konstrukcije

zadržavanja vode potrebno je napraviti otvore za njeno oticanje ili promeniti položaj metalnog dela (slika 1).

Pravilnim izborom oblika i položaja elemenata na nekoj opremi ili konstrukciji omogućuje se pristup svim površinama radi: vizuelnog pregleda i drugih vrsta kontrole, nanoše-

čistoće 99,5%, jer je rafinacijom uklonjeno gvožđe koje je vrlo aktivno kao katoda korozivnog sprega.

Zaštitne prevlake

Zaštita metala slojem (prevlakom) nekog drugog materijala najpoznatija je i najraširenija metoda zaštite od korozije. Za sve prevlake je karakteristično da štite metal od korozije na taj način što ga izoluju od agresivnog dejstva okoline. Zaštita se postiže pomoću prevlaka koje nisu porozne i koje potpuno prekrivaju metal.

Zaštitne prevlake mogu biti metalne, neorganske i organske.

U zavisnosti od zaštitnih svojstva metalne prevlake mogu biti katodne i anodne. Katodne prevlake su bolje samo kada su potpuno kompaktne. U protivnom, one ne pružaju zaštitu na oštećenim mestima ili na mestima gde se nalaze pore. Poroznost je osnovni ne-

dostatak nekih metalnih prevlaka, jer omogućavaju stvaranje mikrokorozivnih spregova.

Do korozije u porama dolazi kod čeličnih predmeta zaštićenih prevlakom od hroma. Na površinama takvih predmeta javljaju se tačkice korozije koje kvare izgled i narušavaju tanak zaštitni sloj hroma. Posledica korozivnog napada je ljuštenje prevlake. Međutim, ponekad dolazi do usporavanja korozije čelika zaštićenog hromnom prevlakom. Rđa koja tada nastaje može da začepi pore, pa je proces korozije sporiji (slika 3a).

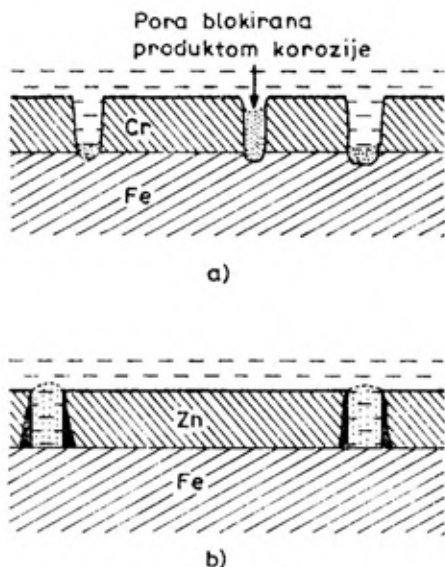
Anodne prevlake su efikasnije od katodnih, jer njihova poroznost ili oštećenje ne dovodi do korozije osnovnog metala, kao kod čelika zaštićenog prevlakom od cinka. Cink je elektro-negativniji od gvožđa pa korodira, dok je gvožđe zaštićeno (slika 2b).

Neke metalne prevlake nisu porozne kao što su prevlake dobijene oblaganjem. Značajna je primena aluminijumskih žica obloženih bakrom radi prenosa naelektrisanja.

Neorganske prevlake predstavljaju opnu ili sloj odgovarajućeg hemijskog jedinjenja na površini metala, koji se može formirati mehaničkim i hemijskim putem. Prevlake dobijene mehaničkim putem slabije prijanjaju za osnovni metal, pa nemaju veći značaj za zaštitu metala. Tu spadaju emajlne i betonske prevlake.

Neorganske prevlake koje se dobijaju hemijskim putem nastaju reakcijom između metala i komponenata okoline. Osnovni postupci za formiranje hemijskih prevlaka su termički, hemijski i elektrohemijski, a izbor najpovoljnijeg postupka zavisi od vrste osnovnog metala i željenih osobina prevlake, kao što su debljina, poroznost, boja, itd.

Debljina prevlake može se menjati prema nameni, a diktira je željeni tip i tehnologija njenog stvaranja. Za



Sl. 2 — Sematski prikaz korozije metala
a) — ispod katodne prevlake, b) — ispod anodne prevlake

samostalnu zaštitu potrebne su deblje prevlake, a ako služe kao podloga za premaze mogu biti i tanje.

Neorganske prevlake su porozne, ali se naknadnom obradom u vrućoj vodi (za prevlake od aluminijuma) ili uz dodatak nekih soli poroznost smanjuje. Naknadna obrada obuhvata i nanošenje raznih premaznih sredstava (ulja, masti) radi popunjavanja pora [5].

Za zaštitu od atmosferske korozije primenjuju se oksidne, fosfatne i hromatne prevlake. Od oksidnih prevlaka praktičan značaj imaju one koje se formiraju na čeliku, bakru i aluminijumu. Oksidne prevlake na čeliku najčešće se dobijaju hemijskim postupkom — bruniranjem. Postupak se sprovodi radi smanjenja refleksije svetlosti (na metalnim delovima naoružanja) radi dekoracije i dobijanja podloge za nanošenje organskih prevlaka. Bruniranjem se dobijaju vrlo tanke prevlake (debljine ispod 10 μm), koje su, uz to, vrlo porozne i postojeane samo u suvoj atmosferi. Zbog toga se brunirane površine dodatno zaštićuju nanošenjem zaštitnih ulja, zaštitnih masti ili premaznih sredstava.

Oksidne prevlake na bakru i mesingu imaju, kao primarni cilj, dekorativne efekte, a kao sekundarni — zaštitu od atmosferske korozije. Oksidne prevlake na aluminijumu stvaraju se radi povećanja otpornosti prema koroziji i postizanja nekih drugih efekata.

Fosfatne prevlake su korozivno postojanije od bruniranih i znatno smanjuju koroziju čelika, cinka, aluminijuma i magnezijuma.

Debljina fosfatnih prevlaka kreće se od 1 do 20 μm . Zaštitna moć raste sa povećanjem debljine, jer time opada poroznost koja iznosi od 0,1 do 0,15%. Fosfatni sloj zbog poroznosti ne pruža potpunu zaštitu od korozije u uslovima

visoke vlažnosti i zagađenosti vazduha. Radi zaštite metala u takvim sredinama prevlake se premazuju uljima, mastima ili lakovima, pa pružaju odličnu zaštitu od atmosferske korozije, koja se može uporediti sa nekim metalnim galvanskim prevlakama.

Hromatne prevlake sastoje se od trovalentnih i šesterovalentnih jedinjenja hroma i osnovnog metala. Nanose se, najčešće, na aluminijum, magnezijum, cink i kadmijum radi povećanja njihove korozivne postojanosti ili dekoracije zbog ujednačenog izgleda prevlake.

Hromatne prevlake karakteriše mala debljina od 0,1 do 1 μm . Ukoliko treba da služe kao samostalna zaštita od korozije, naknadno se obrađuju radi smanjenja poroznosti. Inače, služe kao dobra podloga za premaze. Boja prevlake kreće se od bezbojne (providne), preko žute i maslinaste do zelene, a zavisi od debljine, vrste osnovnog metala i sastava prevlake.

Zaštita metalnih površina organskim prevlakama je najrasprostranjeniji postupak zaštite. Procenjuje se da je 3/4 ukupnih metalnih površina zaštićeno ovim prevlakama, a za neke površine to je nezamenljiv način zaštite.

Organske prevlake mogu biti na bazi premaznih sredstava i zaštitnih ulja, masti i solvenata.

Pod premaznim sredstvima podrazumevaju se zaštitna sredstva u tečnom stanju koja, nakon nanošenja i sušenja, stvaraju zaštitni sloj na površini predmeta. Svrha premaza je da površinu predmeta izoluju od spoljnih faktora i na taj način je zaštite od korozije. Premazna sredstva sadrže pigmente koji aktivno potpomažu zaštitu, a dodaju se u osnovne premaze kako bi bili u što neposrednijem kontaktu sa metalom. Pigmenti mogu imati pasivirajuće, inhibitorsko, neutralizaciono i protekorno dejstvo [6].

Ne postoji idealan premaz koji bi zadovoljio sve postavljene zahteve, pa se na površinu nanosi nekoliko prema-za čije su uloge različite, a čija zajed-nička svojstva donekle odgovaraju svojstvima idealnog premaza.

Prema nameni i redosledu nano-šenja premazi mogu biti osnovni i po-krivni, tako da čine jedinstveni zaštit-ni sistem. Oba premaza nanose se u više slojeva, a način nanošenja zavisi od vrste zaštitnog sredstva i od površi-ne koju treba zaštititi.

Zaštitna ulja su izrađena na bazi visokomolekularnih ulja kojima odre-đeni aditivi poboljšavaju zaštitna svoj-stva. Primenuju se za kratkoročnu i međuoperacijsku zaštitu. Na površini predmeta stvaraju zaštitne slojeve ko-ji su nesusivi, tanki i neotporni prema bilo kakvom mehaničkom oštećenju. Prednost njihove primene jeste u nis-koj nabavnoj ceni, lakom stvaranju za-štitnog sloja i u jednostavnom i brzom uklanjanju, kada se za to ukaže potre-ba.

Pored zaštitnih ulja za opštu upo-trebu proizvode se i specijalna ulja za unutrašnju zaštitu, na primer, motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Ta ulja imaju pojačano svojstvo adhezije, spo-sobnost neutralizacije kiselina i kiselih gasova iz produkata sagorevanja i do-bra mazivna svojstva, tako da se ko-riste i kao radna motorna ulja. Njiho-va upotreba je neophodna kada motor nakon rada ostaje duže vreme van eks-ploatacije.

Postoje i specijalna ulja koja sa površine predmeta uklanjaju vlagu, što olakšava rad pri zaštiti, jer ne zahteva prethodno sušenje predmeta. Ova za-štitna sredstva pružaju zaštitu do go-dinu dana.

Zaštitne masti su vazelini i konzi-stentne masti za podmazivanje koje sadrže antikorozivne aditive. Za razli-ku od zaštitnih ulja, zaštitne masti

stvaraju deblje slojeve koji obezbeđu-ju sigurnu zaštitu u lošijim uslovima skladištenja. Primenuju se, prvenstve-no, za zaštitu površina koje i pri eks-ploataciji koriste analogna sredstva, tako da ih u većini slučajeva nije po-trebno uklanjati po isteku vremena za-štite.

Zaštitni solventi su rastvori zaštit-nih ulja i masti u lakoisparljivom or-ganskom rastvaraču. U zavisnosti od sa-stava daju mekše ili tvrde zaštitne slo-jeve, koji su postojani i dobro prijanja-ju za površinu metala, pa se primenu-ju za dugoročnu zaštitu. Debljina stvo-renog sloja zavisi od načina nanošenja i viskoziteta zaštitnog sredstva. Zaštit-na ulja daju veoma tanke slojeve, de-bljine do 0,025 mm, a zaštitne masti i zaštitni fluidi nešto deblje slojeve.

Zaštitna ulja, masti i solventi ne smeju doći u dodir sa vodom, gume-nim delovima i organskim premazima. Zaštita traje od nekoliko meseci za sredstva uljnog tipa, do 10 godina za sredstva na bazi zaštitnih masti i za-štitnih solvenata. Vreme zaštite se pro-dužava naknadnim pakovanjem zašti-ćenih sredstava.

Termoplastična masa namenjena je za zaštitu pojedinačnih metalnih predmeta fino obrađenih površina. U-potrebljava se za dugoročnu zaštitu u nepovoljnim uslovima skladištenja i transporta gotovih proizvoda metalne industrije, kao što su rezni i ručni ala-ti, rezervni delovi, hirurški instrumen-ti, itd. Termoplastična masa stvara pro-vidan sloj žućkaste do svetlomrke boje koji je nepropustan za vlagu i ostale gasove. Zaštita termoplastičnom ma-som je privremena, mada po vremenu trajanja može biti i trajna. Međutim, pošto se zaštitni sloj lako skida i bez upotrebe pomoćnih sredstava, (rastva-rača) ovaj postupak spada u privreme-nu zaštitu.

Osnovni nedostatak primene ter-moplastične mase je u visokoj ceni ma-terijala i visokoj radnoj temperaturi

stvaranja zaštitnog sloja. Postupak se primenjuje samo za zaštitu manjih delova jednostavnih konstrukcija, na čijim površinama nema prevlaka od organskih premaza.

Obrada korozivne sredine

Zaštita metalnih predmeta od atmosfere korozije može se postići smanjenjem agresivnosti atmosfere, odnosno stavljanjem predmeta u hermetičnu ambalažu ili u omote od metalne i plastične folije, uz dodatnu obradu korozivne sredine.

Najbolja hermetičnost postiže se pomoću metalne i plastične ambalaže — kontejnera, ali zbog velike mase i cene ova ambalaža ima ograničenu primenu. Neka TMS imaju metalno ili plastično kućište, pa se hermetičnost postiže postavljanjem gumi-gita ili samolepljive trake na preklopu sanduk — poklopac ili na otvore TMS. Od metalnih folija, praktičnu primenu ima aluminijumska folija, debljine 0,1 mm, jer ne propušta vlagu. Međutim, zbog visoke cene se ređe koristi.

Za postizanje hermetičnosti oko TMS najviše se primenjuju plastične folije na bazi polietilena, polipropilena, polivinilhlorida i poliuretana. Navedeni materijali primenjuju se u kombinaciji, čime se znatno poboljšavaju zaštitne osobine omotača. Takve folije nazivaju se dupleks-folije. Od njih se, prema odgovarajućem šablonu, režu komadi za izradu navlake prema veličini sredstva koje treba hermetizovati, a spajaju se aparatom za zavarivanje.

Nedostatak plastičnih folija jeste što u određenom stepenu propuštaju vodenu paru, a podložne su i oštećenju.

Nakon hermetizacije agresivna sredina je ograničena na prostor koji se nalazi između omotača i predmeta. U tom prostoru nalaze se neznatne količine kiseonika, vodene pare i drugih

agensâ koji omogućavaju odvijanje atmosfere korozije. Zbog toga se korozivna sredina obrađuje: primenom inertnog gasa, primenom inhibitora i odvlaživanjem.

Zaštitna atmosfera ostvaruje se pomoću plemenitih gasova, u prvom redu argonom i azotom. Gasovi moraju biti očišćeni od vlage, kiseonika i drugih primesa. Ovaj postupak zaštite najčešće se primenjuje pri zaštiti TMS koja se nalaze unutar metalne ambalaže.

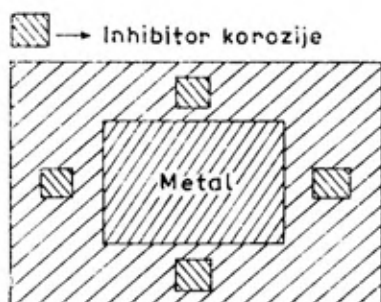
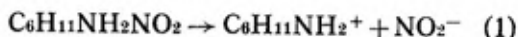
Inhibitori korozije su materije koje pod određenim uslovima smanjuju ili potpuno zaustavljaju koroziju metala a mogu biti neisparljivi i isparljivi.

Neisparljivi (kontaktni) inhibitori moraju se nanositi direktno na površinu metala ili na površinu materijala kojim se metal obavlja. Najčešće se primenjuju za međuoperacijsku zaštitu, koja se obavlja potapanjem predmeta u vodeni rastvor inhibitora. Nakon sušenja na površini predmeta formira se pasivni sloj sa visokim zaštitnim svojstvima. Kao predstavnik neisparljivih inhibitora može se uzeti NaNO_2 .

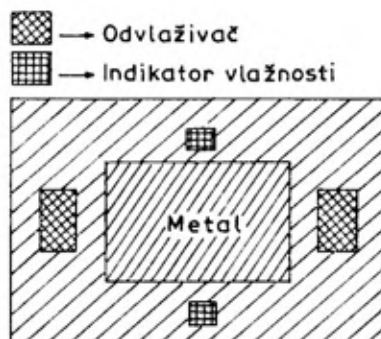
Veći značaj za zaštitu od atmosfere korozije imaju isparljivi inhibitori. Najčešće su to organska jedinjenja na bazi nitrata, amina, benzoata, hromata i hidrogenkarbonata. Ova jedinjenja odlikuju se visokim naponom pare, što znači da na sobnoj temperaturi isparavaju (sublimiraju) u atmosferu koja ih okružuje (slika 3). Na taj način dospevaju na sve površine metala, stvarajući pasivni sloj [7, 8]. Isparljivi inhibitori mogu se upotrebiti u obliku praha, tableta ili kao impregnirani materijali za oblaganje i pakovanje (papir, karton, sunder i folija). Prah inhibitora najčešće se raspršuje po površini predmeta, a tablete postavljaju na određena mesta u okviru hermetičnog pakovanja, dok se impregni-

rani materijali koriste za oblaganje predmeta, pri čemu se inhibirana strana materijala okreće prema metalu. Bez obzira na način primene, potrebna količina inhibitora iznosi oko 20 g/m³ zapremine hermetičnog prostora.

Donedavno se za zaštitu od atmosfere korozijske najviše primenjivao inhibitor na bazi nitrita — dicikloheksilamonijumnitrit, koji je na tržištu poznat kao VPI-260. Ovaj inhibitor pruža zaštitu u uslovima niske i srednje relativne vlažnosti, dok u uslovima visoke vlažnosti, kada na površini metala dolazi do orošavanja ili formiranja kapljica vode, deluje kao aktivator korozijske. Zaštitno dejstvo zasniva se na hidrolizi molekula inhibitora, pri čemu se stvara nitritjon, koji pasivira metalnu površinu:



a)



b)

Sl. 3 — Šematski prikaz zaštite metala
a) — pomoću inhibitora korozijske, b) — pomoću odvlaživača

Nedostatak primene dicikloheksilamonijumnitrita je u tome što štiti samo crne metale, uključujući niklene i hromne prevlake, pa ima ograničenu primenu. Za zaštitu crnih i obojenih metala upotrebljavaju se inhibitori na bazi hromata i hidrogenkarbonata.

Odvlaživači ili desikatori su zrnaste, porozne materije koje se odlikuju visokom higroskopnošću, tj. visokom sposobnošću upijanja vode, odnosno vodene pare. U uslovima 100% relativne vlažnosti odvlaživači mogu upiti preko 60% vlage od svoje mase, dok je u uslovima manjih vlažnosti sposobnost upijanja manja [9].

Odvlaživači imaju veoma povoljne fizičko-hemijske karakteristike koje omogućavaju da se više puta mogu regenerisati. Regeneracija se obavlja u etažnim sušnicama pri temperaturi od 120 do 160°C. Pakuju se u platnene vrećice različitih dimenzija, tako da u njih može stati 50, 100, 250, 500 grama ili nekoliko kilograma. Unutar hermetičkog prostora odvlaživač smanjuje relativnu vlažnost na vrednost pri kojoj ne dolazi do korozijske (slika 4). Da bi se to ostvarilo on treba da adsorbuje vlagu koja se nalazi u pakovanju u trenutku zatvaranja, vlagu koja prolazi kroz materijal kojim je izvršena hermetizacija i vlagu iz materijala za jastučenje ili popunu prostora.

Količina odvlaživača [2, 10] koja je potrebna za zaštitu bilo koje opreme u nekom hermetičkom pakovanju ili prostoru može se odrediti na osnovu:

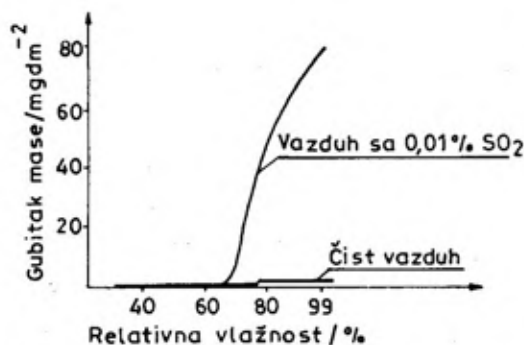
- koeficijenta propustljivosti vodene pare materijala za hermetizaciju,
- površine materijala za hermetizaciju,
- ukupne zapremine hermetičkog prostora,
- higroskopnosti materijala za popunu prostora,
- vremena trajanja zaštite,

— količine materijala za popunu prostora,

— sposobnosti odvlaživača da upija vlagu.

Stanje vlažnosti unutar hermetičnog pakovanja prati se pomoću indikatora vlažnosti na bazi kobalthlorida (CoCl_2). Ovaj indikator menja boju od intenzivno plave kada je suv, do crvene kada je vlažan. Prelaz od svetloplave do ružičaste boje odvija se pri relativnoj vlažnosti sredine od oko 40%. Ružičasta i crvena boja kobalthlorida pokazuje da je relativna vlažnost vazduha veća od 40%, što znači da treba proveriti hermetičnost pakovanja i zameniti odvlaživač, jer su stvoreni povoljni uslovi za koroziju metala.

Kobalthloridom se, najčešće, impregnira bela pamučna tkanina ili beli karton, od kojih se izrezuju trake veli-



Sl. 4 — Uticaj relativne vlažnosti i aerozagađenja na brzinu atmosferske korozije čelika

čine 30 x 50 mm, koje se nakon sušenja do upotrebe čuvaju u hermetičkim posudama.

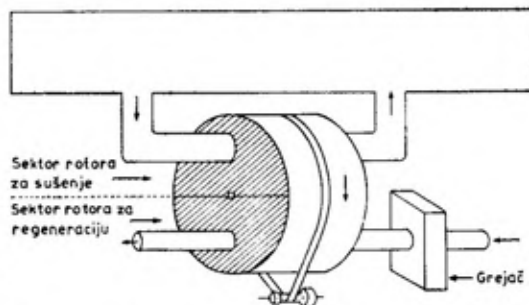
Indikator vlažnosti postavlja se na vidljivo mesto, koje je najudaljenije od mesta gde se nalaze vrećice sa odvlaživačem (slika 4). U okviru jednog pakovanja može se postaviti više indikatora vlažnosti. Indikatori vlažnosti i

odvlaživači zamenjuju se kada se uoči crvenkasta boja indikatora.

Pored statičkog načina odvlaživanja, postoji i dinamičko odvlaživanje, gde se adsorpcija vlage vrši u rotirajućem adsorpcionom kolu — rotoru (slika 5). Rotor je od vatrootpornog materijala, a sastoji se od mnoštva koaksijalnih kanalića sa glavnom osovinom, koji mu daju površinu od 3000 m²/m³ mase. Vatrootporni materijal je impregniran odgovarajućim odvlaživačem.

Prilikom okretanja rotor »prolazi« kroz sekciju za odvlaživanje usisnog vazduha i kroz sekciju za regeneraciju odvlaživača [2, 11]. U sekciji za odvlaživanje vrši se adsorpcija vlage, a u sekciji za regeneraciju vlaga se oslobađa iz odvlaživača. Nakon regeneracije adsorpciona masa ponovo preuzima vlagu. Oba procesa: adsorpcija vlage i regeneracija odvijaju se istovremeno, čime se ostvaruje kontinuirano odvlaživanje vazduha. Na taj način u skladišnom prostoru stvara se odgovarajuća mikroklima koja ima nisku relativnu vlažnost i sprečava odvijanje elektrohemijske korozije.

Rad agregata može se automatizovati, tako da se uključuje kada vlažnost naraste iznad zadane vrednosti, odnosno isključuje kada vlažnost padne ispod te vrednosti. U praksi se, istovremeno, može primeniti nekoliko ag-



Sl. 5 — Šematski prikaz rada agregata za dinamičko odvlaživanje

regata za održavanje željene relativne vlažnosti u prostorima i prostorijama od nekoliko m³ do nekoliko hiljada m³. Na taj način može se ostvariti zaštita različite opreme.

Zaključak

Atmosferska korozija može se usporiti ili sprečiti izborom metala, legiranjem i odgovarajućim konstrukcionim merama, stvaranjem zaštitnih prevlaka i obradom korozivne sredine.

Pogodnim konstrukcionim merama moguće je sprečiti zadržavanje vode i izbeći kontakt plemenitijeg sa manje plemenitim metalom, kontakt metala sa drvetom, gumom, tekstilom i kožom. U slučajevima kada je takve spojeve nemoguće izbeći potrebno je izolovati dodirne površine.

Stvaranje metalnih, neorganskih i organskih prevlaka najrasprostranjeniji je način zaštite metala od atmosferske korozije. Prevlake moraju biti kompaktne, bez pora, nepropusne za vodenu paru i ostale gasove. Za samostalnu zaštitu najređe se primenjuju neorganske hemijske prevlake, jer su porozne. Međutim, kada se naknadno obrade uljima, mastima i premaznim sredstvima, one pružaju odličnu zaštitu od atmosferske korozije.

Obrada korozivne sredine obavlja se postavljanjem opreme u hermetička pakovanja, čime se dejstvo agensa korozije ograničava na mali prostor. U takvom prostoru dodatna zaštita može se izvršiti pomoću isparljivih inhibitora, ubacivanjem argona ili azota i uklanjanjem vodene pare statičkim ili dinamičkim odvlaživanjem.

Literatura:

- [1] Vujičić, V.: Atmosferska korozija metala u uslovima aerozagađenja, VTG, 2(1996)156.
- [2] Vujičić, V.: Korozija i zaštita metala, CVS VJ, 1994.
- [3] Esli, I., Dugi, Z.: Tehnologija zaštite od korozije, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [4] Mladenović, S.: Korozija metala u fazi projektovanja i zaštita od nje, 14. Savetovanje, Zaštita materijala oblaganjem, metalnim i konverzionim prevlakama, Savez inženjera i tehničara za zaštitu materijala Srbije, Beograd, 1993.
- [5] Milenković, M., Mladenović, S., Vučković, I.: Korozija i zaštita, Tehnička knjiga, Beograd, 1966.
- [6] Mladenović, S., Petrović, M., Rikovski, G.: Korozija i zaštita materijala, IRO, Rad, Beograd, 1985.
- [7] Robinson, D. S.: Inhibitori korrozije, Metallurgija, Moskva, 1983.
- [8] Rozenfeld, I. L.: Inhibitori korrozije, Izdatel'stvo Himija, Moskva, 1977.
- [9] Vujičić, V.: Ispitivanje uslova za određivanje higroskopnosti silikagela u vlažnom vazduhu, Zaštita materijala, 2(1994)50, Zaštita materijala, 1994.
- [10] Donovan, P. D.: Protection of metals from corrosion in storage and transit, John Wiley and sons, New York, 1986.
- [11] Vujičić, V.: Odvlaživanje kao postupak zaštite od atmosferske korozije, VTG, 4(1994)447.

Zdravko Marjanović,
potpukovnik, dipl. inž.
VP 8115, Zemun

NOVI TEHNIČKI PROPISI I STANDARDI O GROMOBRANSKOJ ZAŠTITI

UDC: 621.316.933:006

Rezime:

U članku je dat kratak prikaz nastanka atmosferskih pražnjenja, efikasnost i nivo zaštite, karakteristične veličine, kao i novi propisi i standardi za projektovanje, izvođenje, održavanje i verifikaciju gromobranskih instalacija objekata opšte namene.

Ključne reči: atmosfersko pražnjenje, udar groma, udarno rastojanje, nivo zaštite, štice zona, prihvatni sistem, štapna hvataljka, spusni vodovi, uzemljivački sistem.

NEW TECHNICAL REGULATIONS AND STANDARDS ABOUT LIGHTNING PROTECTION

Summary:

In this paper the lightning phenomenon, efficiency and level of protection are given in a brief form. The new regulations and standards for projecting, installation and verification of lightning installation of general purpose objects also presented.

Key words: atmospheric discharge, lightning stroke, breakdown distance, level of protection, protection area, air terminals, down conductors, earthing system.

Uvod

Za atmosfersko pražnjenje uobičajen je termin grom ili munja, mada grom predstavlja samo zvučni a munja svetlosni efekat atmosferskog pražnjenja. Zbog toga, iako je termin atmosfersko pražnjenje najpravičniji, u upotrebi su i dalje stari termini kao što su gromobranska instalacija, udar groma, i sl.

Atmosfersko pražnjenje ugrožava okolinu, izaziva požare i oštećuje objekte. Ono može izazvati paniku, eksploziju i ispuštanje opasnih supstanci, kao što su radioaktivni materijal, he-

mijski agensi, otrovne supstance i biološki zagađivači (bakterije i virusi). Posebno su štetne posledice atmosferskih pražnjenja u elektroenergetske, telekomunikacione i računarske sisteme.

Radi smanjivanja posledica atmosferskih pražnjenja, projektuje se i izvodi odgovarajuća zaštita — gromobranska instalacija. Međutim, treba imati u vidu da ona ne može sprečiti nastanak atmosferskog pražnjenja, ali projektovana i izvedena u skladu sa propisima i standardima, znatno smanjuje rizik oštećenja izazvanih udarom groma u štice objekat.

U Službenom listu SRJ 11/96 objavljen je Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu objekata od atmosferskog pražnjenja (Pravilnik), koji propisuje tehničke normative za projektovanje, izvođenje, verifikaciju i održavanje gromobranskih instalacija za zaštitu objekata od atmosferskih pražnjenja. On se primenjuje na objekte opšte namene, čija visina ne prelazi 60 m, a pripadaju kategoriji opštih objekata [10].

Ovaj Pravilnik se ne primenjuje na objekte kao što su železnička postrojenja i instalacije van objekata, elektroenergetska postrojenja i mreže van objekata, instalacije telekomunikacija van objekata, kao i druge objekte specijalne namene — vozila, brodove, vazduhoplove i platforme na moru.

U Službenom listu SRJ 11/96 objavljen je i Pravilnik o Jugoslovenskim standardima za gromobranske instalacije, čiji su sastavni deo i pet standarda iz ove oblasti, objavljeni kao posebno izdanje Saveznog zavoda za standardizaciju.

Nastanak i vrste atmosferskih pražnjenja i karakteristične veličine

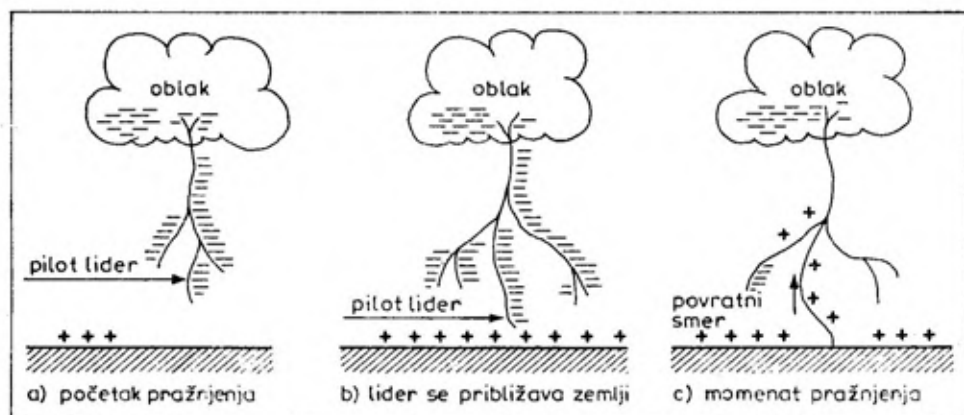
Prve teorije o munji nastale su u XVII veku i objašnjavale su grom kao pojavu koja nastaje padanjem višeg oblaka na niži, kada dolazi do sabijanja vazduha i povećanja temperature, uz pojavu bljeska i grmljavine. U XVIII veku munja je objašnjavana kao hemijski proces sagorevanja sumpornih i masnih isparenja sa Zemljine površine. Definitivno, polovinom XVIII veka utvrđena je električna priroda munje. Brojne teorije i hipoteze i danas nastoje da daju zadovoljavajuću sliku nastanka oluja i munja. Sve se slažu u tome da u uslovima dovoljne vlažnosti i brzih uzlaznih strujanja vaz-

duha postoji mogućnost za elektrizaciju kapljica vode i kristalića leda pri njihovom sudaranju i trenju o molekule vazduha, kao i zbog toga što se nalaze u električnom polju Zemlje. Sa makroskopskog stanovišta, oluje predstavljaju generatore statičkog elektriciteta koji pune veliki kondenzator čije obloge predstavljaju oblaci i površina Zemlje. Polarizacija naboja, kao i njihova separacija na pozitivno i negativno opterećenje u oblaku, nerazjašnjeni su do danas.

Kao posledica grupisanja elektriciteta u oblacima, javljaju se električna polja reda veličine 5—20 MV, pod čijim uticajem dolazi do pražnjenja između oblaka, zona unutar oblaka kao i između oblaka i Zemlje.

Na osnovu snimaka, dobijenih rotacionom kamerom, došlo se do zaključka da se atmosfersko pražnjenje obavlja u odvojenim uzastopnim udarima, u razmacima od nekoliko stotih delova sekunde, pri čemu se svaki naredni udar prostire trasiranim kanalom koji je jonizovan prethodnim udarom. Najraniji događaj — uvodno pražnjenje zove se lider ili silazni traser i on ima stepenastu formu. Pod dejstvom polja kreće se, prelazi određeni put i zastaje (sl. 1-a). Posle 30 do 100 μ s nastavlja put, prelazeći rastojanje od 50 do 100 m (sl. 1-b). Razlika u brzini prostiranja lidera i njegove efektivne brzine (računato sa pauzama) navela je na pretpostavku, a na osnovu registrovane promene jačine polja, o postojanju tzv. pilot-strimera ili uzlaznog traser (sl. 1-c) sa smerom od zemlje ka oblaku, koji vrši jonizaciju kanala kroz koji će se rasprostrti pomenuti silazni traser i izvršiti pražnjenje oblaka.

Kretanjem ka zemlji lider transformiše okolni vazduh u vrelu plazmu, a približivši joj se dolazi do glavnog pražnjenja sa velikim strujama čiji je red veličine nekoliko desetina kA. Usled visoke temperature u kanalu naglo



Sl. 1 — Pojava atmosferskog pražnjenja

se povećava pritisak vazduha koji do-
vodi do eksplozije i čuje se kao grm-
ljavina. Ekvivalentna šema glavnog
pražnjenja može se aproksimativno
predstaviti kao na sl. 2 gde je:

I_g — struja groma,

Z_g — talasna otpornost kanala li-
dera (oko 3000 Ω),

Z_u — udarna otpornost uzemljiva-
ča gromobranske instalacije,

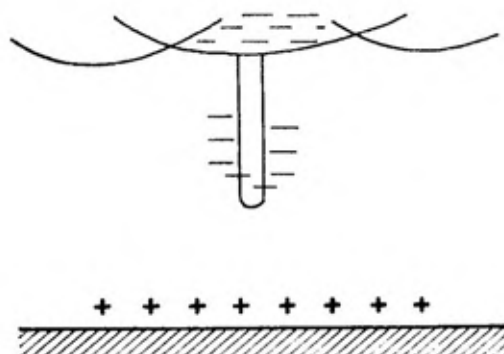
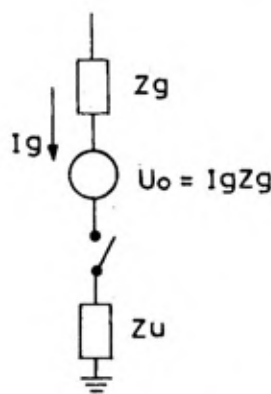
U_0 — potencijal glave lidera.

Kretanje čela silaznog trasera ka
zemlji može se predstaviti kao kreta-
nje fiktivne sfere poluprečnika R , koja

će u jednom momentu istovremeno do-
dirnuti objekat i površinu Zemlje, tj.
tačke jednake verovatnoće udara, iz
kojih će krenuti uzlazni traser. Na sl.
3 je, ilustracije radi, prikazan slučaj u
kome fiktivna sfera dodiruje štapnu
hvataljku (Franklinov štap) u tački A
i zemlju u tački B.

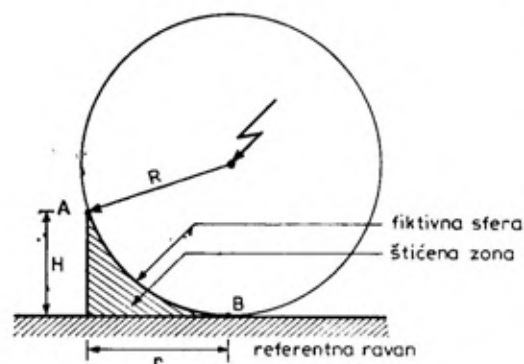
Prostor u osenčenom delu je šti-
ćena zona. Njen poluprečnik r (rasto-
janje od podnožja štapne hvataljke do
tačke B) se, za ovaj slučaj, može pro-
računati po obrascu:

$$r = \sqrt{H(2R - H)} \quad (m)$$



Sl. 2 — Ekvivalentna šema glavnog pražnjenja

Atmosferska pražnjenja mogu se podeliti u dve glavne grupe: pražnjenja tipa A i pražnjenja tipa B.



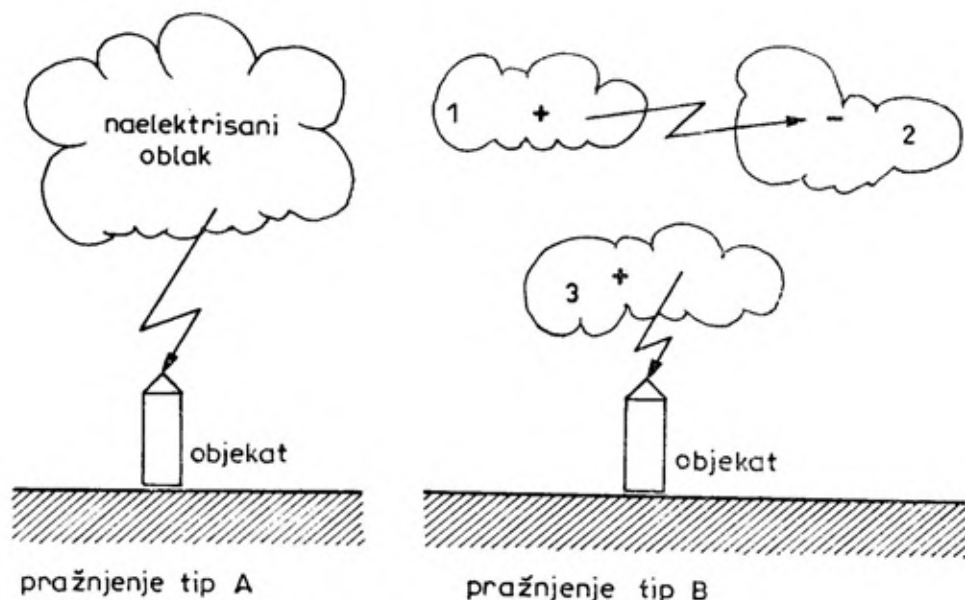
Sl. 3 — Predstavljanje čela silaznog trasera pomoću fiktivne sfere

U pražnjenju tipa A naelektrisani oblak indukuje elektricitet u visokim stacionarnim objektima na Zemlji. Indukovani elektricitet se koncentriše na samom vrhu objekta, zbog čega dolazi

do jonizacije okolnog vazduha i smanjenja njegove dielektrične čvrstoće. Na taj način se stvara pogodna putanja za atmosfersko pražnjenje, koje se vrši od oblaka ka vrhu tih objekata (slika 4).

Pražnjenje tipa B nastaje kada se u blizini zemlje nalaze tri ili više naelektrisanih oblaka. Neka su oblaci 1 i 3 naelektrisani pozitivno a oblak 2 negativno (slika 4). U slučaju da se oblak 1 približi oblaku 2 dolazi do pražnjenja između njih, ali i do istovremenog oslobađanja naelektrisanja oblaka 3 i njegovog pražnjenja prema zemlji. Pražnjenje oblaka 3 prema zemlji nastaje praktično trenutno, nezavisno od visine objekta.

Može se zaključiti da se posledice pražnjenja tipa A mogu smanjiti ako se na vrh objekta instalira prihvatni provodnik (deo gromobranske instalacije), koji je na drugom kraju uzemljen, dok se zaštita od pražnjenja tipa B ne može realizovati.



Sl. 4 — Vrste atmosferskih pražnjenja

Atmosfersko pražnjenje je aperiodična pojava, a sporadično zabeležena oscilatorna pražnjenja samo su posledica višestrukih refleksija u objektu ili oscilacija u mernim kolima. Registrovana su pozitivna i negativna pražnjenja nadole i nagore, ali statističko pojavljivanje negativnih pražnjenja nadole je najčešće i zato od najvećeg interesa.

Najvažniji parametri impulsa struje groma su:

— maksimalna vrednost struje groma I_g koja se kreće u granicama od 10 do 200 kA, i merodavna je za mehaničke efekte;

— strmina čela struje groma di/dt koja se kreće u granicama od 1 kA/ μ s do 100 kA/ μ s i merodavna je za proračun indukovanih napona;

— količina elektriciteta Q koja se kreće u granicama od 3 do 200 C, i merodavna je za termičke učinke pražnjenja.

Navedeni parametri zavise od geografskog položaja i nadmorske visine, u vezi sa čim su sačinjene i izokerauničke karte. To su posebne karte na kojima je upisan prosečan broj olujnih dana u godini, a koriste se u procesu projektovanja.

Efikasnost i nivo gromobranske zaštite

Gromobranska instalacija treba da zaštiti objekat od direktnog atmosferskog pražnjenja, kao i od sekundarnih uticaja pražnjenja. Spoznaje pokazuju da ne postoji apsolutna zaštita od groma, već da se može definisati samo određena efikasnost zaštite koja se proračunava i u relaciji je sa udarnim rastojanjem R , odnosno strujom groma i to preko izraza:

$$R = 10 \cdot I_g^{2/3} \quad (\text{m})$$

gde je I_g temena vrednost struje groma u kA.

Udarno rastojanje je rastojanje između vrha lidera koji se približava Zemlji i objekta na njoj, kada se, pod dejstvom količine elektriciteta u lideru, stvara kritično polje, zbog čega sa objekta ili Zemlje polazi pozitivan strimer, koji će se ubrzo spojiti sa negativnim liderom i dovesti do glavnog pražnjenja.

Pravilnik je uveo, kao novinu, određivanje efikasnosti gromobranske instalacije, čijim proračunom se može pokazati kakva gromobranska instalacija je potrebna za konkretni objekat, odnosno, može se pokazati da za obje-

Tabela 1

Veza nivoa zaštite, efikasnosti, rastojanja i struje pražnjenja

Nivo zaštite	Računska efikasnost	Rastojanje pražnjenja $R(\text{m})$	Struja pražnjenja $I_g(\text{kA})$
I sa dodatnim merama	$E > 0,98$		
I	$0,98 \geq E \geq 0,95$	20	2,8
II	$0,95 \geq E \geq 0,90$	30	5,2
III	$0,90 \geq E \geq 0,80$	45	9,5
IV	$0,80 \geq E \geq 0$	60	14,7

kat nije potrebno predviđati gromobransku zaštitu. Ona se definiše izrazom:

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

gde je:

N_c — procenjena srednja godišnja učestanost tolerisanih udara groma u objekat, koja zavisi od konstrukcije objekta, sadržaja objekta, broja ljudi, itd.,

N_d — srednja godišnja učestanost direktnih udara groma u objekat.

Proračun ovih parametara dat je u standardima [11], a veza efikasnosti zaštite i korespondirajućih nivoa zaštite, temene vrednosti struje groma i rastojanja pražnjenja prikazana je u tabeli 1.

Elementi gromobranske instalacije

Gromobranska instalacija je zaštitni sistem određene efikasnosti koju čine spoljašnja i unutrašnja gromobranska instalacija. Spoljašnja gromobranska instalacija ima zadatak da prihvati atmosfersko pražnjenje i da ga sprovede u zemlju, a unutrašnja gromobranska instalacija ima zadatak da umanjuje ili eliminiše sekundarne efekte pražnjenja.

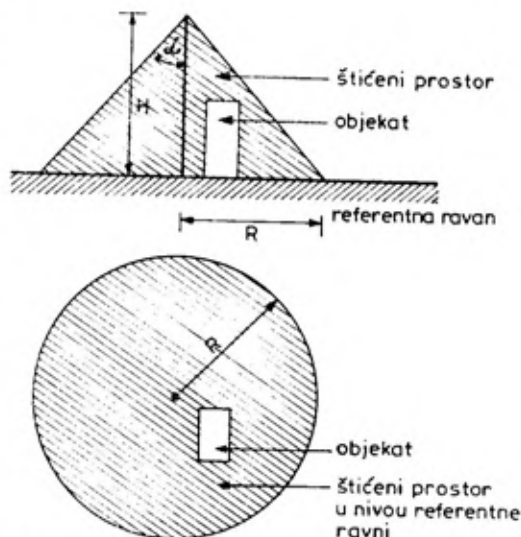
Spoljašnja gromobranska instalacija izvodi se kao izolovana ili neizolovana u odnosu na objekat. Izolovana je ona instalacija čiji prihvatni sistem i sistem spušnih vodova nemaju nikakav kontakt sa štićenim objektom. Najčešće je čine stubovi raspoređeni oko objekta ili mreža provodnika iznad objekta, zategnuta na stubovima i postavljena na rastojanju većem od sigurnosnog rastojanja koje se proračunava. Neizolovana gromobranska instalacija postavlja se direktno na objekat, tako da struja atmosferskog pražnjenja može biti u kontaktu sa objektom koji se štiti.

Spoljašnja gromobranska instalacija sastoji se od prihvatnog sistema, sistema spušnih vodova i sistema uzemljenja, a unutrašnju gromobransku instalaciju čine instalacije za izjednačenje potencijala.

Prihvatni sistem

Prihvatni sistem izvodi se postavljanjem štapnih hvataljki ili razapete mreže žica (kod izolovane spoljašnje gromobranske instalacije), odnosno mreže provodnika preko objekta (kod neizolovane spoljašnje gromobranske instalacije), ili kombinacijom navedenih načina izvođenja. Raspored elemenata prihvatnog sistema određuje se jednom ili kombinacijom metoda zaštitnog ugla, fiktivne sfere i metoda mreže provodnika preko objekta.

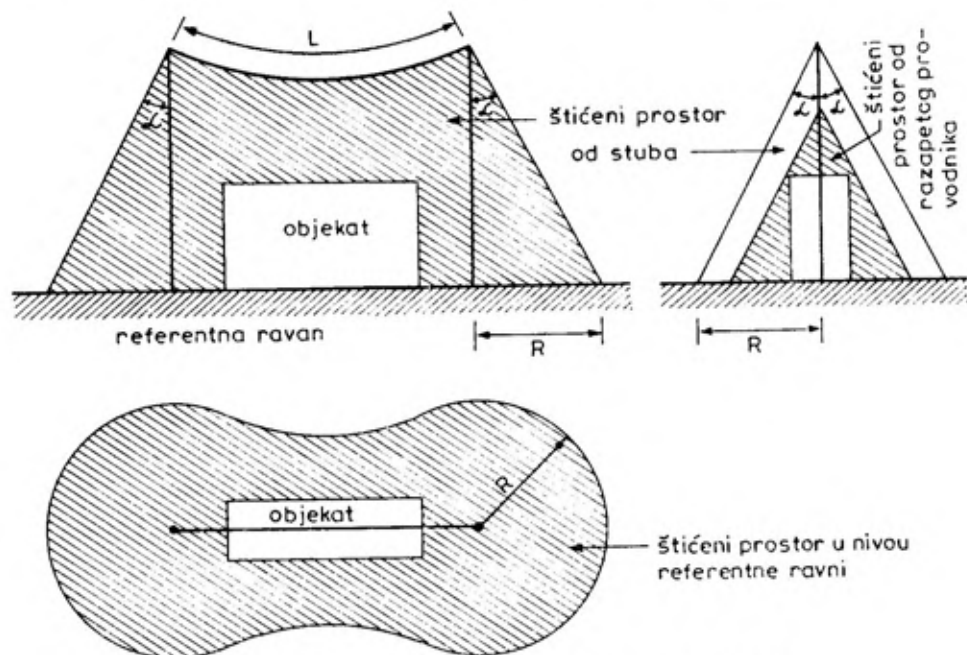
Metoda zaštitnog ugla koristi se kod primene štapnih hvataljki i mreže razapetih žica iznad objekta, a veličina zaštitnog ugla zavisi od visine objekta i izabranog nivoa zaštite. Ova metoda se ne primenjuje za objekte čija je visina veća od 20 m. Na slici 5 prikazan je štićeni prostor štapne



Sl. 5 — Zaštitna zona štapne hvataljke

hvataljke koji predstavlja zapremina kupe, dok je na slici 6 prikazan štice- ni prostor horizontalno postavljenog užeta između dva stuba, koji predstav-

gromobranske instalacije. Provodnici prihvatnog sistema obrazuju Farade-jev kavez, čije su stranice postavljene u blizini ivica objekta (slika 7).



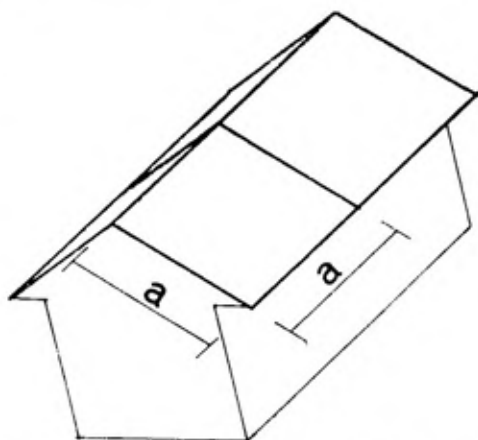
Sl. 6 — Zaštitna zona horizontalno postavljenih užadi

ljaju dve polukupe i deformisani priz- matični plašt.

Metoda fiktivne sfere može se pri- meniti i za objekte visine veće od 20 m (tj. kada se ne može primeniti metoda zaštitnog ugla), a njen poluprečnik se određuje na osnovu zahtevanog nivoa zaštite. Fiktivna sfera se »kotrlja« sa svih strana objekta (i odozgo), a kon- struktivno se određuju mesta istovre- menog dodira objekta i tla, koja pred- stavljaju mesta najverovatnijeg udara groma. Na mestima dodira sa objek- tom treba predvideti elemente prihvat- nog sistema.

Metoda mreže provodnika prime- njuje se kod neizolovane spoljašnje

Prihvatni sistem je pravilno pos- tavljen kada raspored elemenata zado-



Sl. 7 — Raspored elemenata prihvatnog si- stema po metodi mreže provodnika

voljava uslove iz tabele 2, u kojoj je prikazana veza između nivoa zaštite, paralelnim putevima sprovedu struju pražnjenja do uzemljivača. Rasporedu-

Tabela 2

Uslovi za raspored elemenata sistema

Nivo zaštite	h(m)	20	30	45	60	Širina okca mreže (m)
	R(m)	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

* Ne primenjuje se metoda zaštitnog ugla.

visine hvataljki, poluprečnika fiktivne sfere i širine okaca mreže.

Iz tabele 2 može se videti da se veličine okaca smanjuju sa povećanjem nivoa zaštite.

Kao prihvatni sistem mogu se, uz ispunjenje propisanih uslova, koristiti i komponente objekta, kao što su npr. limeni pokrivači, oluci i slično.

Spusni provodnici

Spusni provodnici (najmanje dva) jesu direktni produžetak prihvatnog sistema i imaju ulogu da što kraćim i

Tabela 3

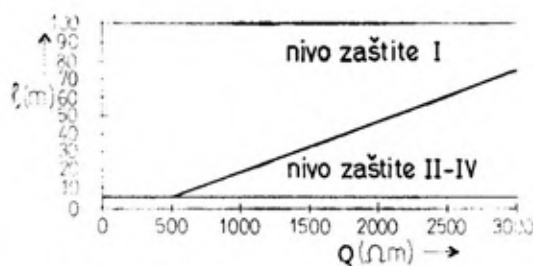
Minimalno rastojanje između spusnih vodova

Nivo zaštite	Srednje rastojanje (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

ju se po obimu objekta, a propisno rastojanje između spusnih vodova prikazano je u tabeli 3.

Uzemljivački sistem

Uzemljivački sistem ima ulogu da što brže i bezbednije sprovede struju pražnjenja u zemlju, bez stvaranja opasnih potencijala u sopstvenoj blizi-



Sl. 8 — Minimalne dužine uzemljivača

ni. S obzirom na kompleksnost zahteva za njegovu realizaciju (heterogenost sredine, prisustvo drugih uzemljivača, impulsni režim pražnjenja, enormno velike energije koje treba odvesti), o-

voj komponenti gromobraanskog sistema treba posvetiti naročitu pažnju.

U odnosu na prethodni u novom pravilniku nije propisana vrednost otpora uzemljenja, već se smatra da će uzemljivač svoju ulogu ispuniti ako se, zavisno od specifične otpornosti tla i nivoa zaštite, realizuje prema dijagramu prikazanom na slici 8.

Uzemljivači se izvode kao horizontalni — radijalni, vertikalni, prstenasti ili u temelju objekta.

Projektovanje, održavanje i verifikacija gromobranskih instalacija

Pravilnik i standardi o gromobranskim instalacijama propisuju uslove za projektovanje, održavanje i verifikaciju gromobranskih instalacija. Projekat mora da sadrži osnovne podatke (lokacija, dimenzije, oblik i materijal od kojeg je izrađen objekat, specifičnu otpornost tla, nivo zaštite, klimatske uslove i sl.), da odredi štićeni prostor kao i ostale uslove propisane Pravilnikom, a mora da bude i usklađen sa projektom drugih instalacija.

Izvođenje gromobranskih instalacija mora biti u skladu sa projektom, Pravilnikom i standardima, a eventualne izmene moraju se uneti u osnovni projekat.

Verifikacijom se utvrđuje da li gromobranska instalacija odgovara projektu i da li su sve komponente instalacije u dobrom stanju i obezbeđuju svoju funkciju. Verifikacija se obavlja nakon izgradnje objekta.

Održavanje gromobranske instalacije obavlja se radi očuvanja njene efikasnosti u pogledu nivoa zaštite, a sastoji se od periodičnih provera i opravki. Periodične provere obavljaju se u vremenskim intervalima koji su određeni u zavisnosti od prirode štićenog prostora i problema korozije.

Zaključak

Problem zaštite objekata od atmosferskih pražnjenja je, i pored napretka u spoznajama, i dalje kompleksan i zahteva neprekidna istraživanja. Pri tome, treba polaziti od činjenice da apsolutna zaštita od atmosferskih pražnjenja ne postoji, ali da se u velikoj meri smanjuje rizik oštećenja izazvanih udarom groma u objekat, ukoliko se propišu odgovarajući tehnički uslovi i gromobranska instalacija projektuje, izvede, verifikuje i održava u skladu sa tim uslovima.

Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu objekata od atmosferskog pražnjenja i Pravilnik o jugoslovenskim standardima za gromobranske instalacije, sa priloženim standardima, imaju novi pristup ovom problemu.

Izvršena je kategorizacija objekata, definisani su efikasnost i nivoi zaštite i propisana je metoda za proračun efikasnosti.

Pravilnik ne propisuje vrednost otpornosti uzemljenja, već polazi od toga da su za efikasnost zaštite merodavni oblik i dimenzije sistema uzemljenja.

Osnovna zamerka koja bi se mogla uputiti je da se Pravilnik odnosi samo na objekte opšte namene, ali ne i objekte čija je visina veća od 60 m, objekte u kojima postoji rizik od požara i eksplozije i druge objekte specijalne namene. Za neke od njih važili su Tehnički propisi o gromobranima, koji su usvajanjem Pravilnika [6] stavljeni van snage. Pošto su propisi za takve objekte ukinuti, a istovremeno nisu usvojeni novi, ova oblast ostaje zakonski nepokrivena, pa su projektanti i izvođači gromobranskih instalacija u dilemi. Zbog toga treba ubrzati rad na izradi i usvajanju propisa za zaštitu specijalnih objekata, tj. objekata na koje se Pravilnik ne primenjuje.

Literatura:

- [1] Dolginov: Tehnika visokih naprjaženij, Energija, Moskva, 1968.
- [2] Milanković, Lj.: Tehnika visokog napona, Naučna knjiga, Beograd, 1964.
- [3] Westinghouse priručnik, Građevinska knjiga, Beograd, 1964.
- [4] Methoden und Resultate der Blitzforschung auf dem Monte S. Salvatore bei Lugano, Association Suisse des Electriciens, Zurich, 1975.
- [5] Lightning protection code, 1985.
- [6] Pravilnik o tehničkim propisima o gromobranima, Sl. list SFRJ, br. 13/68.
- [7] Uppal, S.: Electrical Power, Khanna Publishers, Delhi-6, 1988.
- [8] Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu objekata od atmosferskog pražnjenja, Sl. list SRJ br. 11/96.
- [9] Utvrđivanje prosečnog broja dana sa grmljavinom, JUS N.B4.803.
- [10] Gromobranske instalacije, Opšti uslovi JUS IEC 1024-1.
- [11] Određivanje nivoa zaštite, JUS IEC 1024-1-1.
- [12] Stapne hvataljke sa kružnim prstenom, JUS N.B4.811.
- [13] Stapne hvataljke sa uređajem za rano startovanje, JUS N.B4.810.
- [14] Zbirka referata sa Savetovanja o gromobranskoj zaštiti, Zlatibor, 1995.

Uvod

Bespilotne letelice (BL) pripadaju grupi najsavremenijih sredstava čija se upotreba najčešće vezuje za zadatke osmatranja, izviđanja, prikupljanja obaveštajnih podataka, elektronska i protivelektronska dejstva i za navođenje na cilj »inteligentnih« ubojnih sredstava. Njihova upotreba datira od 1982. godine kada ih je prvo upotrebi- lo izraelsko RV.

Radi lakše sistematizacije BL prihvaćeno je nekoliko uslovnih podela:

- prema dometu i letnoj izdržljivosti: za bliska rastojanja, za male, srednje i velike domete.

- prema nameni: osmatračke, izviđačke, obaveštajne, za elektronska i protivelektronska dejstva, za udarna dejstva sa samouništenjem i za civilne potrebe;

- prema nivou upotrebe: taktičke (do 300 km dometa) i operativne (do 900 km dometa).

Ipak, osnovni i najčešći zahtev koji se postavlja pred BL je prikupljanje relevantnih podataka o protivniku i njihov prenos u realnom vremenu. To se ostvaruje najsavremenijom elektronskom, optoelektronskom, IC, radarskom, laserskom i telekomunikacijskom opremom, uključujući i opremu instaliranu na avionima tipa AWACS, HAWKEYE ili satelitima. U pogledu

proizvodnje i integracije sistema BL, te raznovrsnosti opreme, a time i mogućnosti za izvršenje različitih zadataka, nesporan primat u ovoj oblasti ima Izrael. Pored Izraela koji u razvoju sarađuje sa SAD i evropskim zemljama, značajni proizvođači su SAD i Francuska.

Bespilotne letelice SAD

Aprila 1996. godine oružane snage SAD obelodanile su svoje tekuće planove u oblasti bespilotnih letelica (UAV — Unmanned Aerial Vehicle) čija namena obuhvata najširi mogući spektar zadataka, uključujući izviđanje na malim rastojanjima, otkrivanje ciljeva, kao i osmatranje u što većoj neprijateljevoj dubini (do 900 km). Američki Biro za zajedničke projekte u oblasti bespilotnih letelica (JPO UAV — Joint Project Office for UAV), podelio je BL u četiri sloja, označena brojevima: 1, 2, 2+ i 3—, formirajući na taj način »široki kišobran«.

Sloj br. 1 čini sistem GNAT-750 firme »General Atomics« koji su pod komandom CIA neprekidno leteli iznad teritorije prethodne Jugoslavije. Ove BL obezbeđuju 24—40 časovni let na visinama 1585 do 7617 metara (5000 do 25000 stopa) sa korisnim teretom mase 64 kg.

Sloj br. 2 čine letelice sa srednjom izdržljivošću (MAE — Medium Altitu-

de Endurance). Ovaj sloj pokrivaju letelice tipa PREDATOR, takođe firme »General Atomics«. U sastav sloja br. 2 ulazi 10 letelica i 3 lansirne rampe sa opremom koja radi u svim vremenskim uslovima. Vreme trajanja leta je od 24 do 40 časova, na visinama od 7617 metara i sa korisnim teretom mase 200 kg u čiji sastav ulaze: elektro-optički i infra-crveni (IC) senzori, osmatrački i izviđački radari i linkovi za prenos podataka.

Sloj br. 2+ činiće letelice velike izdržljivosti (HAE — High Altitude Endurance) za koje zahtevi još nisu potpuno definisani. Očekuje se izbor između dve opcije čije je testiranje prototipskih BL obavljeno u prvoj polovini 1996. godine. Po izboru odgovarajuće opcije očekuje se narudžba za proizvodnju 8 letelica i 2 zemaljske lansirne stanice za dalje operativno testiranje pre nego što se pristupi serijskoj proizvodnji. Osnovni zahtev za letelice sloja br. 2+ su »nevidljive« (stealth) karakteristike, veliki domet i veliki korisni teret. Očekuje se da će nabavka obuhvatiti oko 100 sistema u vrednosti oko 230 miliona USD. U procesu ocenjivanja nalaze se predlozi sledećih firmi: »Northrop Grumman«, »Loral Western Development«, »Raytheon/Lockheed«, »Orbital Sciences« i »Teledyne-Ryan«.

Sloj br. 3— treba da čine letelice značajnih mogućnosti, ali jeftinije od letelica sloja 2+. Za sloj br. 3— razvojni tim firme »Lockheed/Boeing« predložio je koncept tipa bumeranga koji ima izdržljivost od 8 časova leta, dolet od oko 900 km na visini od oko 13500 metara i sa korisnim teretom mase 360 kg, koji u svom sastavu ima radarske i (ili) elektro-optičke senzore.

Na planu BL za bliska rastojanja američka vojska je pre manje od tri godine odbacila tada aktuelni koncept. Ovo područje je privremeno pokriveno programom BL tipa HUNTER.

Američke agencije, kao što je CIA, ipak su nastavile sa daljim razvojem već aktuelnih sistema. Tako su BL tipa GNAT-750 korišćene u zadacima iznad Bosne u toku 1994. godine iz baza u Albaniji i kasnije u Hrvatskoj. Međutim, letelice GNAT-750 i PREDATOR u pogledu čisto vojnih zadataka zaustavljene su u fazi koja je opisana kao »demonstracija naprednog tehnološkog koncepta«.

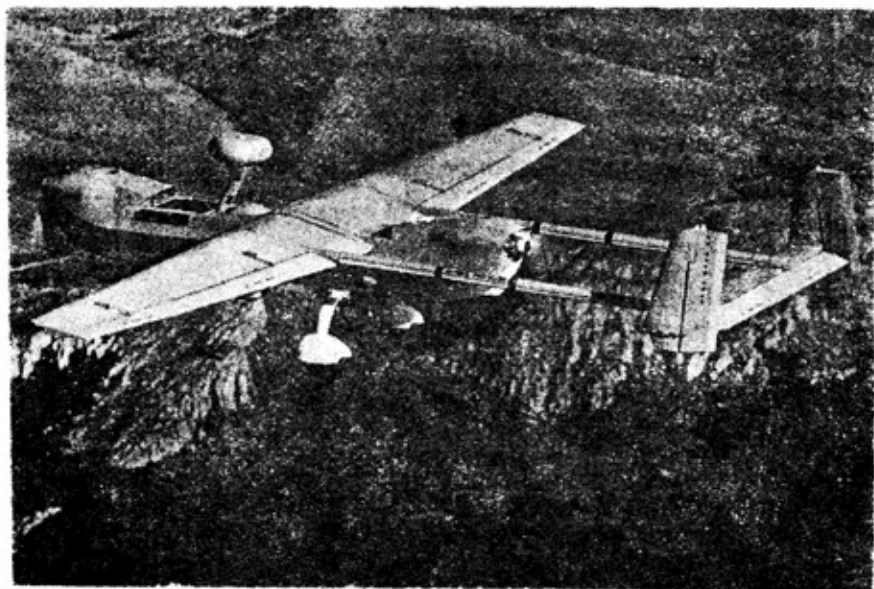
U ispunjavanju visokih zahteva američke vojske u ovom području najznačajnija mesta izborile su sledeće firme: TRW/IAI — Israel Aircraft Industries), »Teledyne-Ryan«, »General Atomics«, ali najprestižniji je razvojni tim firme TRW/IAI.

Bespilotna letelica HUNTER izabrana je na osnovu zahteva američkog Ministarstva odbrane za izviđanja malog dometa, osmatranje i akviziciju podataka o cilju na daljinama 150 do 300 km, tj. na taktičkom nivou. Letelica ima konstrukciju sa modularno koncipiranim korisnim teretom pogodnim za zadatke na liniji fronta, sa visokim koeficijentom cena—efikasnost. Zamišljena je kao višenamenski sistem za izvršavanje osnovnih zadataka u kopненоj vojsci, zadataka vezanih za brodske raketne sisteme u mornarici i za zadatke instrumentalnog praćenja manevra u izviđačkim zadacima kopnene vojske. HUNTER je podvrgnut izvesnim sistemskim poboljšanjima, kao što su: poboljšanje motora, obezbeđenje modova rada za auto-praćenje i auto-pretraživanje, ugradnja automatskog sistema za prizemljivanje, razvoj zemaljske upravljačke stanice i zemaljskog terminala za prijem podataka u verziji za praćenje manevra.

Konstrukcija ove BL je vrlo jednostavna. Pokreću je dva motora od po 50 kW. Dužina letelice je 6,9 m, a raspon krila 8,9 m. Leti na visini od 4500 metara sa brzinom krstarenja od

148 km/h, a maksimalna brzina je 204 km/h. Zapremina prostora namenjenog za smeštaj korisnog tereta je 2 m³. Letelica ima masu pri poletanju od 726 kg, uključujući 113 kg korisnog tereta.

HUNTER ima mogućnosti nadgledanja digitalnih komunikacija, relejnog prenosa podataka za avijaciju i izvođenje zadataka iz okvira elektronskih i protivielektronskih dejstava.



Sl. 1 — Američka BL HUNTER

Može biti lansirana uz pomoć raketnog sistema sa kopnenih ili mornaričkih platformi. Letna izdržljivost je 12 časova. Ova BL može se transportovati transportnim avionima C-130 HERCULES ili bilo kojim drugim američkim velikim transportnim avionima. Višenamenska optronička stabilizovana oprema ima zglobno, tj. kardanski učvršćene senzore za dnevno-noćno praćenje po azimutu od 360°, sa linkom za prenos TV podataka na zemaljske upravljačke uređaje koji su kao stanica za planiranje putanje i upravljanje letom (MPCS — Mission Planning and Control Station) ugrađeni na motorno vozilo koje se u borbenom poretku može nalaziti znatno ispred zemaljske lansirne i upravljačke stanice i/ili daljinskog video terminala (RVT — Remote Video Terminal).

Relejni prenos podataka vrši se do izviđačkih mesta na nivou brigada i bataljona koja mogu da dobiju podatke o potencijalnom cilju sa osmatračkih uređaja velikih letelica kao što su: JSTARS, AWACS, HAWKEYE. Ovi podaci mogu zatim biti poslani BL HUNTER (preko zemaljskih upravljačkih stanica) radi verifikacije, praćenja ili nišanje.

Prva isporuka ovih BL realizovana je 1995. godine, ali je u prvih 8 meseci upotrebe ovih letelica došlo i do nekoliko udesa nepoznatog uzroka. Uprkos tome narudžbe su produžene. BL HUNTER, kao zajednički proizvod američke firme TRW i izraelske »Matlat«, nude se i francuskim oružanim snagama. Navedene firme zajednički produžavaju ulaganje u razvoj u sme-

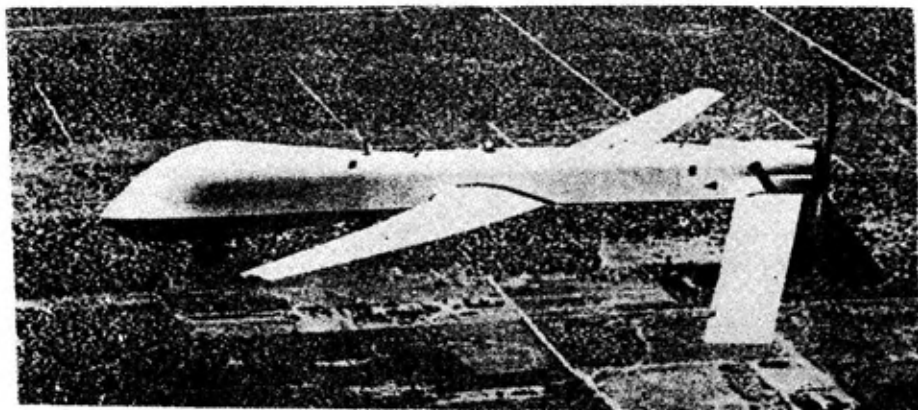
ru povećanja izdržljivosti. Tako usavršen sistem nosi oznaku E-HUNTER.

U okvirima američke vojne industrije, najveću ulogu u razvoju BL još uvek ima firma »General Atomics«. Ona je 1992. godine demonstrirala svoju BL kandidovanu za konkurs američke vojske za zajedničku taktičku BL. Bila je to manevrabilna varijanta BL malog dometa pod imenom PROWLER. Dimenzije ove BL su: dužina 3,35 m, raspon krila 5,4 m, masa 90,7 kg, maksimalna operativna visina leta 6300 m, brzina leta 278 km/h i izdržljivost (vreme zadržavanja u vazduhu) preko 6 časova.

Bespilotna letelica PREDATOR, firme »General Atomics«, pripada grupi letelica srednje izdržljivosti, a oblik tela sličan je telu letelice PROWLER, ali većih dimenzija (dužina 8,1 m, raspon krila 14,7 m sa oborenim repnim dihedralnim krilima). U stanju je da leti 24 časa i održava vezu sa stanicom, leteći na udaljenost od 926 km od lansirne tačke. Raspolaze sa linkom

Za zadatke na velikim daljinama »General Atomics« je projektovao BL GNAT-750 — avio-transportabilan sistem koji se ne razlikuje mnogo od modela drugih kompanija, ali je nešto veći: dužina 4,95 m, raspon krila 10,12 m, poletna masa 500 kg. GNAT-750 doseže visinu od 7600 m u kružnoj putanji sa izdržljivošću većom od 40 časova i dometom većim od 750 km. Ova letelica ima autonomnu navigaciju uz pomoć inercijalnog sistema i sistema za globalno pozicioniranje. U sastav korisnog tereta ulaze: TV senzori, TV senzori niskog nivoa signala, IC senzori, FLIR (napred gledajući IC) senzori koji linijski skeniraju površinu kao i laserski merači daljine, elektronski sistemi, linkovi podataka, radio-releji, radarska oprema i detektori digitalnih komunikacija.

Sve ove BL podržane su zemaljskim upravljačkim sistemima koje, takođe, projektuje »General Atomics«, a nalaze se na listama minimalnog izvoza kritičnih tehnologija, što znači da ih proizvođači ne mogu prodavati slo-



Sl. 2 — Američka BL PREDATOR

podataka promenljive frekvencije u C-bandu i elektro-optičkim i IC senzorima. Navigacija je realizovana uz pomoć inercijalnog navigacijskog sistema čiju kontrolu obavlja sistem za globalno pozicioniranje (GPS).

bodno već samo po odobrenju Ministarstva odbrane SAD. Strah od nekontrolisanog izvoza pravda se činjenicom da se ove BL vrlo lako mogu pretvoriti u krstareće rakete, sposobne da zamenom korisnog tereta, sastavljenog

od elektronske opreme sa bojnom glavom, nanese precizne udare na izabrane objekte.

Izraelske bespilotne letelice

Još 1982. godine izraelsko RV uvelo je u svetu tada sasvim novi borbeni koncept — bespilotne letelice postale su osnovno sredstvo na bojnom polju. U toku operacija u Libanu njihova letelica SCOUT je, noseći jednostavnu dnevnu kameru, identifikovala lokaciju sirijskih raketnih baterija raketa SAM-8 u dolini Beka. Letelice su odmah slale fotografije pokretnih baterija, a nekoliko minuta kasnije poletali su parovi aviona, pronalazili ih i uništavali. Ovakav koncept prikupljanja obaveštajnih podataka ubrzo su analizirale sve savremene armije sveta. Uvidele su se velike mogućnosti ovog koncepta i ubrzo je bio primenjen u gotovo svim ratnim sukobima. Izraelska avio-industrija je prva počela sa masovnijom proizvodnjom bespilotnih letelica, i ima iskustvo od 25 godina u njihovom razvoju i proizvodnji, te su gotovo sve zapadne zemlje sarađivale s njom, jer na ovom polju predstavlja nesporan autoritet. Izraelska industrija bespilotnih letelica, ipak, najviše sarađuje sa američkim Biroom za zajedničke projekte u oblasti BL, tako da je i usvojila njihove podele prema doletu, izdržljivosti i nameni. Pored osnovnih vrsta izraelska avio-industrija nudi i BL za čisto napadačke zadatke. U zavisnosti od namene, izraelske BL mogu biti opremljene i opremom drugih proizvođača. Izraelska avio-industrija razvija, proizvodi i vrši integraciju sistema BL, kao i njihovog korisnog tereta, upravljačkog sistema, linkova podataka, lansirne i prateće opreme.

Razvoj izraelskih BL može se pratiti kroz nekoliko generacija u poslednjih 25 godina.

Prvu generaciju projektovanu pre 25 godina predstavljala je mini BL SCOUT, mase 158 kg, koja je za izraelske oružane snage obavljala dnevno-noćne obaveštajne zadatke. Bila je to prva izraelska BL koja je imala mogućnost prenosa podataka u realnom vremenu i sa kojom su stečena iskustva za vreme borbi 1982. godine, u operaciji poznatoj pod nazivom »Mir za Galileju«. Ova BL je godinama bila glavna taktička letelica izraelske vojske.

Drugu generaciju predstavlja BL pod imenom PIONEER, čija je konstrukcija izvedena primenom kompozitnih materijala. Iako ima sličnu namenu kao SCOUT, ipak ima bolje letne performanse: domet 150 km, letnu izdržljivost 6,5 časova, masu 190 kg. Ova letelica je jednostavne konstrukcije sa jednim potisnim propelerskim motorom i dvostrukim lansirno-sletnim uređajem koji omogućava uzletanje i sletanje na betonske ili travnate staze. Ima mogućnost lansiranja i sa mornaričkih platformi. PIONEER je prilagođen i zahtevima američke vojske (RM i raketne jedinice) koja ga je koristila u operaciji »Pustinjska oluja« uglavnom za osmatračke zadatke. Prema američkim izveštajima 26 od 40 ovih BL uništila je iračka PA vatra iz oružja malih kalibara, ili zbog udesa, ali su korišćene i za uništavanje kritičnih ciljeva u kamikaza stilu. PIONEER je u vezi s američkim zahtevima bio jedna faza u zajedničkom razvoju nove taktičke BL pod imenom HUNTER koja će ući u upotrebu krajem ove dekade.

BL RANGER je sistem koji je specijalno dizajniran za uslove evropskog ratišta i kasnije je proizveden u operaciji sa švajcarskom firmom »Oerlikon-Contraves« za švajcarske oružane snage. RANGER ima masu od 275 kg, višenamensku opremu kao i auto-

matski poletno-sletni uređaj sa laser-
skim senzorima. Ponuđen je i oruža-
nim snagama Holandije.

Treću generaciju BL predstavlja
SEARCHER koji je predviđen da u iz-
raelskim oružanim snagama zameni BL
SCOUT. Prema dostupnim izvorima, o-
va BL je isporučena i singapurskim o-
ružanim snagama.

SEARCHER ima masu od 317 kg,
poboljšanu aerodinamičku konstrukci-
ju izvedenu od kompozitnih materija-
la, kao i novi rep i repno kormilo. Jed-
nopropeleerski potisni motor obezbeđu-
je četrnaesto-časovnu letnu izdržljivi-
nost, a dubina prodora u neprijatelje-
vu teritoriju može da se poveća upot-
rebom prenosne upravljačke stanice

poleće i sleće pomoću točkova na be-
tonske ili travnatu stazu. Alternativno
može se lansirati i uz pomoć raketnog
ili pneumatskog sistema i zaustaviti uz
pomoć kočice zaustavne sajele ili mre-
že.

Na planu povećanja izdržljivosti
firma »Malat« razvila je sasvim novu
BL pod imenom HERON. To je BL za
srednje visine (10000 m i više) sa iz-
držljivošću od preko 50 časova. Čet-
vorocilindrični motor sa turbo punja-
čem, snage 73,5 kW, daje letelici brzi-
nu od 222 km/h. Maksimalna masa pri
poletanju je 1150 kg. Svoj prvi let HE-
RON je izveo krajem 1994. godine. Si-
stem je projektovan tako da može pri-
hvatiti različitu opremu koja omogu-



Sl. 3 — Izraelska BL HERON

koja može da deluje iz rejonata taktič-
kih jedinica na samoj liniji fronta. No-
va upravljačka stanica sistema SEAR-
CHER može da bude snabdevena ba-
zom podataka koji opisuju reljef tere-
na iznad kojeg BL leti, kao i drugim
detaljima koje zahteva konkretni za-
datak. Letelica može da ponese razli-
čite terete mase do 63,6 kg, a može da

čava osmatranje u realnom vremenu,
vođenje elektronske i protivielektron-
ske borbe, obavljanje uloge releja u te-
lekomunikacijama, kao i pomorsko pa-
troliranje.

Poslednji sistem BL firme »Ma-
lat« nosi ime EYE-VIEW. Projektovan
je za upotrebu na bliskim rastojanji-

ma na taktičkom nivou. Ova vrlo laka BL, mase 90—100 kg, nosi opremu mase 15—30 kg i ima domet od preko 100 km. Minijaturiziranom upravljačkom stanicom na bazi personalnog računara rukuje posada od tri člana. Stanica se nalazi na pukovskom ili bataljonskom nivou. Standardni komplet sistema čine tri letelice i upravljačka stanica. Platnena paraglajderska konstrukcija omogućava ovoj letelici da lebdi iznad cilja i da sleće na vrlo kratke staze.

Zemaljska upravljačka stanica predstavlja srce sistema i održava vezu sa letelicom, upravlja njenim letom, kao i radom i karakteristikama opreme korisnog tereta i u potpunosti nadgleda izvršenje zadatka.

Firma »Malat« razvila je nekoliko vrsta takvih stanica koje su prilagodljive za različite BL.

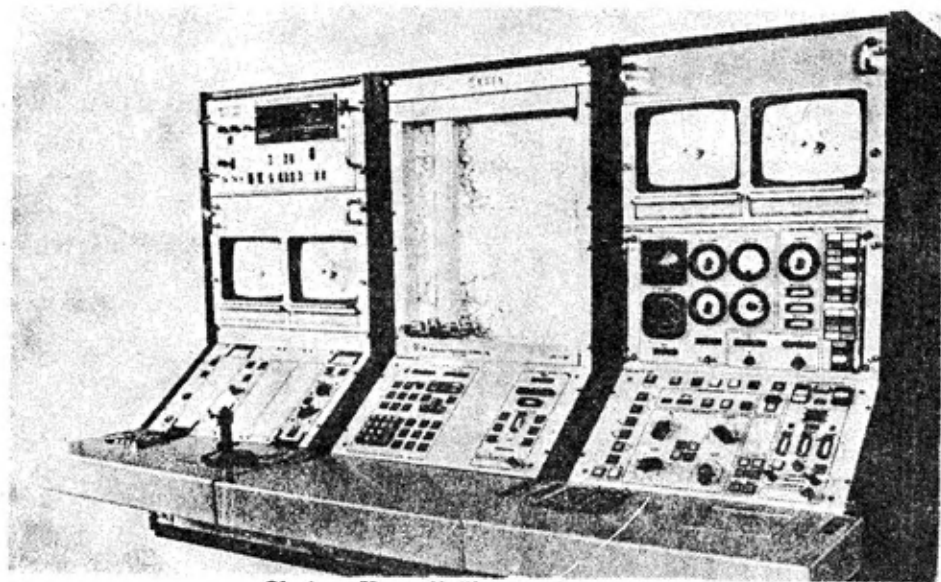
Zemaljska upravljačka stanica GCS-2000 je stanica druge generacije zasnovana na mikroprocesoru. Koristi usavršeni link za prenos podataka. Stanica treće generacije GCS-3000 razvijena je po američkim zahtevima za

program BL kratkog dometa. »Malat« je, takođe, razvio prenosnu upravljačku stanicu za upotrebu na taktičkom nivou, zapravo minijaturizovanu upravljačku jedinicu (MCU — Mission Control Unit) na bazi GCS-2000 koja omogućava upravljanje bespilotnim letelicama sa isturenih položaja.

Na polju softvera firma »Malat« radi na konverziji programa za BL rađenih u različitim programskim jezicima u programski jezik ADA (standardni jezik američke vojske) u okviru razvoja programa za automatsko pretraživanje terena i prizemljivanje.

BL mogu da se koriste i za istraživanja u civilnim programima, kao što su: kontrola i upravljanje prirodnim okolinom ili u slučaju prirodnih katastrofa, policijska služba, pravosuđe, geološki ili topografski nadzor. Opisani sistemi, kao što su PIONEER, SEARCHER i HUNTER, mogu se prilagoditi navedenim namenama.

Istraživanja koja se sprovode u poslednje vreme obuhvataju i razvoj antiradarske napadačke BL koja predstavlja distancioni (stand-off) oružni sis-



Sl. 4 — Upravljačka stanica GCS-2000

tem pod imenom HARPI koji je projektovala izraelska industrija. Prema dostupnim izvorima kupci ovog sistema su izraelske i indijske oružane snage. HARPI je BL velikog dometa (verovatno preko 100 km), koja prodire duboko u neprijateljevu pozadinu. Predviđena je za lansiranje sa višestrukog lansirnog kontejnera montiranog na običnom teretnom motornom vozilu. Ona može da nosi izviđačke senzore i senzore za detekciju ili bojne glave za uništenje neprijateljevog radara. U slučaju kada nosi bojnu glavu, nakon lansiranja BL ne može da se vrati na mesto lansiranja.

Pored firme »Malat« značajan proizvođač BL u Izraelu je i firma »Silver Arrow«. Ona je 1993. godine proizvela prototip BL pod imenom MICRO VEE, čiji su letni testovi nastavljeni 1994. godine. Ova BL ima mogućnost prenosa video informacija u realnom vremenu (opciono se ugrađuje i laka FLIR oprema) mogućnost autonomnog leta sa ručnim korekcijama i redundantnu konfiguraciju pogonskog motora. Dimenzije ove BL su: raspon krila 3,6 m, masa pri poletanju 45 kg, uključujući i maksimalno 8 kg korisnog tereta. Akcioni radijus letelice je 50 km, a izdržljivost 5 časova. Komplet sistema čini 5 letelica, lanser, upravljačka jedinica, zemaljski terminal podataka i zemaljska pomoćna oprema. Sva oprema transportuje se jednim vozilom, a posadu čine dva člana.

U februaru 1994. godine firma »Silver Arrow« predstavila je i BL pod imenom HERMES-450 sa dvojnim motorom i konstrukcijom od kompozitnog materijala. Ova BL projektovana je da ponese korisni teret mase 150 kg i obezbedi izdržljivost od 24 časa pri letu na visini od 7000 m. Ima jedinstvenu konstrukciju sa krilima raspona 10 m, dvojni potisni motor i repne površine u obliku slova V. Korisni teret dostiže jednu trećinu poletne mase letelice, što govori o njenoj visokoj ae-

rodinamičkoj efikasnosti. Moguća je upotreba izviđačko-osmatračke opreme, opreme za akviziciju i označavanje ciljeva, opreme za elektronsku i protivelektronsku borbu, kao i komunikacionih releja. HERMES-450 ima mogućnost potpuno autonomnog leta navigacijom pomoću sistema za globalno pozicioniranje. Radni komplet sistema čine letelica, upravljačka jedinica i link za prenos podataka.

HERMES-750 predstavlja poboljšanu varijantu BL HERMES-450, čiji su letni testovi započeti u januaru 1996. godine. HERMES-750 ima znatno veće gabarite, poletnu masu 750 kg, znatno veći korisni teret i snažniji pogon. Predviđena izdržljivost je 30 časova pri letu na visini od 7600 m.

Na pariskoj aero-izložbi firma »Silver Arrow« izložila je dva nova tipa BL: DARTER i COLIBRI.

DARTER je nadograđena i uvećana verzija BL MICRO VEE, projektovana prema američkim zahtevima za upotrebu na bliskim rastojanjima sa sledećim karakteristikama: akcioni radijus 92,6 km, poletna masa 100 kg, visina leta 6600 m.

COLIBRI je vrlo jeftina BL, jednostavna i laka za održavanje, posebno projektovana za obuku operatera koji ih navode.

Neke izraelske firme, kao što je EAS, razvijaju BL uglavnom za civilne potrebe. Tako je ova firma razvila četiri različita sistema BL namenjenih civilnim potrebama, ali koje se mogu koristiti i za vojne zadatke. To su: VANGUARD, CROW, FIREFLY i SNOOPER.

VANGUARD leti do visine od 5000 m sa poletnom masom 211 kg, uključujući 40 kg korisnog tereta, uz izdržljivost od 16 časova. Ovaj model poleće sa poletne staze, dok ostala tri modela koriste raketne lansere.

CROW leti do visine od 5000 m sa poletnom masom 70 kg, uključujući 22 kg korisnog tereta uz izdržljivost od 9 časova.

FIREFLY leti do visine od 1520 m, poletna masa mu je 21 kg uz izdržljivost od 4 časa.

SNOOPER leti do visine od 1000 m, a poletna masa mu je 11 kg uz izdržljivost od 2 časa.

Glavne karakteristike BL firme EAS su: kompaktna konstrukcija, mala cena, dobra pokretljivost i rad sa posadom od dva do tri člana.

Izraelska firma »Emit« takođe, prema zahtevima tržišta, proizvodi BL pod imenom STING 1 i STING 2.

STING 1 namenjen je za velike domete sa poletnom masom 1200 kg od čega 200 do 400 kg korisnog tereta i izdržljivošću od 35 do 48 časova.

STING 2 je laka i jeftina BL namenjena za bliska rastojanja sa poletnom masom od 100 kg, korisnim teretom od 22 do 30 kg i izdržljivošću od 24 do 30 časova.

Pored navedenih programa Izrael je uključen i u razvoj nekih, za sada, futurističkih programa BL, kao što je program za presretanje raketa u startnoj fazi (Boost Phased Interceptor). Ovaj program namenjen je za presretanje i uništavanje raketa u njihovoj startnoj fazi. Prema američkim izveštajima projekat je zamišljen kao sistem sa BL koja će leteti na velikoj visini, noseći antibalističku raketu. U okviru ovog projekta u toku su simulacione studije.

Bespilotne letelice evropskih zemalja

Programi razvoja BL evropskih zemalja nalaze se u različitim fazama. U nekim zemljama sistemi BL su uvedeni u operativnu upotrebu, druge zemlje ih razvijaju, treće su u fazi razvoj-

nih studija, dok četvrte imaju neke već prilično tehnološki zastarele i prevaždene sisteme. U pogledu podele, još uvek pod ruskim i nemačkim uticajem, u najširoj upotrebi je podela na BL namenjene za izvršenje zadataka na taktičkom i operativnom nivou.

Taktički nivo podrazumeva upotrebu BL u armijskim jedinicama — pukovima ili konsekvntno povećanju disperzije jedinica, u divizijama i njihovim jedinicama.

U Evropi se BL najčešće koriste za osmatračke zadatke sa TV, FLIR ili IC linijski skenirajućim elektro-optičkim senzorima, i za prikupljanje podataka o ciljevima za artiljerijske i raketne baterije. Ipak, zadatak prikupljanja podataka ponekad se može uspešno realizovati i laserskim meračem daljine. Sve vrste BL na ovom nivou izvedene su sa motornim pogonom, lansiraju se uz pomoć katapulta, a upravljane su daljinskim radio-komandama i (ili) preprogramiranim vođenjem sa sistemom inercijalne navigacije i ulaznim podacima sa sistema za globalno pozicioniranje (GPS). Po završetku zadatka BL uglavnom sleću uz pomoć padobrana.

Operativni nivo podrazumeva, uglavnom, unifikovane zadatke osmatranja sa elektro-optičkim senzorima u armijskim jedinicama. Lansiranje se obavlja, uglavnom, uz pomoć katapulta, a prizemljenje pomoću padobrana. Na ovom nivou BL se, najčešće, pokreću uz pomoć turbo-mlaznih motora. Takvi sistemi su najrasprostranjeniji u zemljama bivšeg Varšavskog pakta, ali će, verovatno, u najskorije vreme biti zamenjeni drugim pogonima.

Bespilotne letelice u evropskim zemljama

BELGIJA

Od 1977. godine oružane snage Belgije koriste sistem EPEPVIER koji je proizvela firma »MBLE Defense« (sada

»Thomson-CSF Electronics Belgium«). To je BL sa turbo-mlaznim pogonom koja ima malu izdržljivost (manje od 30 minuta), daljinsko upravljanje i preprogramirano vođenje. Upravljački elementi i sistem praćenja su na kraju svog veka, a zamena se očekuje u bliskoj budućnosti.

BUGARSKA

Od 1981. godine oružane snage Bugarske koriste sistem BL pod imenom JASTREB sopstvenog razvoja i proizvodnje. Najnovija verzija JASTREB-2MA proizvodi se od 1993. godine. Karakteriše ga preprogramirano vođenje. Bugarska je jedna od retkih zemalja čije BL za potrebe elektronske i protiv elektronske borbe nose i radio-omećace.

ČEŠKA REPUBLIKA i MAĐARSKA

Češko RV trenutno koristi ruski sistem BL REJS/STRIŽ, ali od 1980. godine traži zamenu za sistem dugog dometa. Češki Vazduhoplovno-istraživački institut razvio je sistem BL pod imenom SOJKA i SOJKA III sa TV kamerama i preprogramiranim i poluautomatskim vođenjem. Od 1993. godine ovaj institut se udružio sa mađarskim Institutom za vojne tehnologije u proizvodnji BL SOJKA III za oružane snage obe zemlje. Serijska proizvodnja je počela 1995. godine.

FRANCUSKA

Francuske oružane snage koriste BL više nego ijedna druga evropska zemlja. Od 1989. godine na upotrebi se nalazi daljinski upravljana mini-izviđačka letelica pod imenom MART (Mini Avion de Reconnaissance Telepilote) koja predstavlja dodatak artiljerijskom sistemu za upravljanje vatrom ATILA.

To je jedini evropski sistem koji je korišćen u zalivskom ratu. Radi se, prvenstveno, o osmatračkom sistemu sa video linkom za daljine do 30 km, koji može da nosi i opremu za elektronsku i protiv elektronsku borbu. Francuske oružane snage imaju potrebu za znatno sofisticiranijim sistemom nego što je MART. Zbog toga je firma »SAGEM/SAT« razvila sistem BL CRECERELLE koji koristi britansku BL pod imenom SPECTRE. Elektro-optička oprema ovog sistema sadrži komplementarne TV i IC senzore sa širokim vidnim poljem i savremenim sistemom za obradu i interpretaciju slike. Ova BL ima prenosivu stanicu za daljinsko upravljanje, tako da jedinice s linije fronta mogu direktno da primaju sliku. Razvoj ovog sistema započeo je 1994. godine, a prvi sistemi su u operativnoj upotrebi od februara 1995. godine. Koristile su ga jedinice koje su bile raspoređene u prethodnoj Jugoslaviji. CRECERELLE je isporučen i oružanim snagama Holandije. Uvođenje ovog sistema u operativnu upotrebu vezano je za kašnjenje realizacije francusko-nemačkog programa GIE BREVEL koje je dovelo do toga da su francuske oružane snage potražile sopstveno rešenje sa znatno sofisticiranijim zahtevima nego što su bili zahtevi za razvoj samog GIE BREVELA. Francuski BREVEL će biti u stanju da radi na dubini od 100 km iza prednje borbene linije sa izdržljivošću od preko 7 časova. Ova BL zasnovana je na prethodnoj eksperimentalnoj letelici TUCAN, firme »MBB«. Planira se da nosi FLIR kameru Carl Zeiss VBG 96×4, a »Mara Defense« će proizvesti zemaljsku upravljačku stanicu. Predviđeno je da u operativnu upotrebu uđe 1999. godine.

Za duge domete ili izviđanje na operativnom nivou, francuske oružane snage koriste BL DASA/Canadair CL-289 pod imenom PIVER 289 (Programation et Interpretation des Vols d'En-

gins de Reconnaissance). Od 1992. godine proizvedena su 3 lansirna sistema i 55 letelica ove vrste. Proizvodnja je završena 1993. godine, a do 2000. godine planira se uvođenje novih BL.

Francuske jedinice u sastavu UN-PROFOR-a u Bosni, između oktobra 1993. godine i februara 1994. godine, koristile su svoje BL malog dometa tipa FOX AT. Ovaj sistem razvila je firma »CAC Systemes« sa izdržljivošću od oko 5 časova i masom ograničenom na 25 kg. AT verzija je jedna od tri moguće. Na upotrebi u toku zime 1993/94. u Bosni u bihaćkom džepu na upotrebi je bila varijanta AT1 sa radio-upravljanjem, dok verzija AT2 nudi mogućnost preprogramiranja. Verzija TX namenjena za elektronsku i protivoelektronsku borbu, uvedena je u operativnu upotrebu 1995. godine. Verzija TS je namenjena za akviziciju podataka o cilju.

NEMAČKA

Nemačke oružane snage za sada koriste samo francusku BL tipa CL-289.

Izvesno je da će se na taktičkom nivou, po završetku zajedničkog razvoja s Francuskom, koristiti BL BREVEL.

U pogledu zahteva nemačkih oružanih snaga za nabavkom BL dugog dometa, verovatno će letelica TUCAN biti osnova za razvoj nemačkih BL pod imenom TAIFUN i MUCKE. BL TAI-FUN je namenjena za zadatke protivoklopne borbe, tj. za artiljeriju i njene komandne centre. Vođenje će biti realizovano uz pomoć autopilota za praćenje terena TERCOM, (terrain contour-matching) i radarskim senzorom u milimetarskom području. BL MUCKE je namenjena za ometanje telekomunikacija. Razvoj ovih sistema započeo je 1996. godine.

GRČKA

Grčka je 1990. godine započela sa razvojem svoje BL PEGASUS, ali nije poznato u kojoj fazi se ovaj program nalazi.

ITALIJA

Kao sastavni deo svog C³I sistema CATRIN (Sistema Campale di TRAsmissione ed INformazioni), italijanske oružane snage imaju podsistem SORAO (Sottosistema di SORveglianza ed Acquisizione Obiettivi) za osmatranje i akviziciju podataka o cilju. Radi opitovanja i operativnog ocenjivanja sistema je prvo bio instaliran na BL ME-TEOR MIRACH 20, a sada je na BL MIRACH 26. Ovaj sistem je namenjen za izvršavanje zadataka na taktičkom nivou.

Za upotrebu na operativnom nivou, sistem SORAO je ugrađen na BL MIRACH 150. Za te potrebe dodati su elektro-optički senzori, specijalni radari ili oprema za elektronsku i protivoelektronsku borbu. Jedan ovako koncipiran sistem nalazi se u procesu opitovanja i ocenjivanja od 1993. godine.

Radi obezbeđivanja sistema BL za kratke domete, jedna BL se trenutno nalazi na ocenjivanju letnih karakteristika.

HOLANDIJA

Holandija je nabavila izviđački sistem BL za upotrebu na taktičkom nivou. U užem izboru su se našla tri sistema: CRECERELLE, RANGER i BREVEL, a izabran je francuski sistem BL CRECERELLE.

RUSIJA

Prvi sistemi BL u bivšoj sovjetskoj armiji bili su TBR-1, uvedeni u operativnu upotrebu pre 20 godina.

Bivša sovjetska armija razvila je za-
tim STERK sa BL ŠMELJ-1. U upot-
rebi se nalazi oko 50 ovih sistema. Si-
stem je specifičan po tome što je mon-
tiran na šasijsku prikolicu BMD koja slu-
ži kao transporter, lanser i upravljač-
ka stanica. Sa ove stanice može se di-
rektno upravljati sa BL do udaljenos-
ti od 60 km u slučajevima gde se ne
zahteva preprogramirani let BL.

Od 1993. godine kao zamena ovom
sistemu započeo je razvoj novog siste-
ma COLIBRI koji je zbog nedostatka
novčanih sredstava obustavljen. Za ne-
znatno veće udaljenosti, Rusija pose-
duje i sistem STRIZ, čija se BL lan-
sira sa zemlje, tj. sa vozila BAZ 135
SPU 8x8 koje istovremeno predstavl-
ja transporter i lanser. Senzori ugra-
đeni u ovaj sistem su optička kamera
PA-1 ili elektrooptička ČIBIS-B sa ko-
je se video signal šalje na zemlju pre-
ko linka.

Pored Rusije sisteme REJS/STRIZ
poseduju i Češka, Slovačka, Mađarska,
Ukrajina i Belorusija.

SPANIJA

Od 1993. godine u saradnji sa fir-
mom »Dornier« španski nacionalni in-
stitut za avio tehniku INTA (Instituto
de Técnica Aeroespacia) razvija BL SI-
VA (Sistema Integrado de Vigilancia
Aerea) koja predstavlja integrisani os-
matrački sistem. Sistem je montiran
na teretno vozilo, a u sastav kompleta
ulaze 4 letelice koje imaju mogućnost
osmatranja, akvizicije podataka o ci-
lju ili izviđanja. Izdržljivost BL je 8
časova. Specifičnost vezana za ovu BL
je posedovanje pomoćnih rezervoara
za gorivo smeštenih ispod krila koji
omogućavaju 2 dodatna časa leta.

ŠVEDSKA

Od pre nekoliko godina Švedska
je definisala zahteve za svoj taktički si-
stem BL sa akcionim radijusom od 50

km. Od 1994. godine sistem sa jedin-
stvenom BL s autonomnim žiroskopom
pod imenom MIDGET nalazi se na o-
pitovanju i ocenjivanju. Zvanična šve-
dska klasifikacija ovog sistema je
TecMentRPG (Technology Management
Remotely Piloted Gyroplane).

ŠVAJCARSKA

Švajcarska razvija svoju BL pod
imenom RANGER po izraelskom pro-
jektu i sa izraelskim senzorima. Tako-
đe, letelica je zasnovana na izraelskoj
BL SCOUT, ali je prilagođena za us-
love specifičnog reljefa i prirodne sre-
dine Švajcarske. Specifičnost vezana
za ovaj sistem je mogućnost prizemlje-
nja pomoću padobrana i točkova. Si-
stem je bio na opitovanju i ocenjiva-
nju od 1990. godine, a u operativnu
upotrebu je uveden 1995. godine. RAN-
GER je namenjen za upotrebu u dnev-
nim i noćnim uslovima. Radi u real-
nom vremenu na daljinama od 100
km, visini od 500 m, a izdržljivost mu
je 5 časova.

TURSKA

Zahtevi turskih oružanih snaga za
osmatranjem i prikupljanjem podata-
ka o cilju na taktičkom nivou defini-
sani su pre nekoliko godina. Za sada
je u toku opitovanje i ocenjivanje dva
američka sistema dugog dometa.

Prvi sistem je SHADOW 600 sa
višenamenskom BL koja može da no-
si FLIR i TV kamere i opremu za elek-
tronsku i protivielektronsku borbu. O-
va BL poleće i sleće na točkove i ima
izdržljivost od 14 časova leta.

Drugi sistem je već opisani GNAT
750 firme »General Atomics« koji se
nalazi na opitovanju i ocenjivanju od
1993. godine. Pored ovih uvoznih BL
Turska, u firmi TAI (»Tusas Aerospace
Industries«), razvija sopstveni sistem
pod imenom UAV-1X koji se od proš-

TABELA 1

NAZIV SISTEMA	DIMENZIJE			KORISNI TERET (kg)	KLASA	DOMJET (km)	VISINA LETA (m)	NAMENA	IZDRŽ- LJIVOST (časova)	BRZINA (km/h)	OPREMA								PROIZV- ODAC
	DUŽINA (m)	RASPON KRILA (m)	MASA (kg)								TV	OPTO	ELEKT.	IC	LINK	OME- TAČI	LAS- ER	NAVO- DENJE	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
PROWLER	3,35	5,4	90,7		taktički		6.300		6	278									SAD
PREDATOR	8,1	14,7	200		operativni	926	7.617	višenamenski	24-40				X	X	X			inerc. i GPS	SAD
GNAT-450					operativni			višenamenski											SAD
GNAT-750	4,95	10,12	500	64	operativni	750	7.600	višenamenski	24-40		X	X	X	FLIR	X	X		inerc. i GPS	SAD
SCOUT			158		taktički			izviđački			X	X			X				Izrael
PIONEER			190		taktički	150			6,5						2				Izrael
RANGER			275		taktički	100	500	višenamenski	5		X	X	X	X	X	X	X		Izrael
SEARCHER			317	63,6	taktički				14										Izrael
HUNTER	6,9	8,9	726	113	taktički	150-300	4.500	višenamenski	12	148	X	X	X	FLIR	X	X			Izrael
E-HUNTER					taktički														SAD
HERON			1.150		operativni		10.000	višenamenski	50	222	X	X	X	X	X	X			SAD
EYE-VIEW			90-100	15-30	taktički	100													Izrael
MICRO VEE		3,6	45	8	taktički	50			5		X	X	X	FLIR					Izrael
HARPI					taktički	100		uništ. radara				X	X	X	X				Izrael
HERMES-450	10	450	150		operativni		7.000	višenamenski	24		X	X	X	X	X	X	X	GPS	Izrael
HERMES-750		750			operativni		7.600	višenamenski	30		X	X	X	X	X	X	X		Izrael
DARTER		100			taktički	92,6	6.600												Izrael
COLIBRI								obuka oper.											Izrael
VANGUARD			211	40			5.000	civilna	16										Izrael
CROW			70	22			5.000	civilna	9										Izrael
FIREFLY			21				1.520	civilna	4										Izrael
SNOOPER			11				1.000	civilna	2										Izrael
STING 1		1.200	100	200-400	operativni				35-48										Izrael
STING 2			100	22-30	taktički				24-30										Izrael
EPEVIER					taktički				0,5									preprogram.	Izrael
JASTREB-2MA					taktički			višenamenski										preprogram.	Belgija
REIS/STRIZ					taktički			osmat. - izval				X	X	X	X			preprogram.	Bugarska
SOJKA III					taktički			osmat. - izval							X			preprogram.	Rusija
MART					taktički	30		osmat. - izval							X		X		Česka
CRECEBELLE					taktički			višenamenski			X	X	X	X	X				Francuska
BREVEL					taktički			višenamenski	7		X	X	X	FLIR					Francuska
PIVIER-289					operativni	100		višenamenski											Francuska
FOX AT			25		taktički			izviđački	5		X	X	X		X	X		radio, prepr.	Francuska
FOX TX			25		taktički			PED	5						X		X		Francuska

NAZIV SISTEMA	DIMENZIJE			KORISNI TERET (kg)	KLASA	DOMET (km)	VISINA LETA (m)	NAMENA	UZDKZ/ LJIVOST (km/sat)	BRZINA (km/h)	OPREMA								PROIZV. ODAC
	DUZINA (m)	RASPON KRILA (m)	MASSA (kg)								TV	OPTO ELEKT.	OPTO ELEKT.	IC	LINK	OME TAČI ER	LAS. ER	NAVO. DEZIJE	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FOX TS					taktički			akvizicijski	5					x	x				Francuska
FAIFUN			25		operativni			POB										TERCOM	Nemacka
MUCKE					operativni			PED									x	TERCOM	Nemacka
MIRACH 150					operativni			osm. akviz.			x	x	x	x	x	x	x		Italija
INTER/SMEIJ					taktički	60					x	x	x					preprogram.	Rusija
MIDGET					taktički	50													Svedska
SHADOW 600					taktički			visnamernski			x			FLIR	x	x			SAD
UAV-IX					taktički													preprogram.	Turska
PHOENIX					taktički														V Britanija
SIVA					taktički			osm. akvizic.	8		x	x	x	x	x				Spanija

le godine nalazi na opitovanju i ocenjivanju. Ova letelica ima preprogramirano vođenje sa senzorima čiji izbor može biti opcioni u zavisnosti od namene, tj. prirode zadatka koji se postavlja pred BL.

Pregled tipova BL i njihovih karakteristika, prema dostupnim informacijama, prikazan je u tabeli 1.

Zaključak

Bespilotne letelice predstavljaju još jedan korak u »tehnologizaciji« ratišta i integraciji ratišta za koje je karakteristično sve manje učešće čoveka u izvršavanju zadataka koji ga mogu dovesti u neposrednu opasnost. Da bi se stekla prednost u odnosu na neprijatelja, potrebno je prikupiti što vi-

še podataka o njemu, i u realnom vremenu ih proslediti komandnim centrima, kako bi se realizovao koncept borbe s distance i na taj način maksimalno zaštitio sopstveni vojnik na čiji su gubitak javnosti svih zapadnih zemalja vrlo osetljive. Uprkos izvesnim budžetskim ograničenjima, razvoj BL se intenzivira, tim pre što u njemu učestvuju i specijalizovane obaveštajne agencije, kao što je CIA sa novčanim sredstvima iz svojih budžeta. Ipak, radi smanjenja ukupnih troškova, najnoviji trendovi usmereni su na razvoj univerzalnih BL sa zamenljivom opremom i senzorima koji se kompletiraju u zavisnosti od postavljenog zadatka. U pogledu aerodinamičke konstrukcije ide se ka konfiguracijama sa što boljim aerodinamičkim iskorišćenjem kod kojih je već danas ostvaren odnos mase korisnog tereta i poletne mase 1:3.

Literatura:

- [1] Military technology, 1995, 1996.
- [2] International Defence Review, 1995, 1996.
- [3] Terre magazine, 1996.

Dr Svetomir Minić,
pukovnik, dipl. inž.
Odeljenje za naučnoistraživa
čku delatnost GŠ VJ,
Beograd

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA

**metode, primena u logistici i softver
— prikaz knjige —**

U izdanju Centra za vojno školstvo i naučnoizdavačku delatnost Vojске Jugoslavije, objavljena je knjiga **VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA — metode, primena u logistici i softver** general-majora prof. dr Siniše Borovića, načelnika CVS i NID VJ i profesora Vojnotehničke akademije VJ i prof. dr Ilije Nikolića, profesora Fakulteta organizacionih nauka u Beogradu — istaknutih i uglednih naučnika i stručnjaka u oblasti organizacionih nauka, kod nas i u svetu.

Recenzenti knjige su naši poznati naučnici i univerzitetski profesori, dr Slobodan Krčevinac, dr Milutin Čupić i dr Serafim Opricović.

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA na nov način povezuje teorijske podloge procesa odlučivanja sa inženjerskim prilazima i metodama optimizacije za rešavanje problema iz prakse primenom najsavremenijih tehnika i softverskih aplikacija. Ova »up-to-date« knjiga predstavlja naučno utemeljen prilaz za rešavanje problema optimizacije u savremenim organizacionim sistemima. Vojni aspekt obrađene tematike i sistematizovani obimni nastavni materijali sa fakulteta i visokih vojnih škola prepoznatljive su odlike ove jedinstvene monografije, koja će biti koristan vodič svim stručnjacima u ovoj oblasti.

Knjiga je nastala kao rezultat saradnje nastavnika FON iz Beograda i VTA VJ, a prikazuje odabrane metode, tehnike, primere i softvere koji su razvijeni ili korišćeni u više naučnih institucija.

U periodu od pedesetih godina ovog veka do ovih dana nastale su mnogobrojne metode optimizacije. Zbog potrebe rešavanja različitih problema primenom naučnih i inženjerskih metoda, značaj višekriterijumske optimizacije (VKO) naglo se povećao, tako da veliki broj istraživača proučava VKO, a ona se predaje na mnogim fakultetima.

Od poznavanja metoda optimizacije i širih mogućnosti njihove primene zavisi kakve će biti upravljačke mere, a prema tome i posledice njihovog delovanja u organizacionim sistemima u kojima su ljudi i tehnika, sa svim složenim uzajamnim odnosima.

Poznato je da nema uspešnog upravljanja u organizacionim sistemima bez efikasnih metoda i tehnika za podršku odlučivanju. Obezbeđenje skladnog i svrsishodnog delovanja svih ključnih činilaca u sistemu, na optimalan način, prema zadatim uslovima i uz zadovoljenje uvek više, a često i međusobno suprotstavljenih kriterijuma, predstavlja jednu od ključnih kreativnih delatnosti menadžmenta.

Zadatak optimizacije jeste da se izvrši izbor najbolje varijante (najboljeg rešenja) iz niza mogućih ili povoljnih varijanti, u smislu usvojenih kriterijuma. Optimalno rešenje predstavlja kompromis između želja (kriterijuma) i mogućnosti (ograničenja). Kriterijum se obično izražava kriterijumskom funkcijom, koja za najbolju varijantu (rešenje) treba da dostigne ekstremnu vrednost, s obzirom na ograničenja koja uslovljavaju mogućnost postizanja cilja optimizacije.

Optimizacija, u matematičkom smislu, svodi se na traženje ekstrema kriterijumske funkcije. Ona se vrši primenom različitih metoda, u zavisnosti od tipa relacija u matematičkom modelu, kriterijumske funkcije i ograničenja.

Ova jedinstvena naučna knjiga u kojoj se razmatraju savremene metode VKO, njihova primena u logistici i softver, biće izuzetno korisna inženjerima i drugim stručnjacima koji se bave ovom problematikom.

Sadržaj knjige VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA podeljen je u šest delova:

1. UVOD

- 1.1. Osnovni pojmovi o odlučivanju
- 1.2. Osnovni pojmovi o logistici
- 1.3. Proces odlučivanja
- 1.4. Matematički modeli i optimizacija
- 1.5. O primeni višekriterijumske optimizacije
- 1.6. Organizacija narednih poglavlja

2. OPŠTI POJMOVI O ODLUČIVANJU

- 2.1. Jednokriterijumska optimizacija
- 2.2. Višeciljno odlučivanje
- 2.3. Višeatributno odlučivanje

3. METODE REŠAVANJA JEDNOKRITERIJUMSKIH I VIŠEKRITERIJUMSKIH MODELA

- 3.1. Rešavanje jednokriterijumskih modela
- 3.2. Rešavanje modela višeciljnog odlučivanja
- 3.3. Rešavanje modela višeatributnog odlučivanja

4. ODABRANI PRIMERI PRIMENE VIŠEKRITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE

- 4.1. Primeri višeciljnog odlučivanja
- 4.2. Primeri višeatributnog odlučivanja
- 4.3. Zaključna razmatranja o primeni metoda višekriterijumske optimizacije

5. LITERATURA I BIBLIOGRAFIJA

6. DODATAK

Softver: GAMS (General Algebraic Modeling System)

Softver: Realizacija STEM (STEpMethod) u GAMS-u

Softver: Lee-ov program za ciljno linearno programiranje

Softver: Realizacija ciljnog (linearnog i nelinearnog) programiranja u GAMS-u

Softver: Metode ELECTRE I, II (deo paketa VKR-višekriterijumskog rangiranja)

Softver: Bramsov paket metoda PROMETHEE I, II

Softver: Expert Shoice — metoda AHP (analitičkog hijerarhijskog procesa)

Softver: Metoda VIKOR (višekriterijumskog kompromisnog rangiranja)

Opisi odabranih primera primene VKO u svetu i kod nas.

U prvom poglavlju knjige autori su istakli da nema poznatijih autora koji razmatraju neki od aspekata organizacije sistema, a da ne ukazuju na potrebu naučnog prilaza pripremi argumentovanih podloga za donošenje valjanih odluka u nizu oblasti organizovanog poslovanja.

Najčešće, relativno mali upravljajući aparat ima pravo da donosi ključne odluke koje potom pretvara u planove, a zatim u akcije i konkretne rezultate.

Odluka je rezultat odlučivanja i uvek se donosi da bi se ispunili određeni zahtevi — ciljevi koji su postavljeni u razmatranom problemu. Odlučivanje predstavlja izbor između više mogućih alternativa, iz mnoštva prethodno pripremljenih alternativa za razmatrani problem. Složenost izbora odluke je obrnuto proporcionalna broju alternativa i količini informacija o svakoj postojećoj alternativni.

Saglasno nivoima odlučivanja, odluke mogu biti strateške, taktičke i operativne. Za donošenje svake konkretne odluke relevantna su četiri faktora: važnost odluke, vreme, troškovi i složenost. U zavisnosti od stepena poznavanja ovih faktora pri donošenju odluke razlikuje se odlučivanje pri izvesnosti, riziku i neizvesnosti. Proizilazi da odlučivanje predstavlja izuzetno složen proces, a može biti racionalno (naučno) i intuitivno.

U ovoj knjizi razmatra se naučni prilaz odlučivanju a proces odlučivanja se razmatra kao sistem odlučivanja korišćenjem iskustva iz prakse.

Na kraju poglavlja navedene su osnovne oblasti primene metoda višeciljnog i višeatributnog odlučivanja u svetu i kod nas.

U drugom poglavlju prikazani su osnovni pojmovi i terminologija o odlučivanju primenom optimizacije i modela sa jednim i više kriterijuma.

Radi isticanja osnovnih karakteristika izloženih karakterističnih modela (8 za višeciljno odlučivanje — VCO i 9 za višeatributno odlučivanje — VAO) iz njihovog upoređenja u trećem poglavlju, posebno metoda za višekriterijumske probleme, kod svake grupe metoda sa namenom da rešavaju istu vrstu problema, najčešće je rešavan isti ilustrativni primer. Za neke metode dato je više primera, a veći broj grafičkih prikaza olakšava praćenje i razumevanje procesa rešavanja modela odgovarajućim metodama.

Primena metoda izložena je u četvrtom poglavlju kroz modelovanje, rešavanje i analizu niza karakterističnih grupa problema (5 za VCO i 4 za VAO) iz oblasti planiranja realizacije odgovarajućih zadataka. Uvođenje više kriterijuma i definisanje mnogih varijanti mogućih ograničavajućih faktora ili zahteva ima za cilj da se razmatrani problemi što više približe realnim situacijama odlučivanja i ilustruje formiranje odgovarajućih modela, njihovo rešavanje i analiza.

Razmatrani su sledeći zadaci: upotreba borbenih snaga i snabdevanje, izbor novih lokacija skladišta i snabdevanje, korišćenje više tipova transportnih sredstava, proizvodnja (proizvodni programi, rezervni delovi, proširenje kapaciteta), izbor radne snage i investicija, razmeštaj i izbor lokacija, upotreba sredstava i održavanje, izbor izvršilaca aktivnosti projekta, višekriterijumska analiza efikasnih rešenja dobro strukturiranih višekriterijumskih modela koji su prethodno rešavani metodama za višeciljno odlučivanje.

Najviše je primera linearnih problema i manji broj nelinearnih problema tipa transporta i raspoređivanja. Razmatrano je preko 20 zadataka VCO sa jednim kriterijumom ili sa više kriterijuma i 9 zadataka VAO. Rešavano je preko 300 varijanti matematičkih modela VCO i blizu 20 varijanti modela VAO. Dato je preko 150 tabela i više desetina slika i grafikona sa polaz-

nim podacima i rezultatima iz rešenja. Na kraju ovog poglavlja data su zaključna razmatranja o primeni modela i metoda višekriterijumske optimizacije.

U literaturi su navedene reference više autora sa radovima koji imaju sadržaje podudarne sa nekim oblastima iz prethodnih poglavlja i šira bibliografija radova iz srodnih oblasti, prvenstveno o odlučivanju i višekriterijumskoj optimizaciji.

Dodatak sadrži softversku realizaciju odabranih metoda: mešovito celobrojno programiranje jednokriterijumskog modela sa linearnim relacijama, STEM (STEpMethod), linearno i nelinearno ciljno programiranje, ELECTRE (iz paketa višekriterijumskog rangiranja koji je razvijen na VTA VJ), PROMETHEE, AHP — analitički hijerarhijski proces (softver Expert Choice) i VIKOR — višekriterijumsko kompromisno rangiranje. U poslednjem prilogu opisani su odabrani primeri primene VCO i VAO.

Posebno se ukazuje na paket GAMS koji obezbeđuje algebarsko modelovanje i rešavanje linearnih i nelinearnih modela, modela celobrojnog i mešovito celobrojnog programiranja, a može se koristiti i za modelovanje, odnosno realizaciju raznih proračuna za mnoge druge kompleksne zadatke (sa mnogo podataka, složenim proračunima, obimnim izveštajima) koji nisu optimizacionog tipa. Prikazano je korišćenje GAMS za rešavanje jednokriterijumskog problema mešovito celobrojnog programiranja, a zatim za realizaciju metode STEM (za linearni model sa više kriterijuma) i metode CP (ciljno programiranje za linearni i nelinearni model). Efikasnost softvera GAMS pokazana je u četvrtom poglavlju sa odabranim primerima primene višekriterijumskih metoda.

Obiman prilog odnosi se na softver Expert Choice (EC) — realizaciju metode AHP sa namenom da se reša-

vaju modeli VAO sa više nivoa za kriterijume. Potrebno je ukazati na to da pri rešavanju ove vrste modela sa drugim metodama, korisnik mora prvo da redefiniše polazni model i formira novi model u kome su svi kriterijumi na istom nivou, sprovodeći odgovarajući proračun za težinske koeficijente kriterijuma, kao što je pokazano u četvrtom poglavlju. Činjenica je da se u tu svrhu mogu poboljšati programi drugih prikazanih metoda, ali Expert Choice (kao proizvod istoimene svetske kompanije za proizvodnju softvera) pruža mogućnost da i korisnik sa manjim poznavanjem teorije, imajući na raspolaganju pregledne tabele i grafike, efikasno formira model, određuje i analizira rešenje. Autori su detaljno izložili karakteristike softvera Expert Choice kao podstrek da se i druge metode VAO realizuju na sličnim principima, navedenim u nastavku, kako bi se olakšalo korišćenje i isticale prednosti pojedinih metoda.

Opisi primera primene višekriterijumskih modela u poslednjem prilogu daju se sa ciljem da se u obliku kraćih abstrakta ukaže prvenstveno na definisanje kriterijuma i ograničenja u odabranim zadacima iz prakse, ali i na određene teorijske radove i realizaciju softvera. U skladu sa prikazanim oblastima primene, citirani su autori primera iz razvijenih zemalja na zapadu do 1980. godine, i daje se pregled radova domaćih autora na simpozijumima operacionih istraživanja (SIM-OP-IS) od 1980. do 1996. godine. Obuhvaćeno je preko 260 radova i to:

— preko 60 primera u svetu iz VCO,

— oko 55 primera i 40 teorijskih radova kod nas iz VCO,

— preko 60 primera u svetu iz VAO,

— preko 70 primena i 15 teorijskih radova kod nas iz VAO.

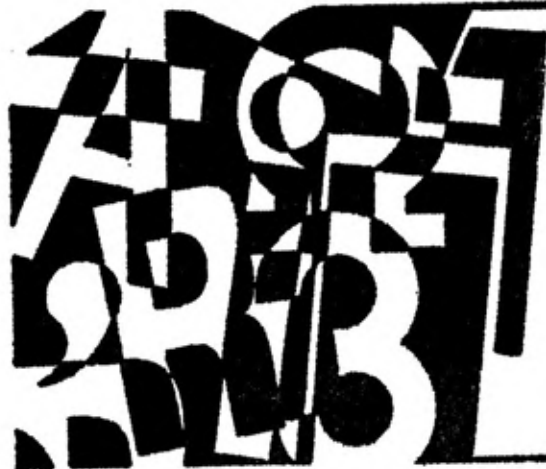
U ovom poglavlju čitaoci mogu prepoznati probleme koji su identični ili većim delom podudarni sa problemima iz sopstvene organizacije i mogu ih rešavati na izloženi način ili konkretne probleme rešavati po analogiji sa prikazanim primerima.

Ova sveobuhvatna knjiga, u kojoj je sublimirana savremena tematika VKO, prvenstveno je namenjena slušaocima poslediplomskih studija iz oblasti tehničkog i saobraćajnog obezbeđenja borbenih dejstava i specijalizacije na pozadinskom obezbeđenju koji se redovno organizuju na VTA VJ i većim delom je usklađena sa nastavnim planovima i programima. Nivo izlaganja je takav da knjigu mogu čitati i studenti na redovnim studijama, a mogu je koristiti i nastavnici i studen-

ti drugih fakulteta i rukovodioci na višim nivoima u vojnim i civilnim organizacionim sistemima.

Svojim sadržajem, naučnim i jasnim stilom pisanja, originalnim i preciznim načinom izlaganja, razumljivošću i logičnošću misli, uz primere VKO iz prakse, ova knjiga će koristiti inženjerima raznih specijalnosti, ekonomistima, matematičarima i vojnim stručnjacima, koji rade na metodama VKO i operacionim istraživanjima.

Knjiga VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA je napisana da pomogne stručnjacima da se brže i lakše snađu u svim složenim situacijama odlučivanja koje se pojavljuju u toku rešavanja aktuelnih zadataka, i to korišćenjem velikog broja primera primene VKO u svetu i kod nas.



prikazi iz inostranih časopisa

MODERNIZACIJA SISTEMA NAORUŽANJA TENKA T-72*

Naoružanje savremenih tenkova je sistem oružja, mehanizama, pribora i sistema namenjenih za rešavanje vatrenih zadataka. Uspešno rešavanje borbenih zadataka tenkovskih jedinica nemoguće je bez efikasnog korišćenja vatrene moći borbenih vozila koja se realizuje kompleksom naoružanja namenjenog za uništenje tenkova, drugih raznih oklopnih sredstava, otkrivenih i lakše utvrđenih vatrenih sredstava i žive sile protivnika, danju i noću, iz pokreta ili mesta i na raznim rastojanjima.

Pri tome je potrebno iznenaditi protivnika u otkrivanju cilja i otvaranju vatre, te imati dovoljno snažna sredstva za njegovo uništenje.

Pod vatrenom moći tenka podrazumeva se njegova sposobnost da uništi vatrom neposrednim gađanjem suprotstavljena sredstva protivnika. S tehničke tačke gledišta ona se određuje količinom i kvalitetom naoružanja i sistema koji ga opslužuju.

Vatrena moć tenka T-72 je u poslednje vreme pretrpela značajne pro-

mene koje su uključene u sistem naoružanja modernizovanog tenka T-72S.

Oružje tenka se deli na osnovno, pomoćno i dopunsko. Osnovno oružje je 125 mm glatkocevni top 2A46M visokih balističkih karakteristika kao poslednji modernizovani model topa D-81. Ranije se na tenk T-72 ugrađivao top 2A26M2 koji je imao dužinu cevi 6350 mm, dužinu barutne komore 840 mm, uglove za vertikalno navođenje od $-5,30^\circ$ do $+14^\circ$, normalnu dužinu trzanja 270—320 mm, granično trzanje 340 mm, početni pritisak u protivtrzaćem sistemu $62 \cdot 10^5$ — $64 \cdot 10^5$ N/m², masu trzajućih delova topa 2350 kg, masu cevi 1850 kg.

Kočnica trzanja topa 2A26M2 radi kompenzacije toplotnog širenja tečnosti imala je oko 400 ml vazduha, što je doводilo do stvaranja smese vazduha i tečnosti koja je bila uzrok neravnomernom trzanju. Zbog toga je dolazilo do grešaka pri gađanju koje su prevazilazile pogreške u tačnosti navođenja sistemom za upravljanje vatrom.

Radi povećanja efikasnosti gađanja izvedena je prva modernizacija topa, posle koje je dobio oznaku 2A46.

Modernizovani top karakterisao se povećanom dužinom cevi do 6358 mm i uglovima za vertikalno navođenje od -5° do $+15^\circ$, veličina barutne komore

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar—februar 1997.

se nije promenila, normalna dužina trzanja bila je 270—325 mm, granično trzanje 340 mm, masa topa 2 400 kg, a masa cevi 1 820 kg.

Top 2A46 ima termozaštitni omotač koji smanjuje uticaj toplotnog uvijanja cevi i kočnicu trzajuće konstrukcije u koju je uveden kompenzator količine tečnosti, što je poboljšalo ravnomernost trzanja i umanjilo otpor trzanju do izlaza zrna iz kanala cevi.

Kao rezultat sledeće modernizacije nastao je top 2A46M, koji je imao uvećanje potpune dužine cevi do 6 383 mm, mase trzajućih delova topa do 2 500 kg i mase cevi do 1 900 kg. Smanjeni su početni pritisak u povratniku na $58 \cdot 10^5$ — $61 \cdot 10^5$ N/m², normalna dužina trzanja do 260—300 mm, a granično trzanje do 310 mm. Na taj način je poslednja modernizacija topa imala dva usmerenja: to su konstruktivne izmene preduzete radi povećavanja tačnosti karakteristika gađanja i poboljšanja eksploatacionih svojstava.

U izmene koje su povećavale tačnost gađanja spadaju ugradnja dve simetrično razmeštene kočnice trzanja i povratnik postavljen u vertikalnoj ravni na osu kanala cevi. Kočnice trzanja su hidraulične s kanalima i kompenzatorom količine tečnosti, a kočnica vraćanja igličastog tipa, što omogućava malo prikočeno trzanje do izlaza zrna iz kanala cevi i postupno kočenje pri povratku, a takođe smanjuje mogućnost pomeranja podešenog nišana. Cev topa ima lakoskidajuću oblogu, koja se, zahvaljujući sektornim spojevima, može zameniti za dva časa.

Otpornost na uvijanje cevi povećana je od $318 \cdot 10^5$ N/m² na $392 \cdot 10^5$ N/m², smanjena je tolerancija na razlike debljina zidova cevi od 2,5 na 0,8 mm, što je smanjilo greške gađanja zbog toplotnog uvijanja, umanjena je tehnološka iskrivljenost cevi. Kolevka topa novog modela ima povećanu bazu od 900 na 1 500 m. Baza se sastoji

od dve vodice. Prednja je prstenasti bronzani umetak koji ima garantovani toplotni zazor sa cevi 0,3—0,8 mm radi kompenzacije toplotnog širenja pri gađanju. Zazor se reguliše pomoću tri podešavajuća mehanizma. Zadnja vodica su klizni oslonci na kolevci. Kolevka ima brzoskidajuće grlo koje je pričvršćeno sa četiri zavrtnja.

U izmene eksploatacionog karaktera spadaju lakoskidajući delovi obloge cevi, gornji položaj poluautomatike i nova konstrukcija mehanizma za zatvaranje koja omogućava nišandžiji ili komandiru otvaranje u dva ciklusa i sa smanjenim naprezanjem na 25 kg umesto ranijih 75 kg. Ugrađena je oprema za vizuelnu kontrolu tečnosti u kočnicama trzanja i povratniku, što omogućava proveru bez izvođenja veštačkog trzanja. Za brzo podešavanje topa pomoću ugrađene kontrolne opreme, na dužnom preseku cevi ugrađena je površina sa nišanskom mušicom.

Dopunskim oružjem tenka smatra se mitraljez 7,62 mm PKT sparen s topom.

U pomoćna oružja tenka spadaju PA mitraljez 12,7 mm NSV i sistem za zadimljavanje 9V902.

Borbeni komplet tenka sastoji se od municije za osnovno, dopunsko i pomoćno naoružanje.

Borbeni komplet tenkovskog topa ima 45 projektila sa razdvojenim punjenjem i različite namene. To su: protivoklopna potkalibarna zrna s početnom brzinom 1 715 m/s i probojnosti oklopa na daljini 2000 m — 430/170 mm; protivoklopna kumulativna zrna s početnom brzinom 905 m/s i probojnosti oklopa 500/200 mm i trenutnofugasna zrna s početnom brzinom leta 850 m/s i uslovnom površinom uništenja 300 m². Nabrojana zrna imaju isto eksplozivno punjenje. Projektil ZUBK14 sastoji se od vođene rakete 9M119 koja ima oblik trenutnofugasnog zrna i izbacujućeg punjenja.

U borbeni komplet mitraljeza spada 2 000 metaka za PKT i 300 metaka za NSV, nanizanih u redenike i smeštenih u municijske kutije.

U sistemu za zadimljavanje 9V902 nalazi se 12 dimnih zrna 3D6 81 mm, smeštenih u 12 lansirnih uređaja razmeštenih na oklopu kupole.

Osim toga, u borbeni komplet tenka ulazi i 10 granata F-1, 12 metaka za signalni pištolj i 150 metaka za automat.

U kompleks naoružanja ulazi i sistem za automatsko punjenje. Na tenku T-72 ugrađen je automat za punjenje elektromehaničkog tipa sa stalnim uglom punjenja i mehanizovanim slaganjem na donjem delu borbenog odeljenja.

Njegove osnovne karakteristike su: kapacitet obrtnog transportera — 22 projektila, brzina okretanja — do 70 m/s, trajanje punjenja jednog projektila 8 s. Postoje i duplirajući ručni pogoni transportera i mehanizmi podizanja kaseta, dostavljanje projektila je podeljeno u dva ciklusa, a vreme popune obrtnog transportera je 4 do 5 minuta. Automat za punjenje obezbeđuje ne samo veću tehničku brzinu gađanja već i veći nivo zaštite tenka na račun smanjenja unutrašnjeg prostora i visine tenka, a takođe i racionalno iskorišćenje prostora borbenog odeljenja za razmeštaj municije. Bez obzira na to što je masa automata 30% od projektila razmeštenih u njemu, a nemehanizovana samo 10—15%, automat omogućava smanjenje ukupne mase tenka na račun smanjenja obima unutar oklopa. Uređaj za automatsko punjenje povećava brzinu gađanja iz mesta 1,2 do 1,3 puta, a iz pokreta 2—3 puta, zatim, povećava postojanost tenka na račun niže siluete i korišćenja slobodnih prostora za ojačanje zaštite, kao i istovremeno korišćenje u borbenom kompletu veće količine različitih tipova projektila bez smanjenja

praktične brzine gađanja uz korišćenje projektila s razdvojenim punjenjem.

Osim toga, automat za punjenje je ekonomičan u trošenju elektroenergije i usklađen je sa drugim sistemima tenka. On obezbeđuje popunu projektila u mehanizmu za pakovanje, uvođenje u blok za memoriju informacije o tipu i mestu svakog od popunjenih projektila, davanje informacije o količini imajućih projektila u mehanizmu po tipovima, izbor zahtevanog tipa projektila i njegovo dostavljanje na liniju punjenja i prenos do kanala cevi, memorisanje podataka o utrošenim projektilima po tipovima, prihvrat i uklanjanje danaca projektila, davanje podataka o završetku ciklusa popune, izmeštanje neutrošenih projektila iz mehanizma. Radi izvođenja tačnog gađanja iz pokreta na tenk je ugrađen stabilizator tenkovskog naoružanja u dve ravni 2E42-2 sa elektrohidrauličnim pogonom za vertikalno navođenje i elektromehaničkim pogonom za horizontalno navođenje. Brzina navođenja po vertikali je 0,05 — 3,5 step./s, po horizontali 0,07 — 3,0 step./s, brzina prebacivanja je 24 step./s, a ima i režim havarijskog okretanja. Na prvim tenkovima T-72 postavljen je elektrohidraulični stabilizator u dve ravni 2E28 M sa lošijim karakteristikama od stabilizatora 2E42-2.

Sastavni deo kompleksa naoružanja je i komplet za nišanje 1A40-1 koji se sastoji od nišana-daljinomera TPD-K1M i ugrađene opreme za kontrolu rektifikacije. Nišan-daljinomer je namenjen za navođenje topa i sparnog mitraljeza na cilj (u horizontalnoj ravni automatski, poluautomatski i ručno, a u vertikalnoj ravni automatski i ručno), merenje udaljenosti do ciljeva iz mesta ili pokreta, gađanje iz topa i mitraljeza u režimu automatskog i poluautomatskog navođenja, unošenje bočnog preticanja pri gađanju iz topa po pokretnim ciljevima, navo-

đenje linije nišanja dnevnog ogranka noćnog nišana pri gađanju sa ZUB-K14.

Ugrađena oprema za kontrolu rektifikacije namenjena je za operativnu kontrolu korekcije rektifikacije nišana bez izlaska posade iz tenka. Kod prethodnih tenkova ugrađivani su optički nišani-daljinomeri TPD-2-49 sa dijapazonom merenja udaljenosti od 1 000 do 4 000 m, sa srednjekvadratnim odstupanjem merenja i uvođenja daljine u nišan od 3 do 5% od izmerene daljine i vremenom merenja daljine 15—30 sekundi.

Laserski daljinomer TPD-K1 je s dijapazonom merenja udaljenosti od 500 do 4 000 m, greškom merenja udaljenosti 10 m, vremenom merenja i uvođenja daljine — jedna sekunda na 1 000 m.

Skala nišana TPD-K1 obezbeđuje sledeće najveće nišanske daljine gađanja: za potkalibarsko zrno 4 000 m, za kumulativno zrno 4 000 m, za trenutnofugasno zrno 5 000 m, za vođeni projektil ZUBK14 4 000 m i za mitraljez 1 800 m.

Udaljenost za neposredno gađanje, pri visini cilja od 2 m, za potkalibarsko zrno je 2 120 m, a za kumulativno 1 000 m.

Kao noćni, na tenku se koristi periskopski, kombinovani, pasivno-aktivni nišan — pribor za navođenje 1K13-49.

Otkrivanje i prepoznavanje cilja danju moguće je na udaljenosti do 5 000 m, noću u pasivnom režimu do 850 m, i u aktivnom režimu do 1 300 m. Na tenkovima T-72 ugrađuje se elektronsko-optički, monokularni periskopski noćni nišan TPN-1-49 sa daljinom posmatranja noću, kod normalne prozračnosti atmosfere 600—800 m.

Na svim tenkovima T-72 postoji komandirski pokazivač cilja. Kao nišan PA mitraljeza koristi se kolimatorski nišan K10-T kojim se obezbeđuje gađanje zemaljskih ciljeva na rastojanju do 2 000 m i vazdušnih do 1 500 m.

Osnovnom osobenošću kompleksa naoružanja tenka T-72S smatra se uvođenje kompleta vođenog projektila 9K 120 u njegov sastav. Komplet 9K 120 sastoji se od tenkovskog uređaja za upravljanje 1K13-49 i projektila ZUBK14 s vođenom raketom 9M119. Navođenje rakete na cilj ostvaruje se pomoću kodiranog zraka lasera koji stvara tenkovski uređaj za upravljanje. Daljina gađanja raketom je od 100 do 4 000 m, gađanje je moguće samo iz mesta danju i noću ukoliko se cilj osvetljava.

Vreme leta rakete na maksimalnu daljinu je 17 sekundi, a verovatnoća pogađanja cilja na maksimalnoj udaljenosti 0,8. Princip dejstva zrna na cilju je kumulativni.

Tako su u procesu modernizacije kompleksa naoružanja pokazatelji vatrene moći tenka T-72 pretrpeli značajne promene. Osnovne su: povećanje tačnosti gađanja, kao rezultat usavršavanja sistema za upravljanje vatrom, ugradnja topa povećane tačnosti, upotreba projektila sa poboljšanim grupisanjem, preciznošću i balističkim karakteristikama. Povećale su se mogućnosti dejstva zrna po cilju i daljine efikasne vatre, posebno uvođenjem kompleksa 9K120, a povećana je i brzina dejstva celokupnog naoružanja zbog poboljšanja uslova rada posade i skraćenja vremena za pripremu projektila i aktivnosti za pripremu početnih podataka za otvaranje vatre.

M. Krbavac

RAKETNI SISTEM PROTIVVAZDUŠNE ODBRANE BUK-M1*

Kako pokazuje analiza iskustava iz lokalnih ratova, pre svega operacije »Pustinjska oluja«, osnovni udar po snagama protivnika nanosi se sredstvima za napad iz vazdušnog prostora.

Najveću efikasnost u odbijanju takvog napada, kako po dubini uništenja, tako i po visini leta različitih sredstava za napad iz vazdušnog prostora, imaju raketni kompleksi PVO srednjeg dometa. Zbog toga se smatraju osnovnim sredstvima za protivvazdušnu odbranu jedinica, vojnih grupacija i vojnih objekata.

Jednokanalni raketni sistem PVO KUB, koji je usvojen u naoružanje 1967. godine i nalazio se u serijskoj proizvodnji više od 15 godina, po svojim tehničkim i borbenim karakteristikama mnogo godina je smatran najefikasnijim raketnim oružjem PVO srednjeg dometa i pokazao odlične rezultate u borbenim dejstvima na Bliskom istoku 1973. godine, uništivši gotovo polovinu borbenih aviona vazduhoplovnih snaga Izraela.

Raketni kompleks KUB u malim lokalnim ratovima omogućio je da se odrede putevi daljeg tehničkog usavršavanja raketnih kompleksa PVO srednjih dometa u skladu sa promenama u organizaciji naleta sredstava za napad iz vazdušnog prostora.

Borbene mogućnosti raketnog kompleksa KUB, sa maksimalnom visinom uništenja cilja (7 km) u pojedinim taktičkim situacijama mogu biti nedovoljne za odbijanje naleta protivničkih sredstava za napad iz vazdušnog prostora ešeloniranog po visini, dok dubina zone uništenja (do 24 km) ograničava mogućnost odbijanja na-

pada ešeloniranog po dubini. Postupno (talasno) odbijanje naleta 3—4 ešelona sredstava za napad iz vazdušnog prostora, povećanje propusne sposobnosti, uvećanje broja jednovremeno uništavanih ciljeva sistema PVO, koji čini kompleks KUB, zahtevalo je njegovo brojčano povećanje i organizaciju integralnog korišćenja (komandnog sistema upravljanja).

Zbog toga su u naučnoistraživačkom institutu razrađeni i usvojeni 1979. i 1983. godine raketni kompleksi PVO srednjeg dometa BUK i BUK-M1 u kojima su razrešeni navedeni problemi. Uvažavajući poboljšane karakteristike sredstava za napad iz vazdušnog prostora, sredstava za protiv elektronsku borbu i sredstava za uništenje sredstava za PVO vatrom, uključujući i oružja visoke tačnosti, u razvoju sistema BUK bila je potpuno izmenjena konstrukciona struktura izrade u odnosu na KUB.

Neophodnost širenja zone dejstva zahtevala je povećanje potencijalnih karakteristika radarskih sistema i težinskih gabaritnih karakteristika rakete. Zahtev za povećanje višekanalnosti i postojanosti doveli su do stvaranja i razdvajanja sredstava za otkrivanje, upravljanje i navođenje, te povećanje autonomnosti sredstava raketnog kompleksa PVO.

Raketni kompleksi BUK (BUK-M1) u svom sastavu imaju:

— komandno mesto (KM) za upravljanje borbenim dejstvima raketnog kompleksa, prijem i obradu informacija koje dolaze od stanice za otkrivanje ciljeva, praćenja i pretpostavljenog KM, te raspored i prenošenje cilja do vatrenih sredstava;

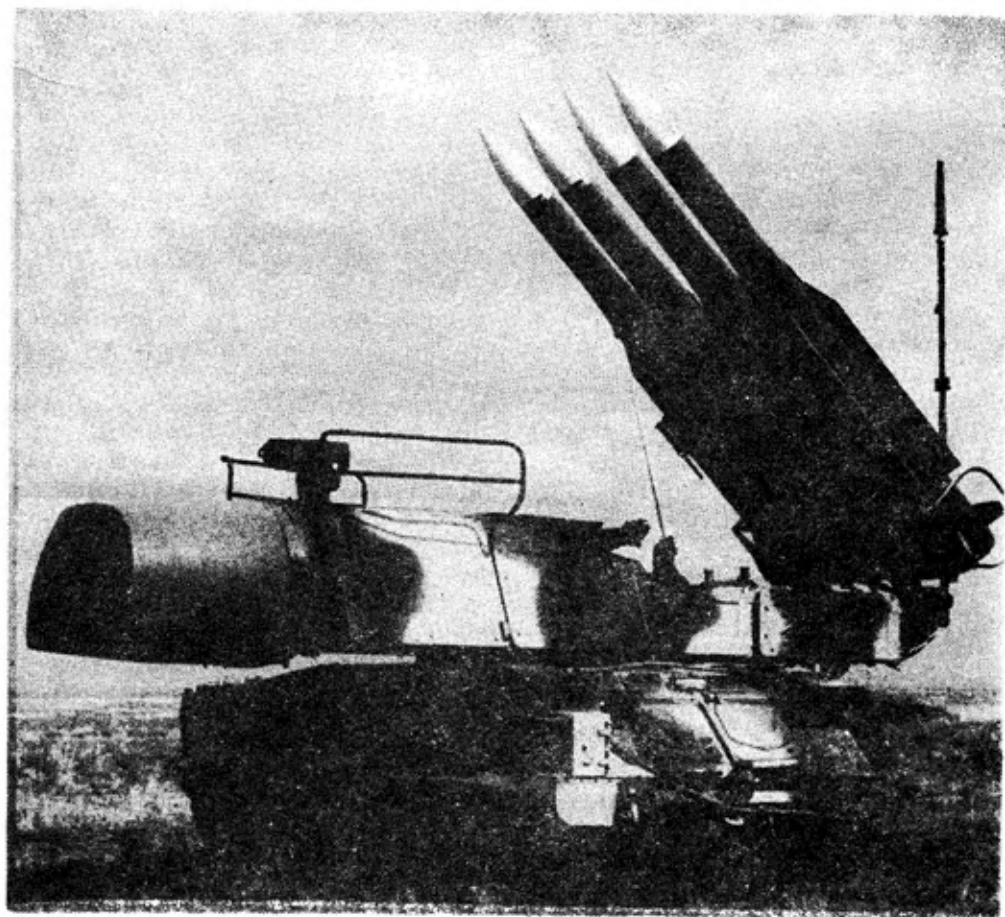
— stanicu za otkrivanje ciljeva (SOC) za prvu obradu radarske informacije i njeno slanje na KM;

— 6 samohodnih vatrenih oruđa velike autonomnosti, sa 4 rakete svako, namenjenih za otkrivanje (preko

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar—februar 1987.

KM ili samostalno), prepoznavanje ciljeva iz nadležnosti države, zahvata i praćenja, raspoznavanja vrste cilja, izradu rešenja za let rakete, lansiranje

dstvo PVO namenjeno za uništenje brzih (do 830 m/s) i manevrišućih (do 7—8 jedinica pretovara) pilotnih aerodinamičkih ciljeva, aviona — projekti-



Raketni sistem PVO BUK-M1

rakete sa svog lansirnog uređaja ili pridatog lansirnog uređaja, osvetljenje cilja, izradu i dostavljanje na raketu komandi za radio-korekciju;

— 3 do 6 lansirno-transportnih sredstava za lansiranje, čuvanje, prevoz i utovar-istovar raketa;

— vođene rakete PVO.

Raketni kompleks BUK-M1 je savremeno, visokoefikasno, mobilno sre-

la i krilatih raketa u uslovima masovnog naleta i intenzivnog radio-protivdejstva protivnika, kao i helikoptera za vatrenu podršku, uključujući i one na granično malim visinama. Kompleks je, takođe, sposoban da uništava vođene aviobombe i rakete.

Višedelna izrada, razvijena programska podrška, ugrađena kontrola i dupliranje osnovnih sistema, velika pokretljivost sredstava kompleksa obez-

beđuju mu gipko i operativno upravljanje, kao i visoku postojanost.

Zona dejstva svakog od vatrenih kanala je:

- po visini: od 15 m do 22 km,
- po daljini: od 3 do 35 km.

Samohodna vatrena oruđa (vatreni kanali) mogu biti udaljeni jedan od drugoga od 5 do 10 km i od KM do 10 km, što omogućava široko efikasnu zonu zaštite objekata, kako po frontu, tako i po dubini razmeštaja jedinica. Pri tome se zona vazdušne situacije analizira u radijusu od 160 km, što omogućava pripremu početnih podataka za odbijanje napada iz vazdušnog prostora i donošenje rešenja za organizaciju uništenja vazdušnih ciljeva.

Kompleks uništava 6 ciljeva koji lete istovremeno, sa raznih pravaca i na različitim visinama. Njegovo borbno angažovanje organizuje se na KM koje ima operativno-komandnu i telekodnu radio-vezu (duplira se i žičnom) sa svim sredstvima i pretpostavljenim komandnim mestom. Informacija o protivniku dolazi sa pretpostavljenog KM i centra za otkrivanje ciljeva na komandno mesto gde se procenjuje s obzirom na opasnost od tih ciljeva, a što zavisi od njihove brzine, vremena ulaska u zonu i visine leta. Raspodela ciljeva vrši se na osnovu poklapanja podataka obrađenih ciljeva sa razmeštajem na zemljištu i gotovosti vatrenih kanala. Za svaki vatreni kanal bira se cilj koji leti s najvećim parametrom kursa leta. Prema rezultatima raspodele ciljeva na komandni vatreni kanal šalje se signal pojave cilja.

Prema podacima o cilju vatreni kanal (samohodno vatreno oruđe) pretražuje i zahvata cilj u »uskoj« zoni ($\pm 3^\circ \times \pm 5^\circ$), izdaje komandu za pripremu rakete za lansiranje i izradu, u računar, rešenja za let rakete. U zavisnosti od vazdušne situacije i para-

metara cilja komandir vatrenog oruđa bira režime njegovog rada.

Pri ulazu cilja u zonu lansiranja i gotovosti uređaja samohodnog vatrenog oruđa za lansiranje uključuje se osvetljavanje cilja i lansira raketa. Radno vreme od momenta pojave cilja do odvajanja rakete je 14—15 s.

Na početnom delu putanje — do momenta odluke da radarska glava za samonavođenje rakete zahvati cilj — raketa se navodi na cilj u skladu sa unetim programom u računar i prema komandama za korekciju, koje se prenose sa samohodnog oruđa po kanalu za osvetljavanje cilja. Posle odluke za zahvat cilja raketa se samonavodi na cilj.

U momentu proletanja u rejonu cilja aktivira se bojna glava rakete i dolazi do uništenja cilja.

Raketa se može lansirati sa sopstvenog lansirnog uređaja i sa pridodatih lansirno-transportnih sredstava. Pri radu samohodnog vatrenog oruđa u autonomnom režimu otkrivanje i zahvat ciljeva ostvaruje se u sektoru 120° po azimutu i 7° po mesnom uglu u sektoru odgovornosti koji je zadat sa komandnog mesta.

Na osnovu analize vazdušne situacije i podataka koji dolaze sa pretpostavljenog KM, komandno mesto organizuje borbene radnje raketnog kompleksa zbog čega:

— određuje samohodnim vatrenim oruđima sektor odgovornosti po azimutu i mesnom uglu u kojima mogu izvršavati borbene radnje autonomno;

— šalje podatak o pojavi cilja na samohodna oruđa, prema podacima o vazdušnoj situaciji koju dobija od pretpostavljenog KM;

— izdaje komande o zabrani paljbe kada se predviđa prekomerno dejstvo po cilju;

— organizuje rad u parnim režimima — režimu lansirnog sredstva, režimu »tuđeg« osvetljenja, pri triangulaciji i zaštiti od PRR;

— dokumentuje proces borbenih radnji neprekidno u toku 24 časa.

Računarski sistem na KM vrši drugu obradu informacija o vazdušnoj situaciji, koja dolazi u obliku oznaka iz sistema za otkrivanje (kriterijum za praćenje »2 iz 2« za niskoletеće ciljeve i »3 iz 4« za ostale ciljeve), izbor »opasnih« ciljeva i njihove raspodele na samohodna oruđa, proračunske i logičke operacije za upravljanje raketnim kompleksom, pripremu i davanje podataka za operaciju informacione razmene podataka između samohodnog oruđa, pretpostavljenog KM, centra za otkrivanje ciljeva i sistema za dokumentaciju.

Četiri automatizovana radna mesta sistema dozvoljavaju posadi da kontroliše tok borbene aktivnosti i da sa računarskim sistemom uspostavi režim dijaloga.

Sredstva veze omogućuju komandnom mestu da razmenjuje informacije govorom ili telekodom na udaljenosti do 5 km sa sistemom za otkrivanje, do 10 km sa samohodnim vatrenim sredstvom i sa pretpostavljenim KM do 100 km.

Komandno mesto ima sledeće osnovne karakteristike:

— količina oznaka koje dolaze iz sistema za otkrivanje u periodu pretraživanja — do 75;

— broj pratećih ciljeva — do 15;

— vreme od momenta prijema prvog podatka o cilju pa do momenta slanja na samohodno lansirno oruđe za niskoletеće ciljeve je 6, a za druge ciljeve 10—13 s;

— vreme od dobijanja podataka o aktivnom ometanju sa samohodnog oruđa do momenta slanja signala za cilj po daljini 6 s;

— posada 6 ljudi.

Stanica za otkrivanje ciljeva (SOC 9S18M1) izrađena je na osnovu ravne talasno-provodne rešetke sa elektronskim skeniranjem po mesnom uglu i mehaničkim po azimutu. Zona otkrivanja formira se u dva oblika:

— za otkrivanje aerodinamičkih ciljeva s mesnim uglom do 40° i 360° po azimutu;

— za otkrivanje balističkih ciljeva i PRR s mesnim uglom 55° i 120° po azimutu;

— indikatorni domet je 160 km;

— tempo jednog posmatranja je 3, 6, 9 s;

— maksimalna visina zone otkrivanja je 22 km.

Antenski sistem formira parcijalni zrak čije se skeniranje vodi po specijalnom programu. Impulsi signal koji se sondira ima unutarimpulsnu frekventnu modulaciju. Frekvencija slanja i dužina trajanja impulsa programira se u zavisnosti od vazdušne situacije.

Sistem za otkrivanje ciljeva (SOC) snabdeven je računarom i sistemom za automatsko skidanje koordinata.

Samohodno vatreno oruđe (SOU 9A310M1) jeste višefunkcionalni sistem koji konstruktivno i funkcionalno obedinjuje radarski sistem i lansirno sredstvo.

Polazeći od namene, samohodno vatreno oruđe sadrži:

— radarsku stanicu za posmatranje, praćenje i osvetljavanje cilja;

— šifrovani računarski sistem;

— lansirno sredstvo za četiri rakete;

— sistem telekodne i operativno-komandne veze.

Antenski sistem radara izrađen je na bazi antene sa dva ogledala tipa

KASSEGREN. Kao rezultat toga obezbeđuju se dobre karakteristike pretraživanja i veliki uglovi otklona svetlosnog zraka.

Zona pretraživanja samohodnog vatrenog oruđa je $\pm 60^\circ$ po azimutu i 7° po mesnom uglu i može se pomerati po mesnom uglu od -5° do $+75^\circ$.

Zona praćenja po mesnom uglu je od -5° do $+75^\circ$, po azimutu $\pm 60^\circ$.

Daljina otkrivanja i zahvata cilja sa $EPR=2-3m^2$ je 100, odnosno 80 km.

Radar koristi tri vrste emitovanih signala — impulsni sa linijskofrekventnom modulacijom unutar impulsa i obradom u amplitudnom režimu i režimu CSDC, impulsno-doplerovski signal (kvazineprekidni) i neprekidni (po svetlosnom kanalu) signal.

Za račun male pikove snage postiže se niska dostupnost izviđanju. Primena različitih vidova emitovanja omogućava gipko adaptiranje na različite uslove vazdušne situacije i omećanja.

Za dupliranje rada radara na samohodnom vatrenom oruđu predviđen je televizijsko-optički vizir za izvođenje vatre bez uključenja radara na emitovanje po kanalu posmatranja.

Zaštita radara na oruđu garantuje se, kako ugrađenom opremom, tako i kompleksnim organizaciono-tehničkim merama.

Računarski sistem obezbeđuje rad svih sistema radara, izradu komandi za let rakete, upravljanje lansirnim uređajem, formiranje modela za navođenje rakete na cilj i, na osnovu rezultata modelovanja i realnih koordinata gađanog cilja, izrađuje komande za radio-korekciju leta rakete na početnom delu putanje.

Računarski sistem izrađen je na bazi računara s dovoljnom brzinom rada i neophodnom memorijom.

Lansirni uređaj samohodnog oruđa obezbeđuje lansiranje četiri rakete, njihovo čuvanje, transport i kontrolu pred lansiranjem. Lansirni uređaj se pred lansiranjem izvodi u pravcu predviđene tačke susreta, što omogućava da bliža granica zone uništenja ne bude veća od tri km.

Lansirno-transportno sredstvo (PZU 9S39M1) ima 8 raketa od kojih su četiri smeštene na nosačima lansirnog uređaja i odmah su spremne za lansiranje, dok se druge četiri nalaze u transportnim ležištima i mogu se premestiti na lansirnu rampu posle lansiranja prethodnih raketa. Lansirno-transportnim sredstvom upravlja se komandama sa samohodnog vatrenog oruđa koje se prenose radio-vezom (ili žičnom) preko analognog računara vozila.

Lansirno-transportno sredstvo opremljeno je utovarno-istovarnim uređajem, nosivosti do 1000 kg, namenjenim za utovar raketa iz transportnog vozila ili sa zemlje na sopstvenu rampu ili ležišta, a i na lansirni uređaj samohodnog raketnog oruđa.

Protivavionska vođena raketa (ZUR 9M38M1) izrađena je prema normalnoj šemi sa stringerovim krilom i ima dvorežimski raketni motor na čvrsto gorivo. U glavi rakete razmešteni su radar za samonavođenje sa radio-prozračnim omotačem, radio-upaljač i bojni deo rakete.

Elektronapajanje rakete ostvaruje se od generatora 220 V 400 Hz s pogonom od barutnog akumulatora pritiska. Radarska glava za samonavođenje je poluaktivnog tipa s repnim potpornim signalom, a zahvat cilja se ostvaruje na kraju inercionog dela navođenja rakete.

Radio-upaljač je impulsnog tipa s određivanjem geometrijskih razmera cilja, što, računajući funkcionalno vreme zadržke, koje se određuje brzinom približavanja ka cilju, omogućava ne-

ophodno usaglašavanje zone rasturanja parčadi sa oblašću aktiviranja radio-upaljača.

Tehničke karakteristike rakete su:

- maksimalna brzina rakete 1100 m/s
- vreme rada raketnog motora — — — — 11 s
- dužina rakete — — — 5,55 m
- maksimalni prečnik — 0,40 m
- maksimalni razmah krila 0,86 m
- masa rakete — — — 690 kg

Svi borbeni delovi raketnog kompleksa PVO BUK-M1 razmešteni su na samohodna gusenična vozila visoke prohodnosti, a uređaji i posada nalaze se u oklopnom delu vozila, zaštićeni od metaka i ubojne parčadi.

Vozila su opremljena hidromehaničkom transmisijom, hidrauličnim mehanizmom za okretanje i mekim ovesenjem potrebnim za visoku dinamičnost, manevarsku sposobnost i ravnomeran hod vozila. Sva samohodna vozila opremljena su: uređajem za prečišćavanje vazduha i sistemom za stvaranje natpritiska kojim se sprečava ulaz zagađenog vazduha u kabinu, sistemom za kondicioniranje (hlađenje) i grejanje radi stvaranja povoljnih uslova za boravak posade, sredstvima za topografsku i uzajamnu orijentaciju potrebnih za izlazak u zadati rejon i borbene radnje, sredstvima operativnokomandne i tehničke (telekodne) veze.

Masa borbenih sredstava nije veća od 36 t, a maksimalna brzina kretanja je 65 km.

Osnovni sklopovi i agregati samohodnih vozila su unificirani sa sklopovima i agregatima samohodnih vozila za raketne komplekse TOR i TUNGUSKA, što olakšava njihovu eksploataciju u jedinicama.

Za održavanje borbene gotovosti kompleksa predviđena su sredstva za tehničko održavanje, remont, snabdevanje rezervnim delovima i priborom, sredstva za transport, utovar i punjenje.

Sistem za tehničko održavanje obuhvata:

- vozila za tehničko održavanje samohodnih oruđa, stanicu za otkrivanje ciljeva i lansirno-transportnih sredstava;
- vozila za remont i tehničko održavanje sredstava kompleksa;
- prikolice za rezervne delove i pribor;
- transportno vozilo sa kompletnom opremom za dizanje i izvlačenje;
- automatsku kontrolno-ispitnu stanicu za kontrolu raketa u skladištima i bazama.

U osnovi je zastupljen agregatni princip remonta putem zamene pojedinih sklopova i blokova, a remont aparature sredstvima za tehničko održavanje i remont nije predviđen. Ipak, na vozilu za tehničko održavanje i remont postoji niz uređaja i kontrolne opreme koji omogućavaju ocenu ispravnosti niza blokova i uređaja.

Takav sistem remonta i tehničkog održavanja može biti prilagođen i organizovan kao stacionarni, polustacionarni i sl.

M. Krbavac

PERSPEKTIVE RAZVOJA SISTEMA AVIONSKIH PROTIVTENKOVSKIH SREDSTAVA*

Pojava helikoptera naoružanog protivtenkovskim raketnim kompleksom (PTRK) svojevremeno je dovela do preokreta u opštim pogledima i praksi izvođenja borbenih dejstava. Protivtenkovske vođene rakete bile su orijentisane, pre svega, na uništavanje jače oklopljenih ciljeva (tenkova), što je objektivno odražavalo važeće doktrine protivničkih strana.

U sadašnje vreme PTRK su znatno usavršeni, iako i danas poseduju neke karakteristike iz ranijeg perioda:

- gađanje se obavlja postupno, jer sistem raspolaže jednim kanalom za navođenje;

- ciklus za navođenje dovoljno je velik, realno se ne obezbeđuje više od 2 lansiranja u minuti;

- nameću se ozbiljna ograničenja na putanji leta nosača rakete za vreme napada;

- vođene rakete koriste tradicionalna bojna zrna kumulativnog tipa.

Istovremeno kvalitativno su se promenili uslovi primene PTRK. Razvile su se nove metode zaštite oklopnih sredstava, a u najskorije vreme treba očekivati praktičnu primenu aktivne zaštite tenkova. Može se prognozirati njihova dovoljna efikasnost u neutralisanju tradicionalnih PT vođenih raketa.

Razvoj protivvazdušnih raketnih i artiljerijskih kompleksa malog dometa i opremljenost jedinica ovim sredstvima, omogućili su jedinicama KoV efikasnu odbranu od sredstava vazdušnog napada u bilo kom vidu borbenih dejstava ili na maršu.

Iskustva iz lokalnih ratova, gde su se u velikoj meri koristili borbeni helikopteri, pokazala su da u procesu izvršenja osnovnih zadataka iz aviopodručke jedinica postoji potreba za uništenjem ne samo oklopne tehnike već i drugih manjih objekata (specijalna vozila, lansirna sredstva, RLS, mostovi, skladišta, zemljišna utvrđenja, itd.), kao i manjih plovnih sredstava u priobalnom pojasu.

Još uvek je aktuelna potreba neprekidnog vođenja borbenih dejstava, nezavisno od doba dana i meteoroloških uslova, kao i u uslovima informacionog protivdejstva.

Istraživanja pokazuju da rešenje navedenih protivrečnosti i zadovoljenje savremenih zahteva može da se postigne stvaranjem preciznih višeciljnih kompleksa naoružanja, sposobnih da obezbede:

- znatno smanjenje vremena boravka nosača rakete u zoni dejstva PVO;

- visoku tačnost navođenja u uslovima informacionog (ometačkog) protivdejstva;

- celodnevnu, primenu po ciljevima različitih kontrasta, u širokom dijapazonu meteoroloških uslova;

- veliku postojanost PT sredstava u uslovima vatrenog protivdejstva;

- univerzalnost dejstva PT sredstava (u nizu slučajeva kompleksa u celini) po raznovrsnim objektima širom fronta;

- efikasno dejstvo po grupnim ciljevima u jednom naletu, celim borbenim kompletom sa izborom ciljeva (konceptija »mnogokanalnog« ili serijski-plotunskog načina primene sredstava borbenog kompleta);

- realizaciju potpune autonomnosti PT sredstava nakon lansiranja (princip »opali i zaboravi«).

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar—februar 1997.

Savremeni kompleksi naoružanja u okvirima realizovanih tehničkih rešenja ne odgovaraju u potpunosti nabrojanim zahtevima, ne obezbeđuju veliki domet noću i u otežanim uslovima plotunsku paljbu, a nedostaju i rakete sa hiperzvučnom brzinom leta.

Precizni višeciljni kompleks avionskog vođenog naoružanja mora sadržati nadzvučne rakete velikog razornog dejstva, višekanalna sredstva veze, pokazivače cilja, automatsko nišanje, razne sisteme upravljanja vatrom, što je sve objedinjeno informaciono i tehnički u jedinstveni sistem.

Novi kvalitet avionski PTRK dobijaju primenom vođenih raketa s različitim tipovima bojnih glava, sistema za upravljanje sa dometom dejstva 10 do 15 km i kratkim vremenom leta.

Korišćenje nadzvučnih raketa (brzine do 800 m/s) sa snažnom kumulativno-trenutnofugasnom bojnomo glavom (do 40 kg) sa glavom za samonavođenje (GSN), obezbeđuje uništenje sa visokom verovatnoćom, kako oklopnih, tako i raznovrsnih manjih ciljeva. Pri tome, primena raketa s laserskim poluaktivnim i autonomnim GSN, omogućava ostvarenje dejstva na principu »opali i zaboravi«.

Uključivanje u sastav PTRK raketa sa poluaktivnim GSN je nužno jer je ona namenjena za uništavanje ciljeva koji nemaju kontrasta u odnosu na okolinu. Ovi GSN, u odnosu na autonomne, najjednostavniji su, najmanje koštaju i obezbeđuju najveću tačnost. Za borbu sa kontrastnim ciljevima treba primenjivati rakete s autonomnim GSN.

Sistem za upravljanje tipa »opali-zaboravi« s autonomnim GSN ima rizik gubljenja raketa i uništenja sopstvenih jedinica u uslovima niske kontrastnosti ciljeva. Složen sistem obrade podataka na raketi i uski spektar borbene primene govore da je princip »opali-zaboravi« na udaljenostima 5

do 6 km skup zbog velike vrednosti rakete. Zbog toga, uporedo sa sistemom samonavođenja za upravljanje nadzvučnim raketama sa snažnom bojnomo glavom, na avionu nosaču svrsishodna je primena svetlosnog sistema upravljanja »laserska putanja«, koja se odlikuje velikom otpornošću na ometanja zbog okretanja prijemnika na stranu nosača, velikom tačnošću i jednostavnošću aparature rakete.

Osim toga, sistem »laserska putanja« obezbeđuje sigurno navođenje rakete, praktično od momenta lansiranja do uništenja cilja koji je odabrao operator. Na taj način ne dozvoljava se uništenje sopstvene tehnike ili slučajno navođenje nekoliko raketa na jedan cilj.

Idealno rešenje problema opstanaka nosača rakete, mogućnosti plotunske paljbe i znatno smanjenje cene jeste stvaranje hiperzvučnih raketa (sa brzinom do 2000 m/s) s bojnomo glavom kinetičkog dejstva i lasersko-svetlosnim sistemom upravljanja »laserska putanja«, što omogućava gotovo trenutno uništenje cilja. Pri tome ima mesta za ekvivalent »opali-zaboravi«, zahvaljujući kratkom vremenu leta rakete na maksimalnu daljinu, a cena rakete je niska zbog jednostavnosti bojne glave u vidu pancirnog jezgra i jednostavnosti aparature za upravljanje. Ipak, pri relativnoj jednostavnosti hiperzvučne rakete i očiglednosti ocene rezultata gađanja, njena izgradnja traži rešenje niza tehničkih poteškoća.

Sistem za upravljanje vatrom projektuje se uzimajući u obzir automatsko otkrivanje cilja do 15 km, njihovu klasifikaciju, određivanje prioriteta opasnosti i plotunske paljbe različitim raketama. Automatsko pretraživanje i zahvat za autonomno praćenje do četiri cilja ostvaruje se termovizijskim automatom prema prethodno dobijenom položaju cilja sa radara koji se nalazi na nosaču rakete.

Sigurno samostalno praćenje cilja, u tom slučaju, obezbeđuje se celodnevno i u širokom intervalu meteoroloških uslova.

Radi skraćanja rokova i postupnog uvođenja korisno je etapno opremiti avione-nosače vođenim raketama:

— u I etapi raketama velikih brzina sa snažnom univerzalnom bojnoglavom, sa sistemom za upravljanje »laserska putanja« i poluaktivnom laserskom bojnoglavom za samonavođenje;

— u II etapi raketama velikih brzina sa snažnom bojnoglavom i poluaktivnim laserskim i autonomnim GSN i hiperzvučnom raketom s protivoklopnom bojnoglavom i sistemom za upravljanje »laserska putanja«.

Taktičke i borbene mogućnosti avionskih nosača znatno su veće kada su opremljeni automatskim višekanalnim osmatračko-nišanskim sistemima, vođenim raketama s raznim tipovima GSN, hiperzvučnim raketama s bojnoglavom kinetičkog dejstva i sistemom za upravljanje »laserska putanja«.

M. Krbavac

MALOKALIBARSKI BRODSKI TOPOVI*

Tokom šezdesetih i sedamdesetih godina malokalibarski brodski topovi nestali su iz mornaričkih dejstava, ali su se osamdesetih godina ponovo pojavili u sukobu Velike Britanije i Argentine na Folklandima (Malvinima), i mirovnoj multinacionalnoj operaciji u Libanu.

Ova iskustva dovela su do obnavljanja interesa za topove malog kalibra

u obliku zatvorenih sistema oružja (Close In Weapon Systems — CIWS) za protivraketnu ili protivavionsku odbranu, ili kao višenamenska oružja za različite zadatke koji zahtevaju primenu sile niskog intenziteta u kratkom periodu.

Važnost izvršenja tih zadataka dobila je na značaju tokom I rata u Zalivu, kada je osnovna opasnost pretila od iranskih brzih brodova naoružanih malokalibarskim sredstvima (od raketnih bacača do mitraljeza). Tri godine kasnije, opet u Persijskom zalivu, mornarica koalicije sprovodila je embargo UN protiv Iraka, a sledećih godina drugi embargo ustanovljen je na Jadranu. Tokom tih operacija topovi malog kalibra imali su vrlo važnu ulogu.

U prošlosti je pokušavano da se malokalibarskim topovima dodele obe uloge — u zatvorenim sistemima oružja (CIWS), i za višenamenske zadatke što je danas praktično ostvareno. Odbrana od raketa kratkog dometa zahteva visoko sofisticirane sisteme sa ekstremno velikom brzinom gađanja, posebnu municiju i sposobnost automatskog reagovanja preko sopstvenih senzora i veze sa operativnim borbenim centrom. S druge strane, ta oružja mogu imati odgovarajuću efikasnost i protiv aviona (što je za reakciju artiljerije rizično na malim daljinama).

Malokalibarski brodski topovi namenjeni su, uglavnom, za fleksibilne zadatke kao što je to u mirovnim operacijama. Oni mogu uspešno dejstvovati na minimalnim daljinama na kojima su druga, mnogo snažnija, oružja nemoćna. Takođe, omogućavaju gađanje preko pramca ili u okolini cilja, što je nemoguće raketama ili topovima srednjeg kalibra, a u slučaju potrebe mogu se iskoristiti kao proporcionalna snaga za mitraljesku vatru na vrlo kratkom rastojanju.

Tokom nekoliko poslednjih godina neke vodeće mornaričke zemlje počele su sa opremanjem svojih brodova

* Prema podacima iz časopisa **MILITARY TECHNOLOGY** 4/96.

malokalibarskim topovima, radi povećanja njihovih performansi u konfliktima niskog intenziteta ili mirovnim operacijama širom sveta.

Velika Britanija

Nekoliko godina pre rata na Falklandima, Velika Britanija izvršila je detaljnu obnovu malokalibarskih topova, tako da je borbena dejstva započela novim topom 30 mm LS30R, i magacinima sa 21 metkom. Međutim, njihova tačnost i pouzdanost nije bila potpuno zadovoljavajuća zbog male brzine gađanja (90 metaka/min) i nedovoljne rezerve municije. Kao privremena mera, topovi LS30R montirani su na razarače Tip 42, ali su kasnije povučeni. Sada su postoljem za ove malokalibarske topove opremljena samo dva broda klase FORT VICTORIA.

Velikim brojem topova OERLIKON 20 mm GAM-B01 i dvocevni topova GCM-A01 (oba proizvedena u Velikoj Britaniji), koji su zamenili ranije topove BOFORS 40 mm/60, opremljene su fregate Tip 22 BATCH 1 i 2. Današnji brodovi (fregate Tip 22 BATCH 3 i Tip 23) imaju dva postolja DS-30B, dok ostali ratni brodovi imaju kombinacije četiri postolja (GAM-B01 i/ili GCM-A03). Mornarica Velike Britanije ovim sredstvima dodeljuje ulogu samo u borbi protiv površinskih ciljeva, a protivvazдушna odbrana i protivraketni zadaci delokrug su dejstva topova Mk15 PHALANX i GOALKEEPER.

Francuska

Mornarica Francuske započela je u julu 1992. godine program 3A za poboljšanje samoodbrane od opasnosti iz vazdušnog prostora, a posebno od protivbrodskih raketa. Između nekoliko rešenja u tom programu, četiri fregate klase GEORGES LEYGUES, opremljene su sa po 2 jednocevna topa OTO

BREDA 30 mm. Slično rešenje prihvaćeno je i za tri velika amfibijska desantna broda (ORAGE, OURAGAN i FOUDRE). Svi ostali površinski brodovi francuske mornarice opremljeni su dvocevnim topovima 20 mm (OERLIKON ili GIAT F20), i često sa brojnim mitraljezima 12,7 mm.

SAD

Mornarica SAD, takođe, smatra malokalibarske topove isključivo namenjenim za borbu protiv površinskih ciljeva, a specijalizovane protivavionske i protivrakete zadatke izvršavaju topovi PHALANX. Međutim, brojna Mk67 i Mk68 postolja (zasnovana na starim topovima 20 mm HISPANO/SUIZA Mk16) još uvek su u upotrebi, mada je od 1987. godine prisutno rešenje novog standarda — automatskog topa 25 mm Mk38 (zasnovanog na poznatom topu M242 BUSHMASTER) montiranom na postolju Mk88.

U okviru planiranog programa modernizacije topova PHALANX, primenom termalnog odraza visoke rezolucije omogućiće se tačnije praćenje malih površinskih ciljeva. Preliminarna razmatranja bila su usmerena na mogućnost sekundarne uloge kao protivpovršinskog sistema. Osim toga, poznato je da je mornarica SAD koristila pešadijska oružja na rečnim brodovima tokom rata u Vijetnamu. Od tada, najbrži brodovi specijalnih odreda opremljeni su univerzalnim postoljem na koje mogu da se montiraju mitraljezi 7,62 mm i 12,7 mm ili bacači granata 40 mm Mk19. Takođe, bili su montirani i minobacači 82 mm Mk2 spregnuti sa mitraljezima 12,7 mm. Novi patrolni brodovi CYCLONE opremljeni su sa 6 takvih višenamenskih postolja, dok se nova klasa rečnih patrolnih brodova STINGER oprema sa 4 postolja.

Iznenadjujuće je da je vrlo mali broj ruskih brodova opremljen malokalibarskim topovima, verovatno zato što su palube prenatrpane, pa gotovo i nema slobodnog prostora za montažu dodatnog naoružanja. Pored toga, ruska mornarica je potpuno nezainteresovana za učešće u mirovnim operacijama koje zahtevaju upotrebu malokalibarskih topova. Osim moguće upotrebe topova 30 mm (dvocevni AK-230 ili šestocevni »getling« AK-630), samo specifične primene zahtevaju instaliranje postolja za mitraljeze 14,5 mm na letećim brigadama razarača klase UDALOY.

Prikaz modela

DES-30B

Postolje DES-30B 30 mm najčešći je sistem tog kalibra, pa ga je britanska mornarica odabrala kao novi standard oružja malog kalibra. Trenutno, njime su opremljene fregate Tipa 22 BATCH 3 i Tipa 23, a treba da zamenе postojeće topove 20 mm i 40 mm. Osim toga, proizvodiće se za Australiju (za novu klasu protivdesantnih brodova HUON), Maleziju (za fregate klase LEKIU) a verovatno i za SAD, Francusku i Grčku.

Sistem DES-30B prvenstveno je namenjen za borbu protiv površinskih ciljeva. Standardni top je ROYAL ORDNANCE 30 mm/75 KCB, sa brzinom gađanja od 600 metaka/min (moguća je i jedinačna paljba) i sa 160 metaka u rezervi. Druga mogućnost je top 30 mm RARDEN, 30 mm MAUSER model F i 25 mm BUSHMASTER. Nišandžija ima na raspolaganju standardnu nišanu opremu i kontrolu zahvaljujući palici (joystick) sa dvoosnom stabilizacijom koja kompenzira kretanje broda i omogućava adekvatno praćenje cilja. Ukratko, DES-30B je efikasan i vrlo

pouzdan sistem, projektovan da održi odnos životni vek — cena što je moguće nižim.

Takođe, u ponudi je i SIGMA (Stabilized Integrated Gun — Missile Array — integrisani stabilisani topovsko-raketni sistem) sa verzijom DS-30 i dve dodatne rakete brod — vazduh STAR-



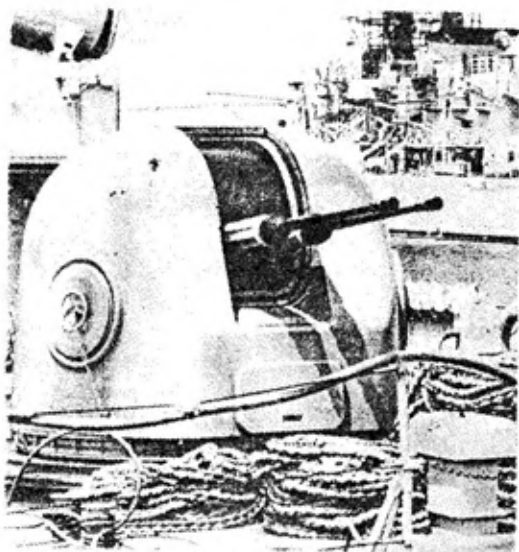
Sl. 1 — Topovska platforma DS30B sa automatskim topom 30 mm KCB

BURST. Korišćenjem topovskog postolja, lansiranjem raketa male mase poboljšavaju se performanse u odnosu na opasnosti iz vazdušnog prostora uz vrlo razumnu cenu. Većina postojećih postolja sa daljinskim upravljanjem pruža solidnu osnovu za izvršenje jednostavnih zahteva, što će, verovatno, biti budući izbor.

OTO BREDA 30

Sistem ili niz sistema OTO BREDA prethodnik je na tržištu malokalibarskih topova. Kupola 30 mm ima mno-

go verzija, uključujući dvocevne ili jednocevne topove, sa lokalnim ili daljinski upravljanim postoljem. Osim topa 30 mm/82 MAUSER model F, kao standardni nude se BUSHMASTER II i OERLIKON/ROYAL ORDNANCE KCB, i topovi 25 mm (OERLIKON KBB i KBA, GIAT M811 i McDonnell Douglas M242 BUSHMASTER).



Sl. 2 — Platforma OTO BREDA sa dvocevnim topom 30 mm

Karakteristike sistema OTO BREDA 30 su troosna stabilizacija, kompjuterska kontrola gađanja i potpuno nezavisna korelacija između linije nišanjenja (line on sight — LOS) i linije gađanja (line of fire — LOF). Performanse servodinamike omogućavaju da se kupola koristi u sekundarnoj protivraketoj ulozi, kao što je već prihvaćeni francuski program 3A.

Podatke o cilju mogu, takođe, unositi spoljni izvori (navigacijski radar ili postojeći optički uređaj za navođenje), pomažući nišandžiji da locira cilj čak noću i u uslovima smanjene vidljivosti. Sistem OTO BREDA 30

koristi se u marnaricama Francuske, Italije, Venecuele i Tajlanda, kao i u obalskoj straži SAD.

OTO BREDA 25 KBA

Sistem OTO BREDA 25 KBA je male mase (930 kg), a koristi topove OERLIKON 25 mm/80 KBA čija je brzina gađanja 600 metaka/min. Top ima hidraulički uređaj, tako da se od nišandžije ne zahteva poseban napor u toku nišanjenja i praćenja cilja. Pored toga, pozicija nišandžije je takva da može sedeti čak i kada je angažovan na praćenju ciljeva koji lete velikim brzinama ili kada su potrebne velike elevacije. Topovski nišan je standardnog oblika sa paralelogramom, ali se može lako postaviti i noćni nišan. Top ima zavidnu rezervu municije (dve kutije po 96 metaka).

Topovsko postolje detaljno je ispitivala italijanska mornarica na fregata ESERO (klase MAESTRALE) i pogodno je za opremanje brojnih ratnih brodova.

Mk38 / Mk88

Nabavka brodske verzije dobro poznatog topa Mc Donnell Douglas 25 mm/87 M242 BUSHMASTER počela je 1987. godine kao zamena za starije topove 20 mm. Top ima brzinu gađanja 100—200 metaka/min, može se puniti sa jedne ili obe strane, a na standardnom broskom postolju Mk88 postoji magacin od 150 metaka. Konvejer topa je električno pokretan pomoću istog motora koji se koristi u donosaču metaka. Top ima solidnu reputaciju u pogledu pouzdanosti.

Mornarica SAD opremila je mnoge svoje jedinice ovim postoljima, od malih desantnih brodova do nosača aviona TICONDEROGA i velikih amfibij-

	30 mm jednocevni	25 mm KBA	EMERLEC 30	DES 30	SEA VULKAN	VALKYRIE	STARC 25	GCM-AO3	GAM-B01	Mk-88	Mk-38
Proizvođač	Oto Breda	Oto Breda	Emerlec	MSI	Lockheed Martin	ESCO	Kollmorgen	BMARC	Oerlikon	MSG	MSG
Zemlja	Italija	Italija	SAD	V. Britanija	SAD	SAD	SAD	V. Britanija	Švajc.	SAD	SAD
Status	u upotrebi	u upotrebi	u upotrebi	u upotrebi	razvoj	razvoj	razvoj	u upotrebi	u upotrebi	u upotrebi	u upotrebi
Kontrola postojanja	lokalno i daljinski	lokalno	lokalno i daljinski	daljinski	daljinski	daljinski	daljinski	daljinski	lokalno	lokalno	lokalno
Stabilizacija	da, tri ose	ne	da	da, dve ose	da	da, tri ose	da	da	ne	ne	ne
Masa (kg)	1330	930	3450	1200	1315	—	—	1900	500	560	560
Brzina gađanja	800	600	1200	600	750—2000	200	200	1300	1000	200	200
Rezerva municije	160	252	1970	160	—	—	150	640	200	150	150
Topovi	30 Mauser F 30 Bushmaster II 30 KCB 25 KBA 25 Bushmaster 25 GIAT	25 KBA	2x30 KCB	30 KCB 30 Mauser F 30 RAR-DEN 25 Bushmaster	25 GAU-12/U	30 Bushmaster II 25 Bushmaster	25 Bushmaster	2x30 KCB	20 KAA	25 Bushmaster	25 Bushmaster + bacač granata 40 mm Mk 19

skih brodova, dok ih je obalska straža SAD prihvatila za svoje čamce, zamenjujući stare topove 20 mm ili zastarele kupole 76 mm/50.

VALKYRIE

Razvijen u firmi ESCO kao deo konkursnih zahteva za patrolne čamce CYCLONE, program modernizacije VALKYRIE pruža stabilisano i daljinski upravljano postolje sa sofisticiranim senzorom, TV kamerom, laserskim daljinomerom i laserskim označivačem. Osim topa 25 mm ili 30 mm platforma može da se prilagodi i drugim vrstama naoružanja, uključujući i dve laserski vođene rakete HELLFIRE ili 4 protivavionske rakete STINGER ili lansere nevođenih raketa (sa 7 ili 19 cevi). Alternativno, može se instalirati i lokalna upravljačka jedinica umesto dopuskog oružja.

V. Radić

SISTEM ZA DALJINSKO HEMIJSKO IZVIĐANJE SA ZEMLJE KDHR-1N*

Zaštita vojnih jedinica od oružja za masovno uništenje je najaktuelniji problem bez čijeg rešenja se ne može obezbediti nacionalna bezbednost države. Zato se savremena armija mora opremiti usavršenim tehničkim sredstvima za radiološko, hemijsko i biološko (RHB) izviđanje radi blagovremenog i verodostojnog uočavanja činjenica o primeni oružja za masovno uništenje (OMU), razmera kontaminiranosti okoline i ocene RHB situacije u realnom vremenu.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar-februar 1997.

Smatra se da važnu ulogu u ostvarenju sistema zaštite od OMU imaju vozila za hemijsko izviđanje, opremljena daljinskim i lokalnim sredstvima za RHB izviđanje.

Tipičan predstavnik takvog sistema RHB zaštite, koji je prvi uveden u naoružanje, jeste kompleks za daljinsko hemijsko izviđanje sa zemlje KDHR-1N, koji je razvijen u firmi »Astrofizika«, po nalogu ministarstva odbrane RF.

Laserski sistem KDHR-1N prošao je sve faze razvoja i osvajanja serijske proizvodnje i uveden je u opremu OS RF.

On u realnom vremenu registruje hemijski napad, određuje koordinate i parametre oblaka aerosolnih otrovnih materija, daje signal za hemijsku uzbunu i prenosi signale obaveštavanja radio-kanalom ili žičnom vezom u automatizovani sistem komandovanja.

Smešten je na guseničnom samohodnom vozilu i dodatno opremljen priborom za lokalno radiološko i hemijsko izviđanje, sredstvima veze, signalizacije, obaveštavanja i navigacije u skladu sa preporukama za borbenu primenu.

Za posadu su predviđena sredstva za individualnu i kolektivnu zaštitu.

Kompleks rešava sledeće zadatke pri izvođenju daljinskog hemijskog izviđanja:

— otkrivanje aerosolnih oblaka otrovnih materija na udaljenostima: do 3 km pri zapreminskoj koncentraciji koja stvara graničnu gustinu strujanja (operativno kontrolisana površina 28 km za 60 s), do 5 km pri zapreminskoj koncentraciji koja stvara borbenu gustinu strujanja (operativno kontrolisana površina 78 km), do 7 km pri zapreminskoj koncentraciji, u momentu otkrivanja hemijskog sredstva,

i početni period formiranja oblaka (operativno kontrolisana površina preko 78 km);

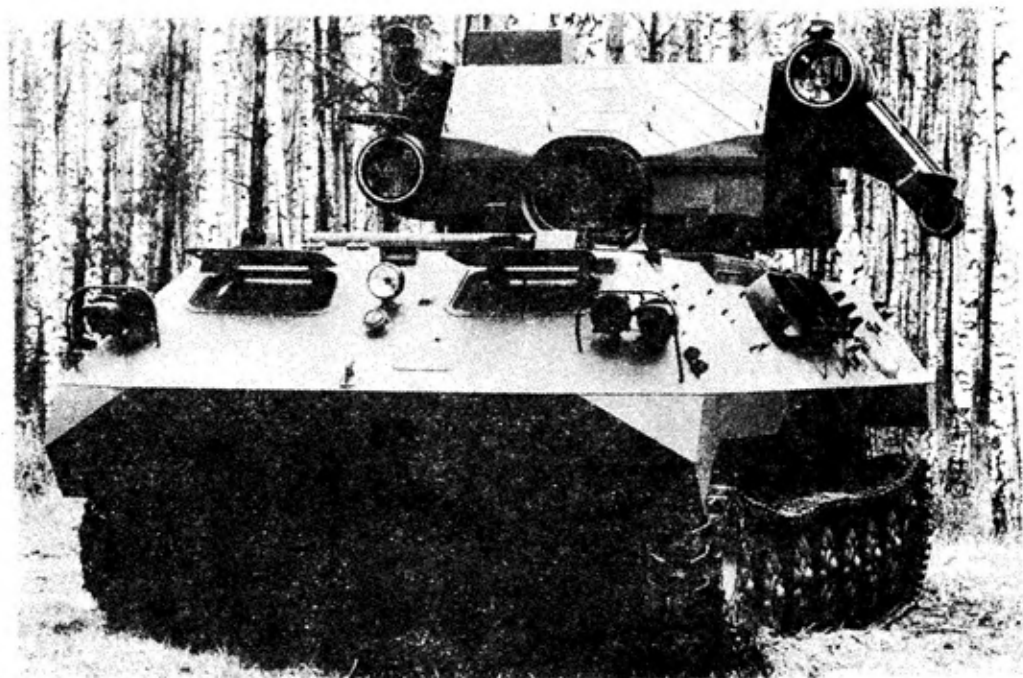
— otkrivanje oblaka otrovnih materija sa zadanom verovatnoćom uzbune u uslovima prirodnih i veštačkih ometanja (prašina, dim i drugi faktori koji prate borbena dejstva);

upravljanje sistemom zaštite oklopnog sredstva PKUZ;

— automatski signalizator gasova — GSA-12;

— indikator jačine doze — IMD-21;

— određivač gasova — PGO-11;



Sistem KDHR-IN

— neprekidno automatsko osmatranje prostora kružno 360° po azimutu za vreme do 1 minuta, sa davanjem uzbune (signala za uzbunu) za najviše 2 sekunde od momenta otkrivanja oblaka otrovnih materija.

Osim laserskog radara za otkrivanje aerosolnih oblaka u kompleksu se nalaze kontakti (lokalni) automatski i poluautomatski pribori za radiološko i hemijsko izviđanje.

U sastav sredstva ulaze:

— прибор за радиолошко и хемијско извиђање PRHR или комплекс за

— komplet za izbor proba — KPO-1;

Kao bazno vozilo koristi se višenamenski, lakooklopljeni, plivajući gusenični transporter MT-LBu, koji obezbeđuje zaštitu posade od dejstva uništavajućih faktora OMU.

Kompleks koristi metod optičke lokacije aerosola, zasnovan na sondiranju atmosfere laserskim zračenjem predajnika, uz naknadnu registraciju laserskog zračenja koje je indukovano otrovnim materijama.

Laserski sistem sastoji se od:

- predajnog uređaja, koji se sastoji od optičkih prijemnika sredstava za obradu signala, bloka za pretvaranje informacije sa sinhronizatorom i specijalnog računara;

- blokova za otkrivanje, usaglašavanje, prepoznavanje, sinhronizaciju i određivanje koordinata;

- uređaja za elektromehanički pogon sa davačima položaja, pogona po azimutu i mesnom uglu i bloka za programsko upravljanje.

Prelaz ka daljinskim načinima otkrivanja povećava mogućnosti vozila za hemijsko izviđanje, jer omogućava posmatranje stvarnih eksplozija municije i dinamiku razvoja procesa u oblaku otrovnih materija pri njegovoj disperziji u prizemne slojeve atmosfere, kada ne dolazi u kontakt sa parama otrovnih materija.

Kod daljinskog sondiranja aerosolnog oblaka određuje se njegova udaljenost, dubina po centralnom preseku, visina iznad zemlje i ugaone koordinate epicentra. Aparatura je smeštena u dva odseka (odsek aparature i odsek upravljanja).

Na vozilu su ugrađeni: navigaciona aparatura, dve radio-stanice, pribori za noćno osmatranje, aparatura spretna sa sistemom za automatizovano komandovanje, uređaj za lansiranje raketa SHT; desantni meteokomplet, komplet zaštitnih maski IP-5 i zaštitne odeće, degazacioni komplet i komplet dimnih granata.

Pomoću ovih sredstava rešavaju se isti zadaci kao i sa vozila za hemijsko izviđanje. Na taj način, kompleks KDHR-1N je hemijsko izviđačko vozilo sa dodatnim mogućnostima za račun ugrađenog laserskog sistema za daljinsko otkrivanje otrovnih materija tipa VX.

Laserski uređaj je prvi put smešten u telo vozila za hemijsko izviđanje,

uvažavajući pri tome praktično sve zahteve izdržljivosti na razne uticaje, među kojima i od dejstva OMU, a takođe i zahteve ergometrije i sl.

Prvi put u praksi razvoja vozila za hemijsko izviđanje upravlja se sa jednog pulta povezanog sa računarom u vozilu. Tako su u jedinstveni informacioni prostor objedinjeni svi podaci o stanju sistema u celini, a upravljanje je potpuno automatizovano.

Suštinska razlika kompleksa KD HR-1N od tipskih vozila za hemijsko izviđanje sastoji se u:

- ugradnji specijalnog računara koji se može koristiti za rešavanje niza zadataka nastalih pojavom RHB kontaminacije i za njeno prognožiranje;

- snažnijem sistemu obezbeđenja energijom (snaga izvora energije ugrađenog na vozilu veća je nekoliko puta u odnosu na tipske), što omogućava povećanje kompleta pribora za izviđanje i kontrolu;

- novoj konstrukciji kupole, što je povećalo korisni prostor tela vozila;

- ugradnji televizijskog vizira, što omogućava posadi da uverljivije deluje na zemljištu;

- jedinstvenoj informacionoj komandnoj tabli, koja odražava stanje funkcionalnosti celog sistema, njegovih odvojenih elemenata i osnovne neispravnosti u sistemu;

- mogućnosti otkrivanja i merenja parametara oblaka aerosola u realnom vremenu, i blagovremeno obaveštavanje o opasnosti;

- mogućnosti ugradnje malogabaritnog uređaja za kondicioniranje, što znatno poboljšava uslove boravka posade u vozilu.

Razrađeni algoritmi upravljanja sistemom jednostavni su i dostupni licima sa srednjim obrazovanjem.

U perspektivi se KDHR-1N može dodatno opremiti priborima za eko-

loški monitoring, kontrolu zona havarija i katastrofa. Osnovni pravci primene kompleksa KDHR-1N su rešavanje zadataka vojnog hemijskog izviđanja, tehničke kontrole zemljišta, ekološkog monitoringa na mestima uništenja hemijskog oružja i u interesima očuvanja životne sredine.

U toku ispitivanja i istraživanja utvrđeno je da sredstva na bazi kompleksa KDHR-1N mogu obezbediti rešenje sledećih zadataka:

- kontrolu smera širenja oblaka otrovnih materija, njihovih imitatora, tehnogenih aerosolnih primesa od različitih izvora (prostorni i tačkasti izvori, linijski, trenutni, neprekidni, itd.) u prizemnom sloju atmosfere;

- merenje geometrijskih razmera oblaka (front, dubina, poprečni presek, i sl.) u dinamici pri njegovom slega-

nju, uz suštinsko smanjenje količine lokalnih sredstava za tehničku kontrolu i ekološki monitoring;

- određivanje visine i koordinata raznih tipova municije i izvora primesa u atmosferi, kao i opasnosti od uništenja objekata i ciljeva koji se brane;

- povećanje tačnosti prognoziranja kontaminiranosti zemljišta i atmosfere od upotrebe raznih izvora.

U toku poligonskih ispitivanja prikazana je primena sredstava na bazi KDHR-1N za operativnu kontrolu hemijske i ekološke situacije u realnom vremenu bez ulaska u zonu zatrovanosti. To je potvrdilo da daljinskim sredstvima za hemijsko izviđanje pripada budućnost.

M. Krbavac

Vojnotehnički glasnik je stručni i naučni časopis Vojske Jugoslavije.

Svojom programskom koncepcijom časopis obuhvata sistem tehničkog obezbeđenja, tehniku vidova, rodova i službi, razvoj, proizvodnju, upotrebu, tehnologiju, metodologiju, organizaciju i stručna, naučna, teoretska i praktična dostignuća, koja doprinose razvoju vojne misli i usavršavanju pripadnika Vojske Jugoslavije.

Članak se dostavlja Redakciji u dva primerka, a treba obavezno da sadrži: propratno pismo sa kratkim sadržajem članka, članak, spisak grafičkih priloga, spisak literature i podatke o autoru.

U propratnom pismu treba istaći da li se radi o originalnom, naučnom, stručnom radu ili kompilaciji, koji su grafički prilozi originalni, a koji pozajmljeni.

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), i ključne reči na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu i zaključak. Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica sa dvostrukim proredom). Tekst mora biti jezički i stilski do-teran, sistematizovan, sa jasnim mislima, bez daktilografskih grešaka, bez skraćenica (osim standardnih), uz upotrebu stručne terminologije. Sve fizičke veličine moraju biti izražene u zakonski dozvoljenim mernim jedinicama. Matematičke izraze, koji se ne mogu pisati mašinom, ispisati rukom, pri čemu voditi računa o tačnom pisanju slova grčke azbuke, o velikim i malim slovima, o indeksima i eksponentima. Redosled obrazaca (formula) označavati rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Ne treba ih lepiti, već samo naznačiti njihovo mesto u tekstu. Crteže treba raditi tušem na paus-papiru. Tabele treba pisati na isti način kao i tekst, a označavati ih rednim brojevima sa gornje strane.

Spisak grafičkih priloga treba da sadrži naziv slike — crteža i nazive pozicija na njima.

Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije se honorišu prema važećim propisima VJ.

Podaci za autora sadrže: ime i prezime, čin, titulu, adresu radne organizacije (VP), kućnu adresu, telefon na radnom mestu i kućni telefon, žiro-račun banke i SO mesta stanovanja.

Rukopis slati na adresu: Redakcija »Vojnotehničkog glasnika«, 11002 Beograd, Birčaninova 5, VE-1.

LEKTOR

Dobrica Miletić, prof

KORICE

Milojko Milinković

KOREKTOR

Bojana Uzelac

Cena: 15,00 dinara

Tiraž: 1400 primeraka

Rešenjem Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, broj 413-00-222/95-0101 od 19. 06. 1995. godine časopis »Vojnotehnički glasnik« je oslobođen plaćanja opšteg poreza na promet proizvoda.
