

NOVINSKO-IZDAVAČKA USTANOVA
„VOJSKA“

NAČELNIK

Pukovnik

STANOJE JOVANOVIĆ

UREĐIVAČKI ODBOR

General-major

dr JUGOSLAV KODZOPELIĆ, dipl. inž.
(predsednik Odbora)

General-major

dr NOVICA ĐORĐEVIĆ, dipl. inž.

General-major

MILISAV BRKIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr SINIŠA BOROVIĆ, dipl. inž.
(zamenik predsednika)

Pukovnik

mr 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 ŠUNJEVARIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

mr ĐESIMIR BOGDANOVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr DRAGO TODOROVIĆ, dipl. inž.

Pukovnik

dr SLOBODAN BURSAČ, dipl. inž.

Pukovnik

MIROSLAV ČOJBAŠIĆ, 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 Čojbašić, dipl. inž.
(tel. 648-277, 23-59-133 ili 33-133)

Urednik

Potpukovnik

Stevan Josifović, 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,
Pretpлата 645-020 I 22-584, žiro-račun: NIU
«VOJSKA» (za Vojnotehnički glasnik)
40823-848-0-2383 Beograd, Polugodišnja
pretpлата 25,00 dinara. Rukopisi se ne
vraćaju. Štampa: Vojna štamparija —
Beograd, Generala Ždanova 40 b.STRUČNI I NAUČNI ČASOPIS
VOJSKE JUGOSLAVIJE**VOJNOTEHNIČKI****GLASNIK****1**

GODINA XLIV • JANUAR—FEBRUAR 1990.

SADRŽAJ

Dr Svetomir Minić, potpukovnik, dipl. inž. Dr Jovan Todorović, profesor, dipl. inž.	5	»Delay-time« model preventivnog održavanja tehničkih sistema
Sc Marko Andrejić, kapetan I klase, dipl. inž. Mr Petar Stanojević, kapetan, dipl. inž. Dr Vasilije Mišković, potpukovnik, dipl. inž.	12	Definisanje kriterijuma za izbor rejona razmeštaja tehničkih jedinica za održavanje
Mr Milorad Vidović, dipl. inž. Mr Slobodan Cvetić, dipl. inž.	23	Optimizacija korišćenja postojećih kompleksa za skladištenje ubojnih sredstava
Mr Zoran Bojanić, potpukovnik, dipl. inž.	35	Analiza tačnosti i ekonomičnosti uprošćenih matematičkih modela dinamike projektila
Dr Nikola Zegarac, major, dipl. inž.	44	Analiza trošenja vitalnih delova turboprehranjivanih motora visoke specifične snage
Mr Dušan Regodić, major, dipl. inž.	63	Prilog analizi strujanja u graničnom sloju primenom Polhausenove metode
Ivan Miletić, dipl. inž.	73	Korišćenje fazne petlje za potiskivanje prostoperiodične smetnje kod sistema sa direktnom sekvencom
Dr Vlado Radić, major, dipl. inž.	79	Kevlar i balistička zaštita
Vladislav Mišković, major, dipl. inž.	88	Priključivanje laserskih štampača iz serije »HP Laser-Jet« na računare »Honeywell«
Svetislav Marković, dipl. inž.	92	Određivanje tehničkog stanja (defektacija) mašinskih elemenata

PRIKAZI IZ INOSTRANIH ČASOPISA

Pavle Marjanović	104	Nova generacija automatskih pušaka KALAŠNJKOV
Pavle Marjanović	106	Sistem za upravljanje artiljerijskom vatrom KAPUS-TNIK

Miroslav Savanović	110	Raketni sistem PVO OSA-AKM
Pavle Marjanović	113	Razvoj oklopa za borbena vozila
Pavle Marjanović	121	Oružja za specijalne namene
Pavle Marjanović	122	Novi trenažni avion MiG-AT
Pavle Marjanović	126	Bespilotne izviđačke letelice TUPOLJEV
Pavle Marjanović	128	Savremena sredstva za maskiranje i obmanjivanje

Dr Svetomir Minić,
potpukovnik, dipl. inž.
Odeljenje za naučno-istra-
živačku delatnost GŠ VJ,
Beograd
Dr Jovan Todorović,
profesor, dipl. inž.
Mašinski fakultet, Beograd

»DELAY-TIME« MODEL PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA

UDC: 621.01-7:681.518.5

Rezime:

U radu se okvirno analizira relativno novi model preventivnog održavanja prema stanju, koji je u proteklom godinama privukao pažnju mnogih istraživača i inženjera koji se bave održavanjem tehničkih sistema. Delay-time model zasniva se na ideji »odlaganja« postupka održavanja, u zavisnosti od konstatovanog stanja tehničkog sistema, odnosno od tako procenjenog »vremena odlaganja otkaza« (delay-time). Kao rezultat simulacije definisanih modela na numeričkim primerima dobijeni su dijagrami međuzavisnosti relevantnih parametara, koji omogućavaju izbor najpovoljnijeg modela održavanja i optimalnog intervala »pregleda stanja« tehničkog sistema.

Ključne reči: »delay-time«, model održavanja, pregled stanja, optimalni interval, simulacija.

DELAY-TIME MODEL FOR PREVENTIVE MAINTENANCE

Summary:

The paper presents a brief comment on the »delay-time« model for preventive on condition maintenance of various technical systems, which has attracted significant attention of engineers dealing with maintenance. The »delay-time« model is based on the condition of a technical system stated during a scheduled checking i.e., on so estimated delay-time to failure. The diagrams of relevant parameters relation obtained by means of a simulation technique provide possibilities for the choice of the most favourable maintenance procedure and optimal intervals for »condition checking«.

Key words: Delay-time, maintenance model condition-checking, optimal interval, simulation.

Uvod

DELAY-TIME koncept preventivnog održavanja tehničkih sistema poslednjih je godina predmet analize mnogih stranih radova [1 do 5]. Suština modela [1] jeste ideja »odlaganja« postupaka održavanja u zavisnosti od izvršenog pregleda i konstatovanog stanja tehničkog sistema, odnosno od tako procenjenog karakteris-

tičnog parametra ovog modela — »vremena odlaganja otkaza« (delay time).

Kao i kod modela POPS — preventivnog održavanja prema stanju, »pregledi stanja« mogu biti ručni ili automatski, a u vremenskom smislu mogu se sprovoditi »diskretno« (»on-condition«) u određenim trenucima ili kao »kontinualno praćenje stanja« (»condition monitoring«) elemenata

sistema. Bitno je napomenuti da sam postupak pregleda stanja ne sprečava pojavu otkaza već ukazuje na njega, pre pojave »funktionalnog otkaza« sistema koji predstavlja stanje sistema u kome on ne može da izvršava svoju funkciju, tj. ne radi [6].

Matematički model ima zadatak da odredi optimalni vremenski interval »pregleda stanja« sistema sa staništa smanjenja broja otkaza i troškova održavanja. Promenljiva T , koja označava interval »pregleda stanja«, uspostavlja međuzavisnost sa drugim promenljivim koje su posledica vremenskog intervala T , a to su očekivano vreme zastoja sistema i očekivani troškovi radne snage po jedinici vremena.

DELAY-TIME koncepcija preventivnog održavanja

Radi rešavanja problema preventivnog održavanja tehničkog sistema, DELAY-TIME koncepcija preventivnog održavanja uvodi novu veličinu — vreme odlaganja otkaza, (delay-time), koje predstavlja vreme koje protekne od trenutka kada je otkaz prvi put mogao biti otkriven do trenutka kada otklanjanje otkaza više nije moguće odlagati zbog neprihvatljivih posledica. Suština ove koncepcije preventivnog održavanja jeste da se preduzimanje postupaka održavanja, tj. otklanjanje otkaza može sprovesti u bilo kom trenutku vremenskog perioda h .

Za rešavanje zadatog problema pokazalo se mogućim dobijanje funkcije gustine verovatnoće vremena odlaganja otkaza $f(h)$, koja omogućava konstrukciju modela očekivane veze između intervala pregleda stanja (T) i posledičnih promenljivih — očekivano vreme zastoja i očekivani troškovi radne snage po jedinici vremena.

Otkaz sistema može se javiti kao »funktionalni«, tj. kada sistem više ne može da izvršava svoju misiju, ali se može otkriti kao tehnička neispravnost,

prilikom redovnog »pregleda stanja«. U oba slučaja mogu se postaviti sledeća pitanja:

1. Koliko ranije je otkaz mogao biti prvi put otkriven, bilo pregledom stanja, bilo od strane rukovaoca sistema?

(How Long Ago = HLA)

2. Ako postupci održavanja, tj. popravka nije sprovedena, koliko dugo može biti odlagana?

(How Much Longer = HML)

Na osnovu navedenog, vreme odlaganja otkaza (h) iznosi:

$$h = HML + HLA.$$

Na ovaj način može se, posmatrajući dovoljan broj otkaza, dobiti prethodna raspodela za $f(h)$. Pri tome se pretpostavlja da su otkazi međusobno nezavisni, a ukoliko se ustanovi da postoji međusobna zavisnost između otkaza koji karakterišu rad posmatranog sistema, neophodno je modifikovati osnovni model prema prirodi ove međuzavisnosti. U praktičnim primerima ovog rada prihvaćena je pretpostavka nezavisnosti otkaza.

Osnovni DELAY-TIME model

Najjednostavniji slučaj sprovođenja preventivnog održavanja tehničkog sistema putem »pregleda stanja« može se opisati sledećim pretpostavkama [1]:

a) *Pregled stanja se preduzima svakih T -jedinica vremena, košta I -novčanih jedinica i zahteva d -jedinica vremena za njegovo sprovođenje, gde je $d \ll T$.*

b) *Pregledi stanja su idealni i svaki prisutni otkaz sistema biće otkriven.*

c) *Otkazi uočeni pri pregledu stanja biće otklonjeni u vremenskom periodu predviđenom za pregled stanja.*

d) *Početni trenutak, za koji se može usvojiti da je trenutak prve pojave*

otkaza elementa sistema, ravnomerno je raspoređen tokom vremena od poslednjeg »pregleda stanja« i nezavisan je od h . Otkazi se javljaju po stopi k u jedinici vremena.

e) Poznata je funkcija gustine verovatnoće vremena odlaganja otkaza $f(h)$.

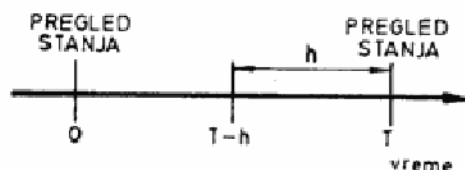
Pretpostavka c) zahteva da sve popravke koje slede posle »pregleda stanja« mogu da se završe u fiksnom periodu d , nezavisno od broja popravki. To je realna pretpostavka ukoliko se raspolaže sa dovoljno radne snage da se popravke izvode simultano.

Pretpostavka d) omogućava procenu očekivanog broja pojava otkaza u periodu T , tj. kT . Ova pretpostavka zanemaruje zastoje sistema zbog »funkcionalnih otkaza«, tokom kojih se ne pojavljuje nijedan drugi otkaz, jer sistem ne izvršava zadatak, tj. ne radi. Međutim, ako je ovo vreme zastoja malo u poređenju sa vremenom T , tada će i greška biti mala.

Pretpostavlja se da otkaz koji se javlja u periodu $(0, T)$ ima vreme odlaganja otkaza u intervalu $(h, h+dh)$ i verovatnoću pojave ovog događaja $f(h)dh$. Ovaj otkaz će se pojaviti kao »funkcionalni« u periodu $(0, T-h)$ (slika 1), a u ostalim slučajevima biće uočen prilikom redovnog pregleda stanja.

Verovatnoća pojave otkaza pre vremena $(T-h)$ je $(T-h)/T$. Dakle, verovatnoća da će se otkaz pojaviti kao »funkcionalni« i da će imati vreme odlaganja otkaza u intervalu $(h, h+dh)$ je:

$(T-h)/T f(h)dh$.



Sl. 1 — DELAY-TIME proces održavanja

T -interval pregleda stanja, h -vreme odlaganja otkaza (delay-time)

Sumirajući za sve moguće vrednosti h , dobijamo da je verovatnoća da se otkaz pojavi kao »funkcionalni otkaz« $b(T)$:

$$b(T) = \int_{h=0}^T \left(\frac{T-h}{T} \right) \cdot f(h) dh \quad (1)$$

Ukoliko je prosečno vreme zastoja sistema potrebno za otklanjanje »funkcionalnog otkaza« d_b , tada je očekivano vreme zastoja po jedinici vremena rada pri primeni redovnih pregleda stanja svakih T jedinica vremena obeleženo sa $D(T)$:

$$D(T) = \frac{1}{(T+d)} [k \cdot T \cdot d_b \cdot b(T) + d] \quad (2)$$

gde je:

k — »stopa nastanka« (»arrival rate«) otkaza u jedinici vremena.

Ako su prosečni troškovi popravke funkcionalnog otkaza (C_b) i prosečni troškovi popravke otkaza otkrivenog prilikom pregleda stanja (C_i), tada će očekivani troškovi održavanja sistema po jedinici vremena za DELAY TIME model preventivnog održavanja putem »pregleda stanja« sa intervalom pregleda stanja (T) biti:

$$C(T) = \frac{1}{(T+d)} [k \cdot T \{C_b \cdot b(T) + C_i(1-b(T))\} + I] \quad (3)$$

Jednačine (1), (2) i (3) predstavljaju osnovni DELAY TIME model održavanja koji se može modifikovati prema potrebama konkretnog slučaja.

DELAY-TIME modeli održavanja u slučajevima neispunjenih pretpostavki osnovnog modela

MODEL A: Nedovoljna radna snaga za održavanje sistema

Ukoliko nije ispunjena pretpostavka c), tj. radna snaga za održavanje

sistema nije dovoljna, javljaju se dopunski zastoji radi popravki koje ne mogu da se obavljaju simultano. Tada se mora modifikovati izraz za $D(T)$ -očekivano vreme zastoja po jedinici vremena rada pri redovnim pregledima stanja sa intervalom T . Ako je d_1 očekivano vreme zastoja zbog ovih dodatnih zastoja, tada će ukupno vreme zastoja pri pregledu stanja biti:

$$d + k \cdot T \cdot d_1 [1 - b(T)].$$

Uzimajući u obzir prethodni izraz, dobija se nova formula za očekivano vreme zastoja po jedinici vremena rada:

$$D(T) = \frac{1}{T + d + k \cdot T \cdot d_1 [1 - b(T)]} \\ \{k \cdot T \cdot d_b \cdot b(T) + d + k \cdot T \cdot d_1 [1 - b(T)]\} = \\ = \frac{1}{T + d + k \cdot T \cdot d_1 [1 - b(T)]} [k \cdot T \cdot \{d_b \cdot b(T) + d_1 [1 - b(T)]\} + d] \quad (4)$$

gde je poželjno da bude $d_1 < d_b$.

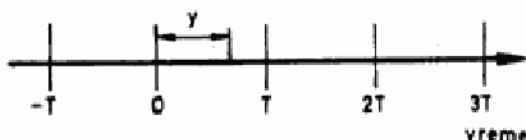
MODEL B: Pregled stanja sistema nije idealan

Pretpostavka b) da pregled stanja nije idealan, veoma je moguća i očekivana situacija u praksi realizacije procesa preventivnog održavanja sistema. Zbog toga se uvodi verovatnoća β da će pojedini otkaz biti otkriven prilikom pregleda stanja, odnosno odgovarajuća verovatnoća $1 - \beta$ da neće biti otkriven.

Radi definisanja novog izraza za $b(T)$ razmotriće se slučaj otkaza koji se prvi put pojavljuje posle vremena y od pregleda stanja u tački 0 (slika 2). Ovaj otkaz se može otkriti prilikom pregleda stanja u trenutku T , ako je $h > (T - y)$, ili u trenutku $2T$ ako je $h > (2T - y)$, ili $3T$ ako je $h > (3T - y)$, itd.

Prema tome, za otkaz koji se pojavljuje u trenutku y verovatnoća p će biti:

$$p \text{ (otkaz otkriven u trenutku } T) = \\ = p \text{ (da je otkriven)} \times p \text{ (nije se pojavio kao funkcionalni otkaz pre trenutka } T) = \beta R(T - y).$$



Sl. 2 — Moguća pojava otkaza sistema u intervalima »pregleda stanja«

gde je:

$$R(x) = \int_x^{\infty} f(h) dh.$$

Slično prethodnom izrazu za trenutak $2T$ biće:

$$p \text{ (otkaz otkriven u trenutku } 2T) = \\ = \beta \cdot (1 - \beta) \cdot R(2 \cdot T - y).$$

Opšti izraz za verovatnoću da će otkaz koji se javlja u trenutku y biti otkriven pri pregledu stanja u trenutku $n \cdot T$, glasi:

$$p \text{ (otkaz otkriven u trenutku } n \cdot T) = \\ = \beta \cdot (1 - \beta)^{n-1} \cdot R(n \cdot T - y), \quad n = 1, 2, \dots$$

Verovatnoća (p) da će otkaz u trenutku y biti otkriven pri pregledu stanja, data je formulom:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \beta \cdot (1 - \beta)^{n-1} \cdot R(n \cdot T - y).$$

Za bilo koje moguće y koje je ravnomerno raspoređeno po intervalu T dobija se izraz za verovatnoću pojave »funkcionalnog otkaza« $b(T)$:

$$b(T) = 1 - \left\{ \int_{y=0}^T \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta}{T} (1 - \beta)^{n-1} \cdot R(n \cdot T - y) dy \right\}, \quad d \ll T \quad (5)$$

MODEL C: Početni trenutak pojave otkaza sistema nije ravnomerno raspoređen tokom vremena od poslednjeg pregleda stanja

Ako nije ispunjena pretpostavka d) i ako je y vreme od poslednjeg »idealnog pregleda stanja«, a $g(y)$ trenutna stopa mogućnosti pojave otkaza u trenutku y, tada očekivani broj otkaza u malom intervalu $(y, y+dy)$ iznosi $g(y)dy$. Dakle, očekivani broj pojava otkaza unutar intervala $(0, T)$ jeste:

$$K(T) = \int_0^T g(y)dy.$$

Da bi otkaz koji se pojavljuje u intervalu $(y, y+dy)$ bio »funktionalni otkaz«, on mora imati vreme odlaganja otkaza $h < T-y$. Prema tome, očekivani broj »funktionalnih otkaza« u intervalu $(y, y+dy)$ je:

$$g(y)dy \int_0^{T-y} f(h)dh = F(T-y) \cdot g(y)dy$$

gde je:

$$F(x) = \int_0^x f(h)dh.$$

Sada je očekivani broj »funktionalnih otkaza« $B(T)$ koji se javlja u intervalu $(0, T)$: $B(T) = \int_0^T F(T-y) \cdot g(y)dy$.

Očekivani broj popravki otkaza otkrivenih pri pregledu stanja u intervalu $(0, T)$ je $K(T) - B(T)$, pa je tada vreme zastoja sistema po jedinici vremena dato izrazom:

$$D(T) = \frac{1}{(T+d)} [d_b \cdot B(T) + d] \quad (6)$$

Matematički model troškova održavanja sistema po jedinici vremena sada ima oblik:

$$C(T) = \frac{1}{(T+d)} \{C_b \cdot B(T) + C_i \cdot [K(T) - B(T)] + I\} \quad (7)$$

Simulacija DELAY-TIME modela održavanja

Korišćenjem jednačina (1) do (8) dati su hipotetički primeri primene navedenih modela, a izlazni rezultati simulacije modela dobijeni su dijagramski i prikazani na slikama 3 i 4.

U navedenim numeričkim primerima, funkcija vremena zastoja sistema po jedinici vremena ima oblik:

$$D(T) = \frac{1}{(T+d)} \text{ [(očekivani broj$$

funktionalnih otkaza u jednom ciklusu $x \cdot d_b) + d]$,

gde je:

$d_b = 0,5 \text{ h}$ — prosečno vreme zastoja sistema za otklanjanje »funktionalnog otkaza«,

$d = 0,35 \text{ h}$ — vreme »pregleda stanja« i popravke sistema.

Simulacija osnovnog DELAY-TIME modela

Funkcija gustine verovatnoće vremena odlaganja otkaza $f(h)$ odabrana je kao negativna eksponencijalna raspodela, oblika:

$$f(h) = \alpha \cdot e^{-\alpha h}$$

gde je:

$\alpha = 0,05$ — konstanta,

$h = 20 \text{ h}$ — prosečno vreme odlaganja otkaza (»average delay-time«).

Za prosečni očekivani broj pojava otkaza po času (»average fault frequency per hour«), uzeta je vrednost $k=0,1$.

Simulacija MODELA B

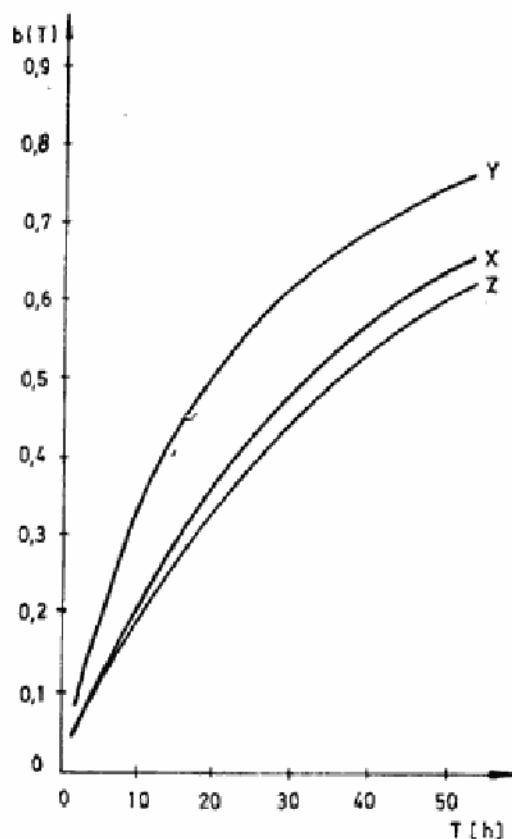
U modelu B brojevi podaci su isti kao za osnovni DELAY-TIME model, izuzev što verovatnoća da će pojedini otkaz biti otkriven prilikom pre-

gleda stanja (β) nije jednaka jedinici i ovde je $\beta=0,7$, odnosno verovatnoća da otkaz neće biti otkriven je $1-\beta=0,3$.

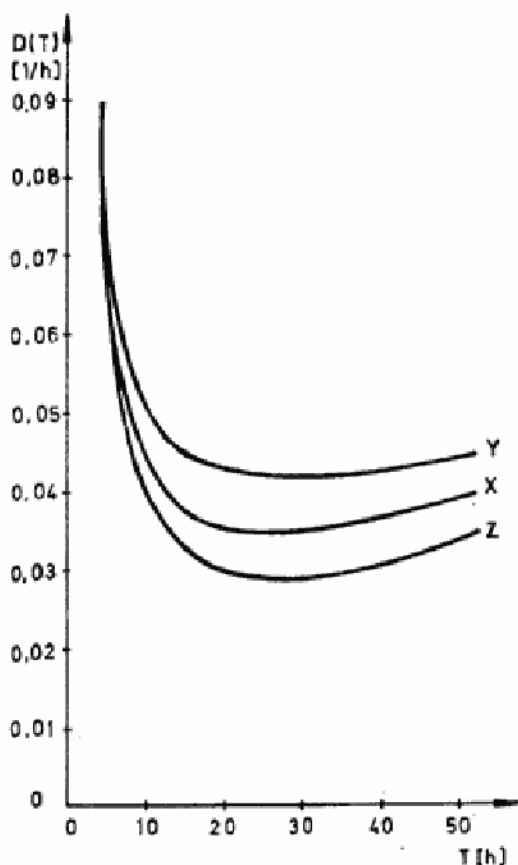
Simulacija MODELA C

Takođe i u MODELU C isti su brojevi podaci kao za osnovni DELAY TIME model, izuzev što frekvencija pojave otkaza sistema nije ravnomerno raspoređena i zavisi od vremena od poslednjeg pregleda stanja (y). Frekvencija pojave otkaza $g(y)$, uzeta je kao:

$$g(y) = 0,1 - 0,06^{-0,1y} \quad (8)$$



Sl. 3 — Verovatnoća pojave »funkcionalnog otkaza« sistema $b(T)$ u zavisnosti od dužine vremena između »pregleda stanja« (T) Y-model B, X-osnovni DELAY-TIME model Z-MODEL C



Sl. 4 — Očekivano vreme zastoja sistema $D(T)$ u zavisnosti od dužine vremena između »pregleda stanja« (T) Y-MODEL B, X-osnovni DELAY-TIME model, Z-MODEL C

Zaključak

Cilj tehnike DELAY-TIME analize jeste da odredi optimalni vremenski interval »pregleda stanja« sistema i to sa stanovišta smanjenja procenta »funkcionalnih otkaza« u ukupnom broju otkaza sistema i smanjenja ukupnih troškova održavanja. Kao rezultat simulacije DELAY-TIME modela održavanja dobijaju se dijagrami odgovarajućih zavisnosti, sa kojih je moguće ustanoviti optimalni interval »pregleda stanja«. Prethodno je neophodno imati na raspolaganju funkciju gustine verovatnoće vremena odlaganja ot-

kaza $f(h)$ koja se koristi za konstrukciju odgovarajućeg modela relevantnih parametara. Podaci za ocenu ove funkcije dobijaju se u praksi putem ankete, tako što eksperti popunjavaju odgovarajuće upitnike sa vrednostima vremena odlaganja otkaza (delay-time) na osnovu kojih se crta histogram sa koga se dobija ocenjena vrednost $f(h)$.

Koristeći dijagrame na slikama 3 i 4, koji predstavljaju rezultat simulacije DELAY-TIME modela, moguće je odabrati najpovoljniju varijantu modela i optimalni interval »pregleda stanja« sistema (T), i to imajući u vidu optimalne vrednosti vremena zastoja sistema i verovatnoće pojave »funktionalnog otkaza« sistema. Optimalni interval »pregleda stanja« za sve modele u numeričkom primeru ima malu varijaciju i nalazi se u dijapazonu $T=23$ do 27 h.

Sa slike 3 vidi se da MODEL B (neidealni pregled stanja) pokazuje veći procenat »funktionalnih otkaza« sistema nego osnovni DELAY-TIME model, kao što se i očekivalo. Nasuprot ovom, MODEL C (neravnomerno ras-

poređen početni trenutak pojave otkaza) pokazuje manji procenat »funktionalnih otkaza« nego osnovni model. Takođe, slika 4 pokazuje da modeli sa najmanjim i najvećim brojem pojava »funktionalnih otkaza« imaju najmanji i najveći broj zastoja sistema, respektivno, kao što je i očekivano. To je zbog toga što se kasnije u ciklusu javlja veća frekvencija otkaza sistema.

U izrazu za $D(T)$ -očekivano vreme zastoja sistema po jedinici vremena pojavljuje se koeficijent k -»stopa nastanka« otkaza (»arrival rate«), koji je, takođe, potrebno oceniti. Ovaj koeficijent dobija se kao proizvod vrednosti prosečnog broja otkaza za posmatrano vreme rada sistema i prosečnog vremena zastoja sistema po otkazu koji se manifestuje kao »funktionalni otkaz«.

Na taj način obezbeđeni su svi neophodni ulazni podaci za DELAY-TIME model preventivnog održavanja koji, kao rezultat simulacije, daje odgovarajuće dijagrame, odnosno optimalni interval »pregleda stanja« sistema (T).

Literatura:

- [1] Christer, A. H., Waller, W. M.: Delay Time Models of Industrial Inspection Maintenance Problems, J. Operational Research Society, Vol. 35, Great Britain, 1984.
- [2] Christer, A. H., Waller, W. M.: Reducing Production Downtime Using Delay-Time Analysis, J. Operational Research Society, Vol. 35, Great Britain, 1984.
- [3] Christer, A. H., Wang, W., Baker, R. D.: Modelling Maintenance Practice of Production Plant Using the Delay-Time Concept, IMA Journal of Mathematics Applied in Business and Industry, Vol. 6, Num. 1, Oxford University Press, 1995.
- [4] Kobbacy, K. A. H., Percy, D. F., Fawzi, B. B.: Sensitivity Analysis for Preventive-Maintenance Models, IMA Journal of Mathematics Applied in Business and Industry Vol. 6, Num. 1, Oxford University Press, 1995.
- [5] Scarf, P. A., Bouamra, O.: On the Application of a Capital Replacement Model for a Mixed Fleet, IMA Journal of Mathematics Applied in Business and Industry Vol. 6, Num. 1, Oxford University Press, 1995.
- [6] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema — Maintainability engineering, JUMV, Beograd, 1993.

Se Marko Andrejčić,
kapetan I klase, dipl. inž.
Mr Petar Stanojević,
kapetan, dipl. inž.
Dr Vasilije Mišković,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija
VJ, Beograd

DEFINISANJE KITERIJUMA ZA IZBOR REJONA RAZMEŠTAJA TEHNIČKIH JEDINICA ZA ODRŽAVANJE

UDC: 355.455.001.573:357.56

Rezime:

U radu su definisani kriterijumi za razvoj jedinica za održavanje. Izvršena je formalizacija izbora rejona razmeštaja jedinica za održavanje, primenom metode za višekriterijumsko odlučivanje MENOR. Jedinice za održavanje razmatraju se kao borbene jedinice koje moraju da obezbede visok stepen borbene gotovosti i kao radne organizacije koje moraju da obezbede visoki stepen rentabilnosti poslovanja.

Ključne reči: kriterijum, alternativa, višekriterijumsko odlučivanje, jedinice za održavanje.

DEFINITION OF THE CRITERIA FOR THE CHOICE OF A TECHNICAL MAINTENANCE UNITS DISTRIBUTION AREA

Summary:

The criteria for maintenance units development are defined. The choice of a maintenance units distribution area is formalized using the MENOR multicriteria decision making method. Maintenance units are considered as combat units due to provide a high degree of combat readiness as well as firms due to provide a high degree of managing profitability.

Key words: criteria, alternative, multicriteria decision making, maintenance units.

Uvod

Jedan od početnih uslova za efikasan rad tehničkih jedinica za održavanje (u daljem tekstu: jedinica za održavanje) jeste pravilan izbor rejona razmeštaja.

Pri rešavanju ovog problema, dosada su odluke, uglavnom, donošene na osnovu iskustva i procena na osnovu informacija dobijenih izviđanjem na konkretnom zemljištu, a izuzetno i po karti, uz korekcije po dolasku u rejon razmeštaja.

Optimalno odabran rejon razmeštaja podrazumeva izbor onog rejona

koji će svojim prirodnim pogodnostima i rasporedom izgrađenih objekata pružiti najpovoljnije uslove za život, rad i borbu jedinica za održavanje.

Za rešavanje ovog problema primenjuju se metode za višekriterijumsku analizu (odlučivanje). U praksi se najčešće primenjuje metoda MENOR koja se preporučuje iz sledećih razloga:

— opštenamenskog je karaktera, zasnovana na načelima i logici sistemskog pristupa i uvažavanju stručnosti kompetentnih donosilaca odluke;

— ne zahteva prethodnu analizu međuzavisnosti kriterijuma;

— dopušta da se kriterijumi na osnovu kojih se vrši izbor varijanti mogu kvantitativno i kvalitativno izraziti;

— omogućuje razlaganje složenih kriterijuma na više potkriterijuma, uvođenje više nivoa značajnosti kriterijuma, a time i nivoa rangiranja;

— subjektivizam donosioca odluke svodi se na najmanju meru, jer pruža mogućnost da se kroz detaljno razlaganje kriterijuma na potkriterijume dođe do vrednosti parametara i karakteristika kriterijuma koje su merljive.

Takođe, vrlo je poželjno, u miru, prostorni razvoj teritorije, odnosno njenih segmenata, usklađivati sa funkcijama odbrane zemlje i u tom smislu permanentno stvarati povoljne uslove za realizaciju odbrambenih funkcija na konkretnom prostoru, a time i za realizaciju zadataka održavanja tehničkih materijalnih sredstava (TMS) jedinica Vojske Jugoslavije (VJ). To se posebno odnosi na razvoj tehničke i energetske infrastrukture.

Cilj ovog rada jeste da se definišu kriterijumi izbora rejonu za razvoj jedinica za održavanje u stanice za održavanje, nezavisno od nivoa, odnosno vida održavanja i da se na izabranom predstavniku — jedinici za srednji remont, za uslove date u konkretnom modelu borbenih dejstava (taktičkom zadatku), prikaže primena definisanih kriterijuma pri donošenju odluke o izboru rejonu razmeštaja, poređenjem više varijanti, metodom za višekriterijumsko odlučivanje MENOR.

Opšti uslovi za razvoj jedinica za održavanje

U Vojski Jugoslavije egzistira više jedinica za održavanje: jedinice za tehničko održavanje (LR), jedinice za srednji remont (SR) i jedinice za generalni remont (GR). Da bi se definisali kriterijumi za izbor rejonu i ob-

jekata za razvoj jedinica za održavanje neophodno je poznavati njihovu organizacijsko-formacijsku strukturu, postupak pri razmeštaju i uređenju rejonu razmeštaja, načela upotrebe u uslovima u kojima izvršavaju zadatke (protivnik, vreme, zemljište, naše snage).

Pri definisanju ovih kriterijuma, jedinice za održavanje moraju se posmatrati kao borbene jedinice koje treba da obezbede visok stepen borbenosti i otpornosti na dejstva protivnika i kao radne organizacije koje realizuju održavanje u specifičnim uslovima.

Iskustva pokazuju da je najbolje da se jedinice za održavanje razvijaju u stabilnim objektima, zatim na otvorenom prostoru ili kombinovano delom u stabilnim objektima, a delom na otvorenom prostoru, što će u borbenim dejstvima biti najčešći slučaj.

Od objekata infrastrukture, za razvoj jedinica za održavanje mogu se koristiti:

— objekti i oprema preduzeća koja se u miru bave remontom i opravkom;

— ostali objekti i oprema privatnih preduzeća, privatnika i zanatlija;

— servisi za opsluživanje i opravku pojedinih grupa i vrsta TMS;

— radionički i servisni objekti mirnodopske infrastrukture VJ, zatečeni u zoni angažovanja ratnih jedinica.

Prilikom izbora prostora za razvoj elemenata jedinice za održavanje značajno je sagledati uslove za unutrašnji transport i transportne puteve. U vezi s tim, potrebno je utvrditi celokupno kretanje predmeta i sredstava za rad u procesu remonta, kao i svih ostalih sredstava koja se koriste.

U okviru objekata za remont potrebno je, u skladu sa tehnologijom, pravilno rasporediti prostorije, radna mesta i odrediti pravce kretanja.

Pri razmatranju mogućeg uticaja neprijatelja treba sagledati koliko je izabrana lokacija zaštićena od dejstva protivničke avijacije, artiljerije i diverzantsko-terorističkih grupa.

Pri razmatranju uticaja vremena uglavnom treba uzeti u obzir vreme kao godišnje doba i vreme kao atmosfersku pojavu, jer temperatura i padavine utiču na razmeštaj i rad.

Takođe, treba razmatrati i vreme kao doba dana, zbog različitosti uslova za rad, i vreme kao trajanje i njegov uticaj na ostale faktore oružane borbe.

Pri razmatranju uticaja zemljišta treba analizirati:

— karakteristike reljefa, vegetacije, hidrografije, sastava tla i njihovog uticaja na jedinicu za održavanje.

Pri izboru rejona razvoja jedinica za održavanje treba izbegavati prevoje, desantne prostorije, četinarske šume, mesta mogućeg odrona tla, mesta pored reka koja mogu biti plavljena, močvarno i raskvašeno zemljište. Stanice, načelno, treba razvijati pored puteva, u blizini raskrsnica, u blizini naseljenih mesta ili u njima, bliže prednjem kraju na pravcu dejstva glavnih snaga.

Vegetacija u zoni dejstva utiče na maskiranje, izviđanje, orijentaciju i prohodnost, ali omogućava i razna iznenađenja koja priređuje protivnik pa treba preduzeti posebne mere borbenog obezbeđenja.

Maskiranje pokreta i rasporeda jedinica za održavanje u svim uslovima stalna je i obavezna mera obezbeđenja. Preduzima se i sprovodi sa ciljem da se objekti, sredstva, raspored i pokret jedinica za održavanje prikriju, smanje gubici, a protivnik navede na pogrešan zaključak. Obim maskirnih radova zavisi od karaktera zemljišta, raspoloživog vremena i konkretnih uslova koje borbena situacija diktira. Ukoliko se jedinica za održavanje razvija izvan naseljenog mesta, za raz-

voj stanica biraju se pošumljeni predeli koji omogućavaju prikriven razmeštaj i otežano otkrivanje.

Pored fizičko-geografskih karakteristika zemljišta u mogućem rejonu razmeštaja posebno su važni antropogeografski činioci, koji su rezultat ljudske delatnosti. To su, pre svega, naseljenost i stanje komunikacija. Naseljenost pruža širu mogućnost izbora čvrstih objekata za rad i korišćenje lokalnih resursa (stručne snage, energetike, opreme, i sl.).

Poseban značaj ima stanje komunikacija (svih vrsta), kapacitet putne i železničke mreže, njihova otpornost i opšte stanje saobraćaja i transportne infrastrukture, kao i njena podobnost za obezbeđenje pokreta jedinica.

Pri razmatranju uticaja vlastitih snaga i mogućnosti, treba uzeti u obzir ličnu i materijalnu formaciju jedinica za održavanje, načela razvoja i rada, zadatke koje izvršavaju, mesto u borbenom rasporedu jedinica koje podržavaju, mogućnost popune u borbenim dejstvima resursima (ljudskim i materijalnim), stanje remontnih kapaciteta teritorije, i dr.

Kriterijumi izbora lokacije za razvoj jedinica za tehničko održavanje

Kriterijumi izbora rejona razmeštaja jedinica za održavanje mogu biti:

- taktički,
- organizaciono-tehnološki.

Taktički kriterijumi odnose se, uglavnom, na upotrebu jedinica za održavanje, njenu pokretljivost i položaj u odnosu na ostale elemente borbenog rasporeda i u odnosu na protivnika, odnosno na iznalaženje »zona sigurnosti« gde će efekti vatre i drugih dejstava protivnika biti najmanji, a uslovi rada najpovoljniji.

Ovi kriterijumi uslovljeni su namenom, zadacima koje izvršavaju je-

dinice za održavanje i načelima upotrebe. Oni obuhvataju uticaj protivnika, zemljišta, vremena i vlastitih snaga na život, rad i borbu jedinica za održavanje. Pri njihovom definisanju treba posebno sagledati neophodnost obezbeđenja uslova za bezbedan rad.

Ovi kriterijumi zahtevaju povećanje površine rejonu razmeštaja i izvesnu disperziju u prostoru elemenata jedinice za održavanje.

Orijentacija u izboru rejonu razmeštaja jedinica za održavanje treba da bude: maksimalna operativnost u izvršenju zadataka, što manji utrošak novčanih sredstava i ostalih resursa, što manji gubici u borbenim dejstvima i što kraće odsustvovanje sredstva sa bojnog polja. Umesto izvlačenja i evakuacije sredstava u dubinu teritorije, resurse za održavanje treba približiti sredstvima.

Taktički kriterijumi mogu se daljom razradom svrstati u četiri grupe kriterijuma prvog reda:

- $K_1^{(0)}$ — vojno-geografske karakteristike zemljišta,
- $K_2^{(0)}$ — položaj potencijalne lokacije u odnosu na ostale elemente borbenog rasporeda i resurse na teritoriji,
- $K_3^{(0)}$ — karakteristike rejonu rasporeda,
- $K_4^{(0)}$ — karakteristike komunikacija.

Kriterijumi drugog reda, koji opisuju vojno-geografske karakteristike zemljišta su:

- $K_{1,1}^{(1)}$ — udaljenost od naseljenog mesta (km),
- $K_{1,2}^{(1)}$ — udaljenost od najbliže potencijalne desantne prostora (km),
- $K_{1,3}^{(1)}$ — udaljenost od najbližeg unosnog cilja (km),
- $K_{1,4}^{(1)}$ — udaljenost od najbližeg mesta odrona, vodoplavnog i područja koje zahvataju bujice (km),

- $K_{1,5}^{(1)}$ — procenat pošumljenog zemljišta na površini rejonu razmeštaja,
- $K_{1,6}^{(1)}$ — vrednost petrografskih karakteristika zemljišta u rejonu rasporeda (ekspertska procena u rasponu od 1 do 5).

Kriterijumi drugog reda, koji opisuju položaj potencijalne lokacije u odnosu na karakteristike borbenog rasporeda jedinice, u čijem je sastavu jedinica za održavanje, i drugih jedinica na konkretnoj teritoriji su:

- $K_{2,1}^{(1)}$ — udaljenost od prvopretpostavljenog komandnog mesta (km),
- $K_{2,2}^{(1)}$ — udaljenost od skladišta r/d VJ na koje se oslanja jedinica za održavanje (km),
- $K_{2,3}^{(1)}$ — udaljenost od rasporeda elemenata transportnih jedinica (km),
- $K_{2,4}^{(1)}$ — udaljenost od najbliže vojne ili civilne medicinske ustanove/jedinice (km),
- $K_{2,5}^{(1)}$ — udaljenost od najbliže jedinice PVO (km),
- $K_{2,6}^{(1)}$ — udaljenost od najbližeg komandnog mesta jedinice ranga puk/brigada (km).

Kriterijumi drugog reda koji opisuju karakteristike rejonu rasporeda su:

- $K_{3,1}^{(1)}$ — površina potencijalnog rejonu rasporeda (km²)
- $K_{3,2}^{(1)}$ — srednja udaljenost prostora za rad i smeštaj ljudstva od najbližih prirodnih i veštačkih zaklona za ljudstvo (m),
- $K_{3,3}^{(1)}$ — međusobna udaljenost mesta za rad pojedinih sekcija (m),
- $K_{3,4}^{(1)}$ — broj zaklona za ljude i TMS koji se moraju izraditi,

- $K_{3,5}^{(1)}$ — broj ljudi koje treba angažovati za stražarsko obezbeđenje, potrole, zasede i objavnice radi efikasnog borbenog obezbeđenja rejonu razmeštaja,
- $K_{3,6}^{(1)}$ — udaljenost centra rejonu razmeštaja do najbližeg izvora pijaće vode (m),
- $K_{3,7}^{(1)}$ — kapacitet izvora pijaće vode koje jedinica može koristiti (l/dan),
- $K_{3,8}^{(1)}$ — broj čvrstih objekata koji se mogu koristiti za rad i smeštaj ljudstva i TMS,
- $K_{3,9}^{(1)}$ — vreme potrebno za prilagođavanje rejonu razmeštaja za potrebe rada i smeštaja jedinice za održavanje TMS (h),
- $K_{3,10}^{(1)}$ — mogućnost uređenja kružnog puta u okviru rejonu razmeštaja (1 — da, 0 — ne).

U slučaju taktičkih kriterijuma bolje je da je broj i udaljenost čvrstih objekata koji se na nekom rejonu mogu koristiti za rad i smeštaj ljudstva što veći, jer se time smanjuju gubici dok je suprotno kod organizaciono-tehnoloških kriterijuma. Naime, bolja i uspešnija organizacija rada i tehnološkog procesa remonta može se postići ukoliko je manji broj objekata. Zbog karakteristika matematičkog aparata metode broj objekata ne sme dobiti vrednost 0 [6].

Kriterijumi drugog reda, koji opisuju karakteristike komunikacija su:

- $K_{4,1}^{(1)}$ — broj uređaja za održavanje veze, koji se mogu koristiti sa teritorije,
- $K_{4,2}^{(1)}$ — najkraća dužina puta, po i zabranjenoj komunikaciji, od potencijalne lokacije (za razvoj) do linije fronta (km),

- $K_{4,3}^{(1)}$ — najkraća dužina puta, po izabranoj komunikaciji, od potencijalne lokacije do prostorijske angažovanja glavnih snaga (km),
- $K_{4,4}^{(1)}$ — broj komunikacija koje je moguće koristiti,
- $K_{4,5}^{(1)}$ — ukupna dužina putnih komunikacija koje je moguće koristiti (km),
- $K_{4,6}^{(1)}$ — procenat puteva sa tvrdom podlogom od ukupne dužine putnih komunikacija koje je moguće koristiti,
- $K_{4,7}^{(1)}$ — udaljenost najbliže železničke stanice sa rampom ili dizalicom (km),
- $K_{4,8}^{(1)}$ — broj mostova, podvožnjaka, nadvožnjaka, prevoja, klanaca i useka koje treba savladati pri izvršenju zadatka.

Za korišćenje komunikacija postoje ograničenja u visini podvožnjaka (mora biti viši od 3 m), nosivosti mostova, nadvožnjaka, skelskih mesta i dizalica koje se koriste.

Organizaciono-tehnološki kriterijumi uglavnom se odnose na nužnost postojanja određenih tehnoloških preduslova na određenoj lokaciji, poštovanje određenih principa i redosleda odvijanja radova održavanja i remonta. Ovi kriterijumi zahtevaju veću blizinu elemenata jedinice za održavanje i zavise od organizacijsko-formacijske strukture jedinice i organizacijsko-tehnoloških zahteva koji moraju biti ispunjeni da bi ona obavila svoje funkcionalne zadatke.

Što je viši nivo održavanja to su i tehnološki zahtevi brojniji i složeniji.

Tehničko-tehnološki proces održavanja (remonta) odvija se u sekcijama na radnim mestima i na mestima nestranka neispravnosti — oštećenja. Sekcije za održavanje i radne ekipe, na-

čelno, izvršavaju zadatke održavanja TMS zamenom neispravnih agregata, sklopova ili rezervnih delova ispravnim. Osnovni princip remonta je agregatni, a kada uslovi dozvoljavaju, neispravni agregati i sklopovi se opravljaju i ugrađuju na TMS.

Za kriterijume prvog reda, koji opisuju organizaciono-tehnološke osobine rejona razmeštaja, mogu se uzeti:

- $K_5^{(0)}$ — prostor,
- $K_6^{(0)}$ — oprema
- $K_7^{(0)}$ — radni uslovi sredine.

Kriterijumi drugog reda, koji opisuju osobine prostora, jesu:

- $K_{5,1}^{(1)}$ — korisna (radionička) površina u prostorijama nižim od 4 m (m^2),
- $K_{5,2}^{(1)}$ — korisna (radionička) površina u prostorijama visine 4 do 8 m, i nosivosti poda 7 do 25 t (m^2),
- $K_{5,3}^{(1)}$ — korisna (radionička) površina u prostorijama visine 4 do 8 m, i nosivosti poda većoj od 25 t (m^2),
- $K_{5,4}^{(1)}$ — korisna (radionička) površina u prostorijama visine preko 8 m i nosivosti poda najmanje 45 t (m^2),
- $K_{5,5}^{(1)}$ — površina parking-prostora (m^2),
- $K_{5,6}^{(1)}$ — površina zatvorenog skladišnog prostora (m^2),
- $K_{5,7}^{(1)}$ — broj povoljnih objekata za radionice,
- $K_{5,8}^{(1)}$ — srednja udaljenost između objekata radionice (m),
- $K_{5,9}^{(1)}$ — udaljenost rejona SOT-a (km),
- $K_{5,10}^{(1)}$ — broj prostorija u kojima se mogu organizovati specijalni radovi,
- $K_{5,11}^{(1)}$ — površina prostorija u kojima se mogu organizovati specijalni radovi (m^2),

- $K_{5,12}^{(1)}$ — ocena rasporeda prostorija prema karakteristikama odvijanja tehnološkog procesa (1 do 5),
- $K_{5,13}^{(1)}$ — vreme potrebno za prilagođavanje postojećeg prostora za potrebe tehnološkog procesa koji se odvija u jedinici za održavanje TMS (h).

Površine prostorija za koje se traži nosivost poda, a koje su površinski manje od 30 m^2 , pri unošenju podataka o vrednostima parametara za kriterijume sa navedenim ograničenjima, ne treba računati (uneti 0). Pod specijalnim radovima podrazumeva se farbanje, radovi sa akumulatorima, probe pešadijskog naoružanja, brušenje, tj. radovi kod kojih postoji izvesna opasnost po zdravlje i život ljud..

Kriterijumi drugog reda, koji opisuju osobine opreme i postrojenja, jesu:

- $K_{6,1}^{(1)}$ — broj kanala u prostorijama visine 4 do 8 m,
- $K_{6,2}^{(1)}$ — broj kanala u prostorijama višim od 8 m,
- $K_{6,3}^{(1)}$ — broj kranova ili dizalica nosivosti iznad 5 t,
- $K_{6,4}^{(1)}$ — broj instaliranih mašina, uređaja i postrojenja,
- $K_{6,5}^{(1)}$ — broj vrsta instaliranih mašina i uređaja,
- $K_{6,6}^{(1)}$ — mogućnost opterećenja električne instalacije,
- $K_{6,7}^{(1)}$ — kapacitet postrojenja za tehničku vodu (l/dan),
- $K_{6,8}^{(1)}$ — broj pumpi za gorivo.

Pod vrstama instaliranih mašina, uređaja i postrojenja podrazumevaju se mašine za obradu skidanjem strugotine, obradu plastičnom deformacijom, probni stolovi za elektronske uređaje, platforme za pranje, čišćenje i sušenje, uređaji za popunu m/v vodom, uljima, mazivima, vazduhom, ma-

nje dizalice, uređaji za probu kočnica, kontrolu svetala, montažu-demontažu pneumatika, kompresori za vazduh, itd.

Kriterijumi drugog reda, koji opisuju uslove radne sredine, jesu:

- $K_{7,1}^{(1)}$ — broj prostorija sa ventilacijom,
- $K_{7,2}^{(1)}$ — broj prostorija u kojima se mogu smestiti boce sa kiseonikom i acetilenom,
- $K_{7,3}^{(1)}$ — broj sanitarnih prostorija,
- $K_{7,4}^{(1)}$ — površina prostorija za smeštaj ljudstva,
- $K_{7,5}^{(1)}$ — broj prostorija za smeštaj ljudstva,
- $K_{7,6}^{(1)}$ — kapacitet postrojenja za toplu vodu (m^3/dan),
- $K_{7,7}^{(1)}$ — odvod otpadnih materija (da/ne, ocena 0 i 1),
- $K_{7,8}^{(1)}$ — zapremina korisnog (radio-ničkog) prostora koji se greje (m^3),
- $K_{7,9}^{(1)}$ — broj sijaličnih mesta,
- $K_{7,10}^{(1)}$ — površina prozorskog stakla (m^2),
- $K_{7,11}^{(1)}$ — broj PP aparata i hidranta.

Svi kriterijumi su tako koncipirani da ako kriterijum ne postoji, uzima se vrednost 0.

Definisani taktički i organizaciono-tehnološki kriterijumi posebno se analiziraju za svaku vrstu tehničke jedinice za održavanje (LR, SR, GR), s obzirom na način rada i prirodu zadatka koje izvršavaju.

Primena kriterijuma na izabranom primeru

Na jednom modelu angažovanja »korpusa u odbrani« izvršen je izbor rejonu razmeštaja jedinice za srednji remont, uz uvažavanje definisanih kriterijuma, primenom metode MENOR. Postupak provođenja metode MENOR prikazan je grafički na slici.

Taktičkom procenom (stručnom i analitičkom), za konkretan zadatak, uzimajući u obzir iznete kriterijume i konkretan borbeni raspored, kao pogodna ocenjena su tri potencijalna rejonu rasporeda stanice srednjeg remonta (StSR) i označeni sa A1, A2 i A3. Od moguća tri rejonu treba odabrati jedan za razvoj StSR koji će podržavati korpus.

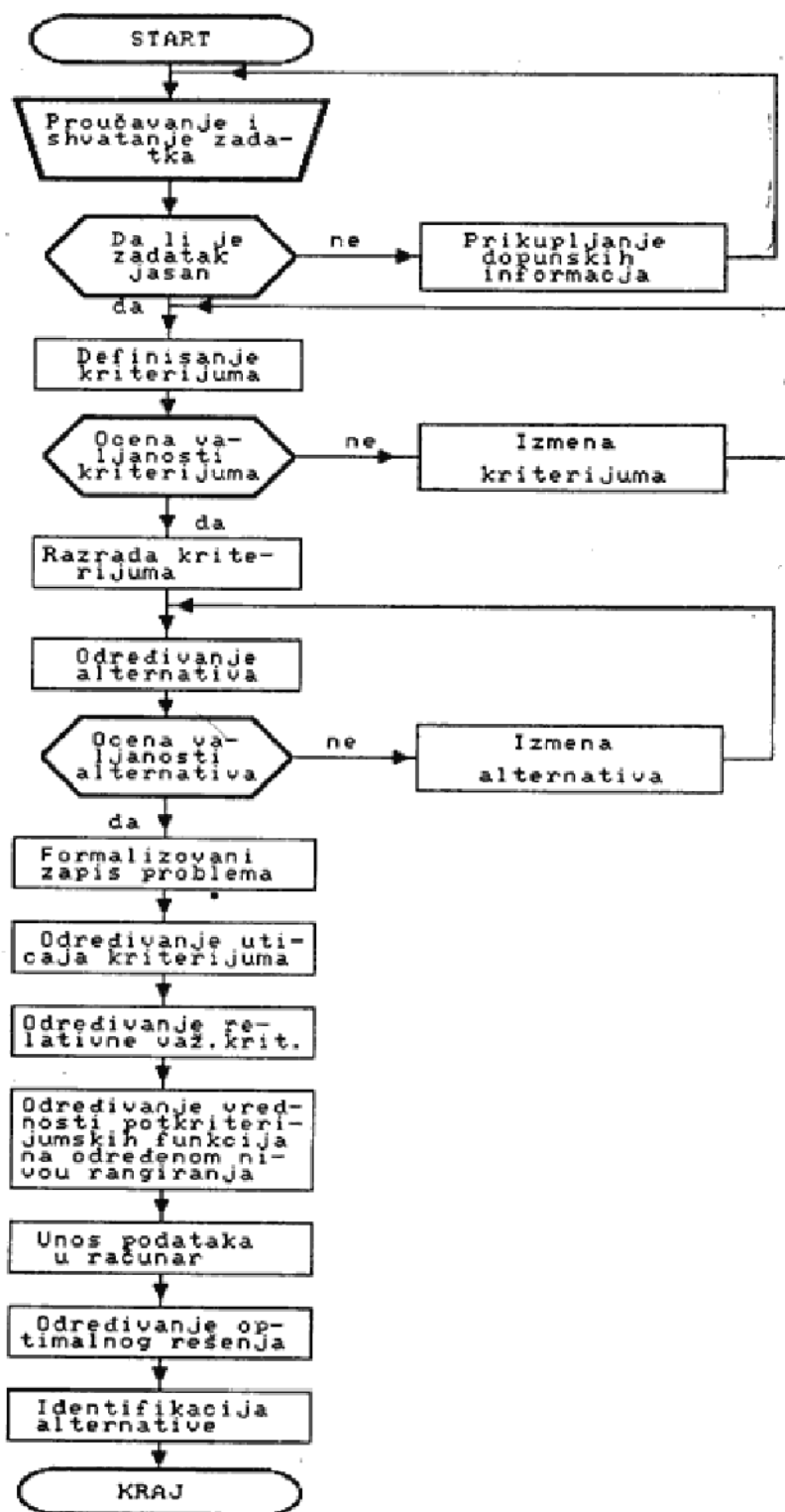
Nakon izbora lokacije za razvoj kompletne jedinice, po istoj metodici mogu se odrediti lokacije za razvoj pojedinih elemenata koje u borbenim dejstvima razvija StSR.

Da bi se definisani kriterijumi upotreabili u konkretnoj metodi, treba pripremiti formalizovani zapis problema.

On predstavlja svođenje na oblik podesan za primenu navedene metode i rešavanje problema na što objektivniji način uz primenu računara. Obavlja se pomoću »početne matrice za višekriterijumsko odlučivanje« (tabela 1). Vrednosti parametara koji opisuju kriterijume na oba nivoa, za sve tri varijante A1, A2 i A3, dati su tabelarno. Koeficijenti težine potkriterijuma (kriterijuma 1. ranga) obeleženi su sa T1 u tabeli, a koeficijenti težine kriterijuma (kriterijuma 0. ranga) sa T0.

Početna matrica je konstruisana tako da omogućava standardni zapis problema, bez obzira na metodu višekriterijumskog odlučivanja koja će se primeniti. Vrednosti karakteristika i parametara kriterijuma određuju se na osnovu merljivih pokazatelja uvek kada je to moguće, odnosno, snimanjem stanja na terenu a izuzetno korišćenjem karte i drugih izvora informacija neophodnih za odlučivanje. Tamo gde to nije moguće izmeriti ekspertske procene vrše kompetentni rukovodioci.

Za konkretan slučaj, vrednosti kriterijumskih funkcija određivane su po karti, na osnovu podataka iz konkretnog taktičkog zadatka i korišćenjem ostalih izvora. Određivanje uticaja kriterijuma (+ ili —) vrši se na os-



Dijagram toka provođenja metode MENOR

Tabela 1

Kriterijumi, potkriterijumi, vrednosti po varijantama i težini

Kri- teri- jumi	Pot- krite- riju- mi	A ₁	A ₂	A ₃	T ₁	T ₂
K ₁	K ₁	2	3	1	-2	2,5
	K ₂	7	8	12	3	
	K ₃	2	4	1	3	
	K ₄	5	6	7	1	
	K ₅	30	20	60	1,5	
	K ₆	3	4	5	2,5	
	K ₇	3	4	5	2,5	
K ₂	K ₁	20	26	27	-2,5	2
	K ₂	30	35	25	-3	
	K ₃	15	20	40	-1,5	
	K ₄	2	3	1	-1	
	K ₅	4	3	4	-3	
	K ₆	10	6	15	-2	
	K ₇	10	6	15	-2	
K ₃	K ₁	3	4	7	2	1,5
	K ₂	200	150	190	-1,5	
	K ₃	750	880	420	3	
	K ₄	20	25	16	-1,5	
	K ₅	20	25	16	-2	
	K ₆	750	850	1100	-1	
	K ₇	10	20	15	1	
	K ₈	5	90	12	2	
	K ₉	1	1,5	0,75	2,5	
	K ₁₀	1	1	1	2	
K ₄	K ₁	2	3	4	1,5	3
	K ₂	45	55	60	-2,5	
	K ₃	50	60	80	-2,5	
	K ₄	2	4	3	3	
	K ₅	150	230	175	3	
	K ₆	70	80	80	2	
	K ₇	15	2	19	-1,5	
	K ₈	10	7	6	1,5	
	K ₉	10	7	6	1,5	

Kri- teri- jumi	Pot- krite- riju- mi	A ₁	A ₂	A ₃	T ₁	T ₂
K ₅	K ₁	400	600	800	1,5	3
	K ₂	100	0	300	2	
	K ₃	200	200	300	2,5	
	K ₄	180	250	250	3	
	K ₅	1000	700	1200	2	
	K ₆	100	150	200	1,5	
	K ₇	3	4	5	-3	
	K ₈	700	800	400	-2	
	K ₉	1,5	1	2	-1	
	K ₁₀	3	4	6	1	
	K ₁₁	70	90	180	1,5	
	K ₁₂	4	3	3	3	
	K ₁₃	2	1	3	-2	
K ₆	K ₁	4	6	8	2	2
	K ₂	5	6	8	3	
	K ₃	1	1	1	2,5	
	K ₄	20	25	14	1,5	
	K ₅	15	15	10	1,5	
	K ₆	500	600	700	1	
	K ₇	6000	8000	10000	2	
	K ₈	2	3	4	1	
K ₇	K ₁	7	8	9	1,5	1
	K ₂	2	3	4	1	
	K ₃	5	8	7	2	
	K ₄	400	500	600	3	
	K ₅	6	8	10	2,5	
	K ₆	1,5	2	3	2	
	K ₇	1	0	1	1,5	
	K ₈	500	800	1000	3	
	K ₉	100	160	240	2	
	K ₁₀	350	420	800	1	
	K ₁₁	30	42	53	2,5	

novu toga da li je za rešenje konkret-nog problema povoljnije da vrednost kriterijuma bude veća (+), odnosno manja (—). Pri određivanju uticaja nižih nivoa rangiranja vodi se računa kako kriterijum na tom nivou utiče na neposredno viši kriterijum, a ne na objekat razmatranja (varijantu). Važnost kriterijuma ocenjuje od 1 do 3, vodeći računa da se izvrši fino ocenjivanje. Posle formiranja početne matrice za višekriterijumsko odlučivanje može se pristupiti korišćenju progra-

Tabela 2

Vrednosti normalizovanih indeksa i pore-dak varijanti

Vrednosti normalizovanih indeksa posle 1. ranga				
K 1	2280	3043	3677	—2
K 2	729	621	0	3
K 3	1588	2651	2261	3
K 4	1086	2497	918	1
K 5	2617	2507	4875	1,5
K 6	4138	4979	5383	2,5
K 7	5671	6873	9456	—2,5
Vrednosti normalizovanih indeksa posle 0. ranga				
K 1	633	845	1021	2,5
K 2	540	460	0	2
K 3	366	612	522	1,5
K 4	724	1664	612	3
K 5	785	752	1463	3
K 6	571	687	742	2
K 7	258	312	430	1
Ukupno: 3877 5332 4790				
Vrednost normalizovanih indeksa				
A 2 = 5332 A 3 = 4790 A 3 = 3877				
Poredak varijanti po vrednosti norma-lizovanih indeksa (po povoljnosti)				
A 2 				
A 3 				
A 1 *				

ma kojim se rešava problem izbora re-jona razmeštaja željene jedinice.

Na osnovu podataka dobijenih sa računara (tabela 2) i podataka o vred-nostima normalizovanih koeficijenata-indeksa vidi se da je optimalno reše-nje varijanta A2, sledeća po vrednosti varijanta A3, a zatim A1.

Dakle najpovoljnija lokacija za razvoj StSR je širi rejon lokacije A2, a rejon A3 treba posmatrati kao re-zervnu varijantu za razvoj StSR. Vred-nosti normalizovanih indeksa u tabe-li 2 date su radi ilustracije načina na koji metoda MENOR upoređuje vari-jante, o čemu se više može pročitati u [6]. Najveća brojčana vrednost ukupno normalizovanog indeksa po vari-jantama govori o najpovoljnijem kraj-njem rešenju, što je slikovito prikaza-no i brojem zvezdica uz oznaku poje-dine varijante.

Zaključak

Donošenje odluka o izboru rejo-na razmeštaja tehničkih jedinica za održavanje i izbor jedne varijante u odnosu na ostale mora se zasnivati na objektivnim činjenicama i merljivim pokazateljima. U dosadašnjoj pra-ksi odlučivanja, vezanoj za navedeni problem, uglavnom su dominirale ru-kovodilačka intuicija i iskustvo, a po-nekad i »činjenice autoriteta« koje ni-su bile naučno zasnovane i nisu bile plod detaljne analize. Sve to pokazuje da je nužno definisanje valjanih kri-terijuma kao mere pokazatelja uspeš-nosti — prednosti jednog rešenja u od-nosu na drugo.

Primenom metode MENOR pri izboru rejona razmeštaja smanjuje se subjektivizam i olakšava rad donosi-oca odluke, kroz analizu većeg broja varijanti po definisanim kriterijumi-ma i ponudom jednog na teorijskoj osnovi zasnovanog rešenja, čime se sti-ču dodatni uslovi za donošenje kvali-tetne odluke. Subjektivizam donosio-ca odluke svodi se na dopustivu me-

ru time što metoda omogućava da vrednosti kriterijuma razmatranih varijanti budu fizički merljive veličine. Kada to nije moguće, treba vršiti ekspertsku procenu. Ovakav pristup je logičan i opravdan, on ne ograničava misaonu aktivnost donosioca odluke, inventivnost i inicijativu, već nudi objektivno i prihvatljivo rešenje, uz uvažavanje više kriterijuma koji su često međusobno zavisni.

Prikazana metodika rešavanja problema i definisani kriterijumi uka-

zuju na jedan novi, dosada malo korišćen način rešavanja ove klase problema i predstavljaju polaznu osnovu za dalji rad na definisanju kriterijuma za razvoj jedinica tehničke službe, a i ostalih službi. Ovaj način može se primeniti i na ostale pozadinske jedinice, kada je u pitanju raspored resursa, određivanje mesta u borbenom poretku, itd., ali uz prilagođavanje — definisanje zavisnih kriterijuma.

Literatura:

- [1] Bataljon remontne podrške, Uputstvo za rad i upotrebu, SSNO, 1989.
- [2] Petković, R., Kokanović, M., Čirović, M.: Organizacija održavanja TMS, CVVS KoV JNA, Zagreb, 1988.
- [3] Mišković, V., Đukić, R., Kerec, Z.: Izbor lokacije poljskog skladišta, VTG 1/81, str. 260—270.
- [4] Andrejić, M.: Upravljanje pozadinskim bataljonom brigade KoV u borbenim dejstvima, spec. rad, CVTS, Zagreb, 1981.
- [5] Ilić, Z. i dr.: Rad isturene stanice srednjeg remonta, VTG 3/82.
- [6] Đukić, R.: Rangiranje alternativa metodom normalizacije kriterijumskih funkcija na više nivoa, NTP 6/89, str. 27—32.
- [7] Taktički zadatak: Korpus u odbrani, CVV8, Beograd, 1986.

Mr Milorad Vidović,
dipl. inž.
Mr Slobodan Cvetić,
dipl. inž.
Saobraćajni fakultet,
Beograd

OPTIMIZACIJA KORIŠĆENJA POSTOJEĆIH KOMPLEKSA ZA SKLADIŠTENJE UBOJNIH SREDSTAVA

UDC: 623.485.001.573

Rezime:

Eksploatacija postojećih kompleksa za skladištenje ubojnih sredstava (UbS) povezana je sa problemima koji se, pre svega, odnose na postizanje zahtevane bezbednosti uskladištenog materijala i objekata u okruženju. Ovakva situacija posledica je promene propisa u oblasti definisanja bezbednosnih rastojanja, i približavanja objekata okruženja skladištu. Međutim, i u ovim uslovima postojeća skladišta mogu funkcionisati na zadovoljavajući način uz primenjivanje odgovarajućih optimizacionih postupaka koji će povezati zahteve za skladištenjem i ograničenja koja nameće okruženje. Razvijen je jedinstveni model čijim korišćenjem je omogućeno definisanje maksimalne količine UbS koja se može smestiti u skladišni kompleks uz zadovoljavanje svih bezbednosnih zahteva.

Ključne reči: ubojna sredstva, skladištenje, bezbednosna rastojanja, optimizacija, struktura objekata, optimizacioni modeli.

OPTIMIZATION OF APPLICATION OF EXISTING BUILDING COMPLEXES FOR EXPLOSIVE STORAGE

Summary:

Application of existing building complexes for explosive storage is connected with problems relating above all, to how to obtain the required safety of stored explosives as well as of surrounding buildings. Such a situation arises from the change in regulations defining safety distances and distances between a storage building complex and surrounding buildings. Nevertheless, even in these conditions the existing storage buildings can be used in a satisfactory way, appropriate optimization procedures which connect storage demands with constraints imposed by the surroundings being applied. The complex model developed here enables the definition of the explosive maximum quantity which can be stored in a storing complex while respecting all safety instructions.

Key words: explosives, storage, safety distances optimization, building complex structure, optimization models.

Uvod

Skladišni kompleksi namenjeni za čuvanje opasnih materija klase I predstavljaju veoma značajno, potencijalno mesto nastanka akcidentnih događaja. Posledice ovih događaja mogu biti katastrofalne, jer mogu ugro-

ziti ljudske živote, i izazvati velike materijalne gubitke. Pored toga, ne treba zanemariti ni negativan uticaj eventualnih akcidenata na borbenu spremnost i efikasnost OS.

Postojeći skladišni kompleksi, po pravilu, zauzimaju velike površine zemljišta a za njihovu izgradnju i obe-

zbeđenje potrebne infrastrukture ulagana su znatna sredstva. Sa druge strane, zbog neophodne bezbednosti okruženja skladišnog kompleksa i uskladištenog materijala, njihovo funkcionisanje, u značajnoj meri, može biti ugroženo, pri čemu se, kao dominantni razlozi, mogu izdvojiti:

- promena strukture uskladištenog materijala koja se manifestuje kroz povećanje stepena opasnosti u procesima skladištenja,

- promena regulative u oblasti skladištenja, koja zahteva obezbeđenje većih bezbednosnih rastojanja,

- smanjenje rastojanja između objekata u okruženju i objekata u skladišnom kompleksu, kao posledica želje da se iskoristi infrastruktura koja je nastala gradnjom skladišnog kompleksa.

U ovakvim uslovima, jedine mogućnosti za ostvarivanje tražene bezbednosti jesu osvajanje novih lokacija za skladišne komplekse i rekonstrukcija postojećih skladišnih kompleksa.

Osvajanje novih lokacija, po pravilu, jeste aktivnost koja nosi veliki broj problema, pre svega zbog potrebe za izdvajanjem značajnih investicionih sredstava.

Rekonstrukcija postojećih skladišta, u većini slučajeva, predstavlja znatno bolju alternativu, ali zahteva precizne optimizacione postupke koji će obezbediti da se zadate količine materijala, uz zadovoljenje svih bezbednosnih zahteva, u skladišni kompleks smeste uz minimalna investiciona ulaganja. Cilj optimizacije postojećih skladišta može biti i zahtev za smeštanjem maksimalnih količina materijala na postojeću lokaciju uz ispunjenje svih bezbednosnih zahteva.

Osnovni aspekti definisanja bezbednosnih rastojanja

Pri smeštanju i čuvanju eksplozivnih materija u skladišnom objektu postoji opasnost da se nekim od ob-

lika dejstava ovih opasnih materija ugroze ljudi ili objekti u okruženju. Zbog toga se, regulativom iz oblasti zaštite od delovanja opasnih materija, propisuju minimalna bezbednosna rastojanja koja se moraju ostvariti, kako između skladišnih objekata i objekata u okruženju, tako i između skladišnih objekata međusobno.

Bezbednosna rastojanja između skladišnih objekata i objekata u okruženju imaju za cilj da zaštite potencijalno ugrožene ljude i objekte, tako što onemogućavaju da se oni nađu u zoni dejstva eksplozivnih materija. Veličina ovih rastojanja zavisi od karaktera materija i prirode objekta koji se štiti, tako da se posebna rastojanja definišu za javne, stambene, industrijske i druge objekte.

Bezbednosna rastojanja između skladišnih objekata uvode se, pre svega, radi onemogućavanja prenošenja dejstva eksplozije iz jednog objekta, u kome se desio incident, na drugi objekat. Ovom merom incident u skladišnom kompleksu se lokalizuje na samo jedan objekat.

Veličina bezbednosnih rastojanja zavisi od oblika dejstva eksplozivnih materija. Analiza ovih dejstava ukazuje na to da se mogu pojaviti sledeće vrste opasnosti:

- dejstvo vazдушnim udarnim talasom (klase 1.1 i 1.5),

- toplotno dejstvo (klasa 1.3),

- dejstvo razbacivanjem fragmenata (klasa 1.2).

Sva bezbednosna rastojanja mogu se svrstati u dve osnovne grupe:

- koja zavise isključivo od oblika dejstva eksplozivnih materija i karakteristika skladišnih objekata,

- koja zavise od oblika dejstva eksplozivnih materija, uskladištene količine i karakteristika skladišnog objekta.

Ova bezbednosna rastojanja predstavljaju se relacijama:

$$a_c = f(o, s) \quad (1)$$

$$a_q = f(q, o, s) \quad (2)$$

gde je:

- a_c — bezbednosno rastojanje koje ne zavisi od uskladištene količine eksplozivnih materija,
- a_q — bezbednosno rastojanje koje zavisi od uskladištene količine eksplozivnih materija,
- q — količina eksplozivnih materija u skladišnom objektu,
- o — vrsta, odnosno oblik dejstva eksplozivnih materija,
- s — karakteristike skladišnog objekta.

Bezbednosna rastojanja posledica su regulativnih mera koje postaju sve oštrije i univerzalnije. Na njihovo primenjivanje, pored redovnih instrumenata predviđenih regulativnim merama, obavezuje sve više i porast nivoa svesti ljudi. One dobijaju međunarodni karakter, što može, u slučaju njihovog neprimenjivanja, dovesti do potpune međunarodne blokade pri realizaciji robnih tokova sa eksplozivnim materijama.

Koncept optimizacije funkcionisanja postojećih skladišnih kompleksa

Jedan od veoma značajnih problema, na koji se nailazi pri eksploataciji postojećih skladišta eksplozivnih materija, odnosi se na nemogućnost njegovog optimalnog korišćenja, sa aspekta iskorišćenja raspoložive površine, zbog nedovoljnih rastojanja između skladišnih objekata. Ovaj problem je još izraženiji kada se zna da se nove lokacije za skladišta eksplozivnih materija veoma teško dobijaju. Nove lokacije, po pravilu, imaju daleko nepovoljniji položaj u odnosu na saobraćajnu i ostalu infrastrukturu, a za njihovo potpuno osposobljavanje potrebno je izdvojiti znatna materijalna sredstva. Ovi i ostali problemi često na-

vode korisnike postojećih skladišta da ih koriste tako da u skladišne objekte smeštaju količine eksplozivnih materija veće od dozvoljenih sa aspekta minimalnih bezbednosnih rastojanja, čime se stvaraju mogućnosti da dođe do incidenata veoma velikih razmera.

Problemi koji se odnose na veličinu bezbednosnih rastojanja i iskorišćenje smeštajnih mogućnosti skladišnog objekta mogu biti dvojaki, u funkciji od prirode bezbednosnog rastojanja.

Bezbednosna rastojanja koja ne zavise od količine uskladištenog materijala, već samo od oblika dejstva eksplozivnih materija, onemogućavaju da se skladišni objekat koristi u uslovima kada se nalazi na rastojanju manjem od minimalnog. Potpuno je jasno da se takav objekat, ukoliko je posmatrano bezbednosno rastojanje posledica potrebe za zaštitom objekta iz okruženja koji se ne može eliminisati, može koristiti samo za smeštanje materija koje ne spadaju u klasu eksplozivnih, ili onih eksplozivnih materija za koje je postojeće rastojanje dovoljno.

Međutim, ako je zabrana korišćenja objekta nastala kao posledica nedovoljnog rastojanja između dva skladišna objekta, stvara se mogućnost da se jedan od ova dva objekta i dalje koristi za smeštanje eksplozivnih materija iste klase, tako što bi jedan objekat bio eliminisan. Ovaj naizgled jednostavan problem, znatno se usložava činjenicom da skladišni kompleksi, po pravilu, imaju relativno veliki broj skladišnih objekata, pri čemu su svi objekti međusobno ugroženi.

U uslovima kada uskladištene opasne materije diktiraju postavljanje bezbednosnih rastojanja koja zavise od količine uskladištenih materija, potpuna zabrana korišćenja nekog od skladišnih objekata nije moguća. Problemi se tada odnose na određivanje količine materija koje mogu biti uskladištene, kao funkcije postojećeg rastojanja do

objekta u okruženju ili do susednog skladišnog objekta, što je predstavljeno relacijom:

$$q = f^{-1}(a_0, o, s) \quad (3)$$

Ovako definisana količina materijala, koja se može smestiti u jedan skladišni objekat, može usloviti veoma loše iskorišćenje njegove zapremine, pa je, kao i u prethodnom slučaju, moguće razmatrati eliminisanje jednog ili više objekata radi efikasnijeg korišćenja preostalih objekata.

Uočljivo je da se u oba slučaja, rešenje za optimalno korišćenje postojećih kompleksa za skladištenje eksplozivnih materija traži u eliminisanju nekih objekata, kako bi se preostali koristili na bolji način i kako bi se obezbedilo da se u kompleksu smesti ukupno više eksplozivnih materija.

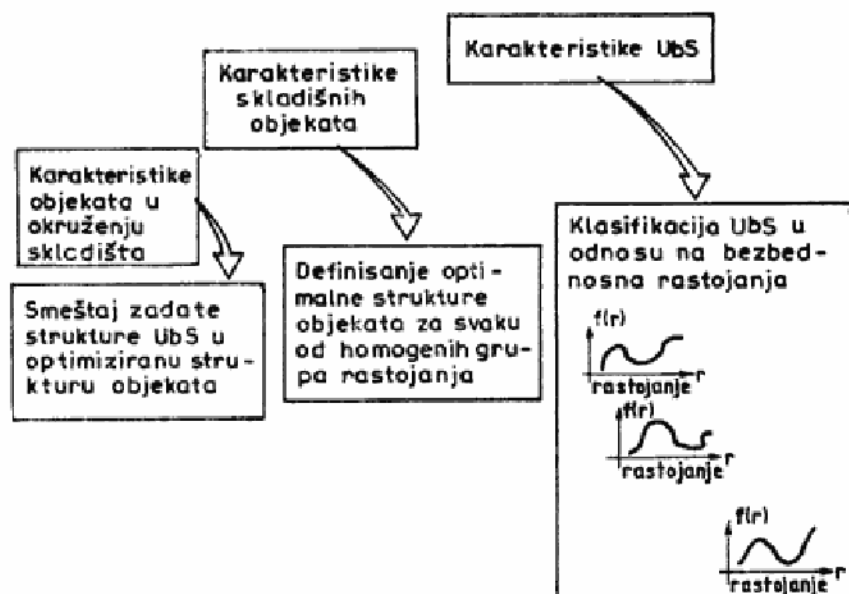
Ovaj problem u znatnoj meri dobija na složenosti činjenicom da se u kompleks smešta više klasa eksplozivnih materija koje zahtevaju različita bezbednosna rastojanja. Isto tako, u uslovima kada bezbednosna rastojanja

zavise od količine uskladištenog materijala, postavlja se i problem dovođenja u vezu zapremine objekta i količine u njemu smeštenog čistog eksploziva, s obzirom na primenjene tehnologije skladištenja i oblike pakovanja.

Logično je da se o eliminaciji pojedinih objekata, kao putu koji vodi ka smeštanju većih količina materijala u skladišni kompleks, zbog izuzetne složenosti problema, može govoriti samo u uslovima homogenih, odnosno jednakih bezbednosnih rastojanja.

Posledica toga jeste da se eliminacija objekata može i mora obaviti za svaku od homogenih grupa rastojanja. Na ovaj način dolazi se do optimalne strukture objekata za svaku od homogenih grupa.

Više optimalnih struktura, sa jedne, i potreba da se u skladišni kompleks smesti širi asortiman eksplozivnih materija, sa druge strane, nameće potrebu da se precizno definiše namena svakog od objekata, odnosno, da se svaki od objekata poveže sa odgovarajućom grupom opasnih materija, homogenom sa aspekta veličine bezbednosnog rastojanja.



Sl. 1 — Osnovni koncept optimizacije postojećih skladišnih kompleksa

Izloženi pristup problemu generiše dve osnovne grupe aktivnosti koje je neophodno primeniti kako bi osnovni cilj, definisan kao smeštanje maksimalnih količina eksplozivnih materija u postojeći kompleks, bio ostvaren. Ove grupe mogu se definisati kao:

— definisanje optimalne strukture objekata u okviru jedne homogene grupe bezbednosnih rastojanja,

— postupak smeštaja zadate strukture UBS u optimiziranu strukturu objekata.

Definisanje optimalne strukture objekata u okviru homogene grupe bezbednosnih rastojanja

Definisanje optimalne strukture objekata, u okviru jedne homogene grupe bezbednosnih rastojanja, moguće je ostvariti primenjivanjem optimizacionih modela:

— SMD, u slučaju kada bezbednosna rastojanja ne zavise od količine eksplozivnih materija u skladišnom objektu,

— SME, kada bezbednosna rastojanja zavise od količine eksplozivnih materija u skladišnom objektu.

Bez obzira na vrstu eksplozivnih materija u kompleksu i na model koji će se primenjivati, neophodno je, u prethodnom postupku, izvršiti analizu eksplozivnih materija kako bi se dobili realni parametri funkcionalne zavisnosti između bezbednosnih rastojanja i ostalih relevantnih faktora. Isto tako, neophodno je eliminisati sve skladišne objekte koji mogu ugroziti objekte u okruženju skladišnog kompleksa.

Definisanje optimalne strukture objekata u uslovima kada bezbednosna rastojanja ne zavise od količine eksplozivnih materija u skladišnom objektu

Optimizacija korišćenja postojećih kompleksa za skladištenje eksplozivnih materija, u uslovima postojanja bez-

bednosnih rastojanja koja ne zavise od količine eksplozivnih materija u skladišnom objektu, zasniva se na eliminaciji onih skladišta koja se ne mogu koristiti, jer su na manjem rastojanju od minimalnog. Zbog postojanja velikog broja mogućnosti za eliminaciju objekata, neophodno je uvesti kriterijum čijim bi se korišćenjem obezbedilo da novoformirana struktura objekata bude zaista optimalna. Kako je osnovni cilj optimizacije stvaranje mogućnosti da se u postojeće skladišne komplekse smesti maksimalna količina eksplozivnih materija, za kriterijum optimizacije treba odabrati neki od pokazatelja koji govori o iskorišćenosti skladišnih objekata. Pošto je kod nekih eksplozivnih materija, kao što je to slučaj sa onima iz klase 1.1, od značaja ne samo ukupna količina izražena u jedinicama težine ili zapremine, već i specifična gustina pojedinih komponenti, logičan izbor kriterijuma je ukupna korisna zapremina svih skladišnih objekata u kompleksu.

Postupak optimizacije može biti zasnovan na definisanju pokazatelja korisnosti zadržavanja nekog od skladišnih objekata u strukturi, pri čemu bi se njegova vrednost dobila kao razlika između zapremine objekata koji su ostali u strukturi, zahvaljujući eliminaciji određenog broja objekata, i zapremine objekata koji su eliminisani iz strukture, prema relaciji:

$$K_o = \sum_{i=1}^n V_i - \sum_{j=1}^m V_j \quad (4)$$

gde je:

V_i — zapremine objekata iz skupa onih koji se eliminišu iz strukture, jer je $a_{oj} > a_{min}$,

V_j — zapremine objekata iz skupa onih koji ostaju u strukturi, kao posledica eliminacije objekata sa zapreminama V_j ,

K_o — koeficijent korisnosti za objekat O.

Pokazatelj korisnosti utvrđuje se za svaki od skladišnih objekata koji u susedstvu ima objekat ili objekte na rastojanju manjem od minimalnog. Eliminisanjem tog ili tih objekata gubi se određena zapremina koja se pri proračunu pokazatelja korisnosti uvažava sa predznakom minus. Zahvaljujući eliminaciji, posmatrani i eventualno još neki objekti postaju upotrebljivi, jer njihova rastojanja do susednih objekata postaju veća od minimalnih. Zapremine ovih objekata se pri proračunu pokazatelja korisnosti uvažavaju sa predznakom plus.

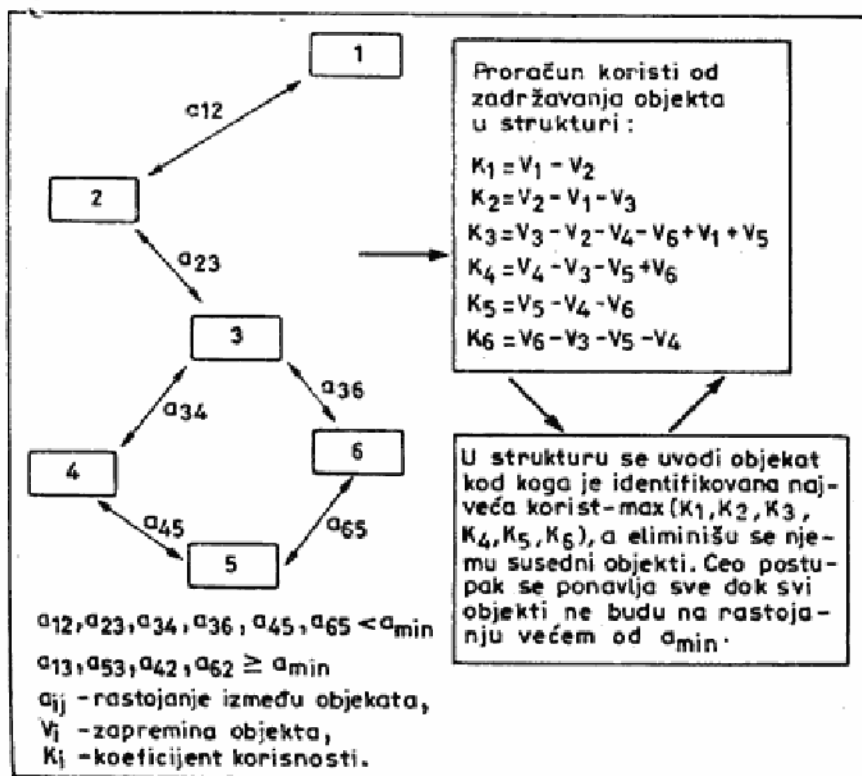
Proračunom koeficijenta korisnosti za svaki objekat stvoreni su uslovi za objektivno identifikovanje objekta koji treba zadržati u strukturi, a samim tim i objekata koje treba eliminisati, a da se, pri tome, ostvare najveći korisni efekti. Jasno je da u strukturi treba zadržati onaj objekat za

koji je utvrđeno da ima najveći koeficijent korisnosti, a eliminisati one objekte koji se od objekta sa najvećim koeficijentom korisnosti nalaze na rastojanju manjem od minimalnog.

Ceo ovaj postupak (proračun koeficijenata i eliminisanje objekata) ponavlja se dok se, postupkom eliminacije, ne obezbedi da svi skladišni objekti u kompleksu budu na rastojanju većem od minimalnog.

Definisanje optimalne strukture objekata u uslovima kada bezbednosna rastojanja zavise od količine eksplozivnih materija u skladišnom objektu

U slučajevima kada karakteristike eksplozivnih materija zahtevaju bezbednosna rastojanja koja zavise od uskladištene količine, potreba za eli-



Sl. 2 — Primer primene modela SMD

minacijom nekog od objekata, sa ciljem da se njemu susjedni objekti osposobe za korišćenje, ne postoji. Teoretski posmatrano, bilo koje bezbednosno rastojanje, pa i ono najmanje, omogućava da se razmatrani objekat koristi. Naravno, u njega je moguće smestiti onoliko eksplozivnih materija koliko to postojeće bezbednosno rastojanje dozvoljava (izraz 3).

Međutim, i u ovom slučaju postoje mogućnosti za povećanjem ukupne količine eksplozivnih materija koje se mogu smestiti u skladišni kompleks. Slično prethodno opisanom postupku, i u ovom slučaju je moguće eliminisati jedan ili više objekata, kako bi se obezbedilo bolje korišćenje objekata koji ostaju u strukturi.

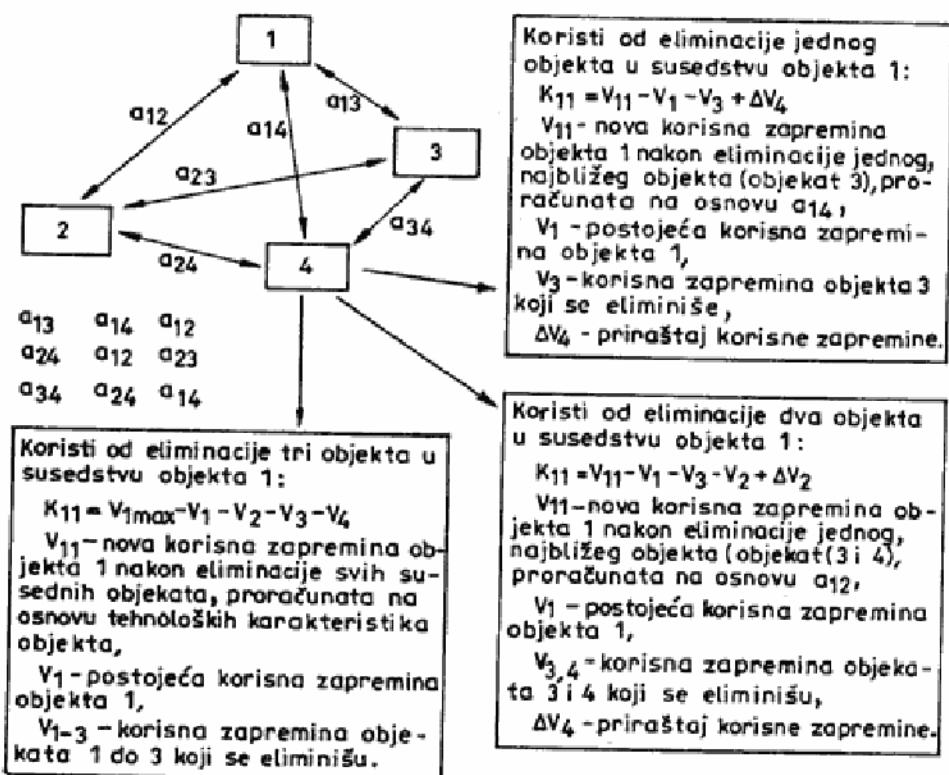
Bolje iskorišćenje zapremine proizvoljno izabranog objekta može se postići eliminacijom susjednih objekata.

Logično je da se najmanji efekti postižu eliminacijom jednog, najbližeg, objekta. Najveće efekte moguće je ostvariti eliminacijom svih susjednih objekata koji se nalaze na rastojanju manjem od onoga koje bi bilo potrebno ostvariti u slučaju da se zapremina posmatranog objekta iskoristi do maksimuma.

Slično kao u prethodnom slučaju, efekte eliminacije objekata moguće je egzaktno utvrditi proračunom koeficijenta korisnosti, u zavisnosti od eliminacije pojedinih objekata.

Koeficijent korisnosti mora se proračunati za svaki objekat koji ostaje u strukturi, i to posebno za svaku od potencijalnih kombinacija eliminacije susjednih objekata.

Proračunom koeficijenata korisnosti za svaki objekat stvoreni su uslovi da se, na objektivnan način, odaberu ob-



Sl. 3 — Proračun »korisnosti« primenom modela SME

jekti koje treba eliminisati, pa, prema tome, i objekat koji treba zadržati u strukturi.

Ceo opisani postupak treba ponavljati sve dotle dok se više ni za jedan objekat ne može definisati pozitivan koeficijent korisnosti, što ujedno znači da se novom eliminacijom bilo koje kombinacije objekata ne može ostvariti povećanje uskladištene količine eksplozivnih materija u skladišnom kompleksu.

Svaki od koeficijenata korisnosti povezuje se sa objektom za koji se ispituje opravdanost povećanja iskorišćenja njegove zapremine i kombinacijom objekata koje treba eliminisati kako bi ovo povećanje bilo ostvarljivo.

Kombinacije objekata za eliminaciju nastaju korišćenjem elemenata skupa objekata koje je moguće eliminisati.

Elementi ovog skupa Or dobijaju se kao podskup skupa svih skladišnih objekata u kompleksu za koje je ispunjen uslov:

$$a_{rj} < f(V_{\max}, o, s), \quad (5)$$

gde je:

- a_{rj} — rastojanje od objekta r , za koji se ispituje opravdanost povećanja iskorišćenja zapremine, do objekta j ,
- $V_{\max}$ — zapremina objekta za koji se ispituje opravdanost povećanja iskorišćenja zapremine,
- o — karakteristike eksplozivnih materija,
- s — karakteristike skladišnog objekta,
- f^{-1} — funkcionalna zavisnost između bezbednosnog rastojanja, zapremine objekta, karakteristika objekta i karakteristika eksplozivnih materija.

Elementi skupa Or uređeni su tako da rastojanja između objekta r i objekata u posmatranom skupu formiraju rastući niz.

Nakon definisanja elemenata posmatranog skupa moguće je definisati i skup potencijalno ostvarljivih zapremina objekta r , PVr .

Element l , skupa PVr koji odgovara elementu l skupa Or , dobija se korišćenjem izraza:

$$V_{rl} = F^{-1}(a_{rl}, o, s) \quad (6)$$

i predstavlja zapreminu koju je moguće iskoristiti u objektu r , uz uslov da se eliminiše l objekata iz skupa Or .

Definisanjem elemenata ovih skupova stvorena je mogućnost za proračun koeficijenta korisnosti u zavisnosti od povećanja iskorišćenja zapremine objekta r , uz eliminaciju l objekata iz skupa Or , korišćenjem izraza:

$$K_{rl} = V_{rl} - V_r - \sum_{i=1}^l V_i + \Delta V \quad (7)$$

gde je:

- K_{rl} — koeficijent korisnosti koji zavisi od povećanja iskorišćenja, zapremine objekta r eliminisanjem l objekata iz skupa Or ,
- V_{rl} — zapremina koju je moguće ostvariti u objektu r nakon eliminisanja l objekata iz skupa Or ,
- V_r — iskorišćena zapremina objekta r pre eliminisanja objekata,
- V_j — zapremina eliminisanog objekta j ,
- ΔV — priraštaj zapremine u ostalim objektima koji nastaje kao posledica eliminisanja l objekata iz skupa Op .

Koristeći definisane izraze, koeficijente korisnosti moguće je proračunati za sve objekte u kompleksu. Izborom najvećeg koeficijenta korisnosti definiše se akcija koja podrazumeva eliminaciju određenog broja objekata i zadržavanje jednog od objekata, uz povećanje iskorišćenja njegove zapremine. Nakon eliminisanja jedne grupe objekata moguće je nanovo defi-

nisati koeficijente korisnosti za novodobijenu strukturu objekata, čime se otvara mogućnost za novu eliminaciju objekata. Ovaj postupak se ponavlja sve dotle dok se ne utvrdi da nove eliminacije objekata ne mogu doprineti povećanju iskorišćenja zapremine objekata.

Postupak smeštaja zadate strukture opasnih materija klase 1 u optimiziranu strukturu objekata

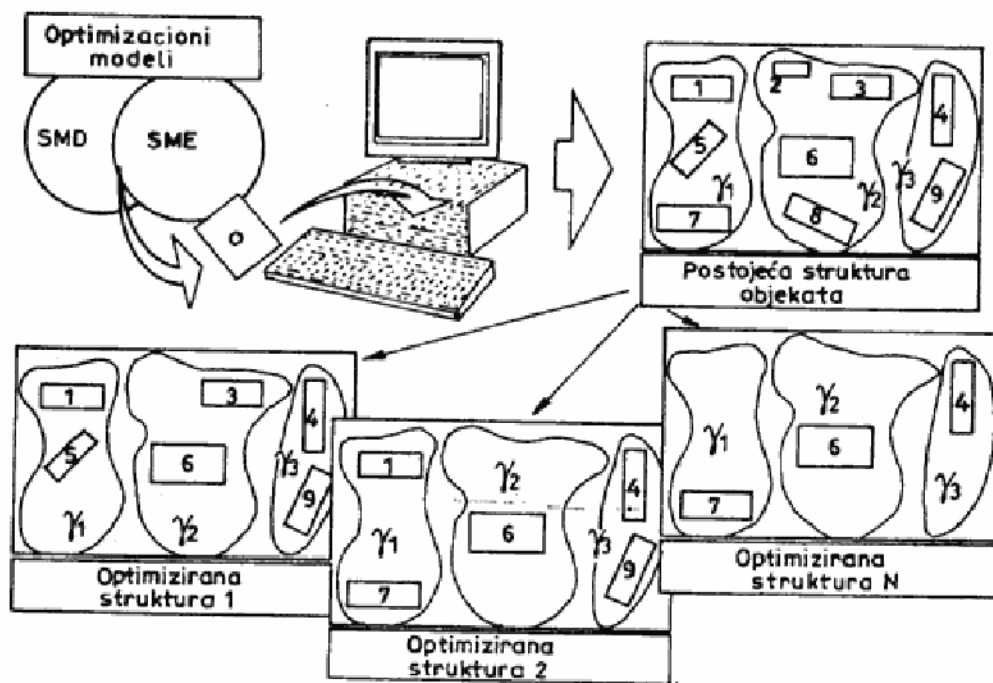
Formiranje segmenata unutar kojih se smeštaju homogene grupe materija

Eliminacijom određenog broja objekata koji svojim položajem limitiraju smeštajne mogućnosti kompleksa, primenom prezentiranih optimizacionih modela (SMD i SME) utvrđuje se struktura objekata na rastojanjima koja maksimiziraju smeštajne karakteristike kompleksa.

S obzirom na to da je primena izloženog postupka povezana sa brojem utvrđenih homogenih grupa bezbednosnih rastojanja među objektima, kao rezultat dobija se familija rešenja — jedna struktura objekata za svaku homogenu grupu minimalnih rastojanja među objektima.

Ako se dobijeni rezultati grafički predstave na situacionom planu kompleksa, tada je rezultat primene optimizacionih modela SMD i SME moguće šematski predstaviti kao na slici 4.

Očigledno, s obzirom na razlike u potrebnim minimalnim bezbednosnim rastojanjima, reč je i o različitim strukturama objekata, pri čemu je svaka »specijalizovana«, sa aspekta mogućnosti smeštaja, samo za one materije koje zahtevaju isto rastojanje objekata. Međutim, pošto u realnim skladišnim kompleksima, posebno vojnim, postoji zahtev za smeštaj različitih materija i sredstava iz klase 1, bilo je neophodno definisati postupak koji će to omogućiti.



Sl. 4 — Grafički prikaz rezultata primene modela SMD i SME

Rešavanje ovog problema na bazi kombinatornih procedura, zbog enormno velikog broja kombinacija moralo je biti odbačeno i u polaznom koraku postupka optimizacije, a zbog istog razloga nije primenjivo ni u okviru ove faze. Naime, veliki broj kombinacija i složeni i obimni proračuni koje je neophodno sprovesti za svaku od mogućih kombinacija, svrstavaju ovaj problem u klasu *np-hard* problema, što je bio osnovni razlog da se za praktičnu primenu razvije heuristička procedura.

U okviru te procedure u prvom koraku se vrši grupisanje objekata kao posledica podele kompleksa na određen broj segmenata. Na taj način obebeđeno je da se grupa objekata unutar segmenta (slika 4) posmatra kao nezavisan entitet u koji se smešta jedna homogena grupa materija, pri čemu je, jednovremeno, kao posledica egzistencije većeg broja ovih segmenata u kompleksu, moguć smeštaj materija klase 1 iz različitih homogenih grupa. Segmenti unutar skladišnog kompleksa označeni sa γ , imaju fiksne prostorne granice i invarijantni su za različite strukture objekata. Invarijantnost ovih segmenata, tj. oblasti kompleksa, s obzirom na razlike u strukturi objekata za pojedina minimalna bezbednosna rastojanja, uslovlja je i razlike u broju, vrsti i rastojanju skladišnih objekata unutar oblasti γ . Tako, na primer, segment γ_1 koji u postojećem stanju sadrži objekte 1,5 i 7, nakon optimizacije, za minimalna bezbednosna rastojanja a_{min1} , a_{min2} i a_{minN} sadrži, respektivno, objekte 1,5, odnosno 1,7, odnosno 7.

Formiranje segmenata γ obavlja se u postupku logičke analize, uz respektovanje sledećih kriterijuma:

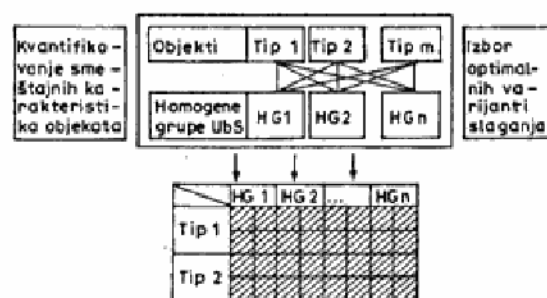
- rastojanje segmenata,
- rastojanje i dužina saobraćajnica unutar segmenata,
- veličina i broj objekata unutar segmenata,

- raspored objekata u kompleksu,
- zadata struktura i količina materija klase 1,
- pogodnost, segmentom obuhvaćene lokacije, za izgradnju novih objekata.

Definisanje namene pojedinih segmenata

Problem utvrđivanja optimalne skladišne strukture — u ovom slučaju one koja omogućava smeštaj maksimalnih količina materije klase 1, svodi se, praktično, na definisanje funkcije svakog od formiranih segmenata. Pri tome, svaki segment može imati jednu od N funkcija, odnosno, unutar segmenta moguće je smestiti jednu od N homogenih grupa materija klase 1, pri čemu je smeštena količina funkcija vrste, broja i smeštajnih karakteristika objekata u posmatranom segmentu.

Jasno je da kvantifikovanje količine koja se može smestiti u segment podrazumeva smeštaj svih homogenih grupa materija klase 1 u sve tipove objekata u kompleksu (slika 5).



Sl. 5 — Analiza smeštajnih karakteristika objekata

Postupak utvrđivanja smeštajnih karakteristika objekata je, takođe, izuzetno složen, s obzirom na to da podrazumeva realizaciju čitavog niza aktivnosti. U okviru ovog koraka potre-

bito je utvrditi karakteristike pojav-
nih oblika svih vrsta materija predvi-
đenih za skladištenje u kompleksu, a
za sve tipove objekata definišu se op-
timalne tehnologije slaganja. Na os-
novu toga, i uz respektovanje svih pro-
pisa koji se odnose na oblast skladi-
štenja, utvrđuju se maksimalne koli-
čine svake od homogenih grupa, koje
je moguće smestiti u svaki tip objek-
ta. Sabiranjem svih na opisani način
utvrđenih količina, po svim objektima
koji se za definisano minimalno bez-
bednosno rastojanje nalaze unutar od-
ređenog segmenta γ , određuje se i ma-
ksimalna količina materija klase I
koja se može smestiti. Pri tome, tre-
ba imati u vidu da se, ukoliko je ra-
spoloživa količina materija manja od
smeštajnih mogućnosti segmenta, *sme-
štena količina limitira raspoloživom*.

Proces definisanja namene poje-
dinih segmenata realizuje se primenom
heurističkog postupka zasnovanog na
konceptu »koristi« koje se ostvaruju
kao posledica smeštaja određene ho-
mogene grupe materija u segment.

Postupak definisanja namene po-
jedinih segmenata, uz primenu krite-
rijuma maksimalne ukupne smešte-
ne količine, sadrži sledeće korake:

1. Formira se tabela sa brojem re-
dova koji je jednak broju homogenih
grupa materija i brojem kolona jed-
nakim broju definisanih segmenata.

2. U polje i-j, koje se nalazi u pre-
seku i-te vrste i j-te kolone, upisuje se
količina materija i-te homogene grupe
koja se može smestiti u j-ti segment.
Ova količina se limitira raspoloživom
količinom materija posmatrane grupe
opasnosti.

3. Formira se polazno (bazično)
rešenje u okviru kojeg se svakom se-
gmentu γ dodeljuje određena količi-
na jedne od homogenih grupa.

4. Za svaki segment γ proračuna-
va se »korist« koja bi se ostvarila u
slučaju smeštaja one homogene grupe
materija za koju je ukupna smeštena

količina u segmentu maksimalna. (»Ko-
rist« je ekvivalentna priraštaju ukup-
ne količine smeštenih materija u kom-
pleksu).

5. Poređenjem »koristi«, definisa-
nih u prethodnom koraku, vrši se iz-
bor najveće i na taj način definiše
namena segmenta. (U segment se sme-
šta ona materija koja je rezultovala
najvećom »koristi«).

6. Količine materija u preostalom
segmentima koriguju se u zavisnosti
od raspoložive količine (raspoloživa
količina se umanjuje za smeštenu) i
postupak se ponavlja od koraka 4.

7. Kada sve »koristi« budu jedna-
ke nuli ili negativne, postupak je okon-
čan, a dobijeno rešenje blizu optimal-
nom.

Nakon utvrđivanja funkcije poje-
dinih segmenata u skladišnom komple-
ksu, pristupa se definisanju namene
svakog objekta u segmentu.

Definisanje namene skladišnih objekata unutar segmenta

Svaki od segmenata sastoji se od
objekata koji su preostali posle elimi-
nacije, čiji je cilj bio omogućavanje
smeštaja maksimalne količine materij-
a iz određene homogene grupe, odno-
sno objekata koji se u kompleksu na-
laze u postojećem stanju. Problem re-
alnog smeštaja materija određene gru-
pe opasnosti u izabrani segment γ
svodi se na ponovnu primenu izloženog
heurističkog postupka, sada za poje-
dinačno popunjavanje neeliminiranih
skladišnih objekata unutar segmenata.
Treba naglasiti da objekti predviđeni
za eliminaciju *ne moraju fizički biti
uklonjeni iz kompleksa*, već se mogu
koristiti za smeštaj materija koji ne
pripadaju kategoriji opasnih. Pri to-
me, mora se imati u vidu mogućnost
da se pri pojavi akcidenta unište i ovi
objekti.

Ukoliko ni nakon optimizacije
strukture objekata u skladišni kom-

pleks nije moguće smestiti zahtevanu količinu i strukturu opasnih materija klase 1, neophodno je, za preostalu količinu, pristupiti izgradnji novih objekata, bilo na istoj, ili na nekoj drugoj lokaciji.

Zaključak

Razvijen je model čijim se korišćenjem omogućava optimizacija postojećih kompleksa za skladištenje UbS, radi smeštanja maksimalnih količina ovih materija u okviru postojeće strukture skladišnih objekata.

Primena modela podrazumeva postupke homogenizacije bezbednosnih rastojanja, eliminaciju objekata kako bi se obezbedilo smeštanje najvećih količina UbS i konkretno raspoređivanje zadatih količina UbS u pojedine skladišne objekte.

Eliminacija objekata realizuje se u slučaju kada minimalna bezbednosna rastojanja, koja treba ostvariti između pojedinih objekata, ne zavise od količine eksplozivnih materija koje su smeštene u skladišne objekte i kada ova zavisnost postoji. U oba slučaja, optimizacija se postiže eliminacijom pojedinih objekata, čime se postojeća rastojanja među objektima povećava-

ju, a samim tim omogućava i smeštanje većih količina materija.

Eliminaciju treba shvatiti uslovno, kao zabranu da se neki od objekata koristi za skladištenje eksplozivnih materija, što ne isključuje mogućnost da se u njega smeste materije koje ne pripadaju klasi eksplozivnih.

Kao kriterijum za eliminaciju izabrana je ukupna korisna zapremina objekta, koja je posledica bezbednosnih rastojanja između objekata i primenjene tehnologije u skladišnom objektu.

U radu je prikazana osnovna koncepcija modela koji se može primeniti za većinu klasa eksplozivnih materija, a njihovo prilagođavanje za konkretne primene je relativno jednostavno. U većini slučajeva svodi se na precizno utvrđivanje zavisnosti između bezbednosnih rastojanja, vrste eksplozivnih materija, vrste objekata i odnosa zapremine objekta i parametara koji se koriste pri proračunu bezbednosnih rastojanja.

Ovi modeli mogu se nadograđivati korišćenjem ekonomskih parametara kao kriterijuma koji se koriste pri donošenju odluke o eliminaciji ili zadržavanju nekog objekta u strukturi skladišnog kompleksa.

Literatura:

- [1] Transport of dangerous goods, OUN.
- [2] Grupa autora: Tehnološki projekat AX — 84, TU SSNO, Beograd, 1985.

- [3] Grupa autora: Tehnološki projekat OB — 84, TU SSNO, Beograd, 1985.

Mr Zoran Bojanić,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija
VJ, Beograd

ANALIZA TAČNOSTI I EKONOMIČNOSTI UPROŠĆENIH MATEMATIČKIH MODELA DINAMIKE PROJEKTILA

UDC: 531.55:623.548.001.573

Rezime:

U radu je prezentiran matematički model koji je nastao prilagođavanjem matematičkog modela projektila razmatranog kao da je kruto telo sa šest stepeni slobode kretanja, za projekte koji imaju velike početne uglove i koji lete na velikim daljinama. Analizirana je tačnost modela i mogućnost implementacije na mikroprocesorskim sistemima i digitalnim signal-procesorima.

Ključne reči: matematički model, projektil, jednačine kretanja, implementacija modela.

ANALYSIS OF ACCURACY AND ECONOMIC EFFICIENCY OF SIMPLIFIED MATHEMATICAL MODELS OF PROJECTILE DYNAMICS

Summary:

The mathematical model of a projectile treated as a rigid body with six-degree-of-freedom motion is adapted and presented as a mathematical model for projectiles having wide initial angles and flying to great distances. The model accuracy is analysed as well as the possibility of implementation in microprocessing systems and digital signal processors.

Key words: Mathematical model, projectile, equations of motion, model implementation.

Uvod

Kretanje žirostabilisanog osnosimetričnog projektila u prostoru sastoji se od translacije centra mase i rotacije oko sopstvenog centra mase. Veličine kojima se karakteriše kretanje međusobno se razlikuju po brzini i karakteru promene. Parametri koji određuju kretanja centra mase su njegove koordinate u prostoru. Brzina i ubrzanje promene parametara centra mase relativno su male veličine u odnosu na brzinu i ubrzanje promene parametara kretanja oko centra mase, pa se kretanje centra mase smatra sporim. Pa-

rametri sporog kretanja se, zbog njihove spore promene, u praksi smatraju neperiodičnim, a, u stvari, imaju veliku periodu koja se teško uočava u kratkom vremenskom intervalu. Nasuprot sporom kretanju, kretanje oko centra mase koje je, u stvari, kombinacija rotacije, oscilovanja i klaćenja projektila na putanji je periodično uočljivo. Brzina promene parametara koji karakterišu ovo kretanje je velika, pa se ono naziva brzim kretanjem. Uglovi koji određuju klaćenje projektila tokom brzog kretanja su mali, imaju malu amplitudu, a veliku frekvenciju (malu periodu oscilovanja)

i parametri su brzog kretanja. Prilikom numeričke integracije mora se koristiti dužina-veličina koraka integracije po vremenu koju diktira parametar koji se najbrže menja, a to je jedna od uglovnih veličina. Kao rezultat toga dobija se veliko ukupno vreme proračuna putanje, jer se nepotrebno vrše računске operacije sa veličinama koje su praktično konstantne u toku bar jednog obrtaja projektila oko uzdužne ose za ugao od 2π , a svakako i za izvestan broj obrtaja n i ugao $2n\pi$ [1].

Da bi se proračun putanje obavio u prihvatljivom vremenskom periodu, tj. da bi numeričko rešenje bilo ekonomično, u praksi se pribegava:

razdvajanju jednačina kojima se opisuju brzo i sporo kretanje, različito po karakteru i brzini promene parametara kretanja, tako da se može vršiti numerička integracija s različitim korakom integracije;

uprošćavanju sistema diferencijalnih jednačina kretanja projektila da bi se lakše našlo njihovo numeričko rešenje ili stvorili uslovi za delimično analitičko rešenje, obično brzog kretanja. Prilikom razdvajanja kretanja ili uprošćavanja čine se određena zanemarivanja da bi se smanjio nivo složenosti polaznog modela. Smanjivanjem nivoa složenosti modela javljaju se određene, za praksu prihvatljive greške, ali se vreme proračuna parametara kretanja bitno skraćuje.

Matematički model dinamike projektila, koji se sastoji od sistema diferencijalnih jednačina, razmatranog kao da je projektil kruto telo, zbog svoje kompleksnosti i neekonomičnosti, često nije prikladan za rešavanje praktičnih zadataka. Zbog toga se još uvek koriste transformisani — uprošćeni modeli dinamike projektila.

U radu su date uprošćene jednačine dinamike projektila. Jednačine su ispitane kako bi se utvrdilo da li ispunjavaju kriterijume:

— tačnosti uprošćenog modela, koja se određuje upoređivanjem rezulta-

ta dobijenih merenjem stvarnog kretanja projektila ili rezultata dobijenih simulacijom pomoću tačnog — polaznog modela, sa rezultatima koji se dobijaju pomoću uprošćenog modela;

— ekonomičnosti uprošćenog modela, pod kojom se podrazumeva angažovanje računarskih resursa za numeričku integraciju diferencijalnih jednačina sa promenljivim koeficijentima, čije rešenje daje parametre kretanja projektila.

Uprošćeni matematički model dinamike projektila, prikazan u ovom radu, omogućava izračunavanje parametara koji su bliski vrednostima parametara iz polaznog modela, za projekte koji imaju velike polazne uglove i koji lete na velikim daljinama.

Za projekte stabilisane rotacijom polazni matematički model dinamike leta, sa kojim se vrši upoređenje, jeste model projektila koji je razmatran kao da je kruto telo koje ima šest stepeni slobode kretanja. Jednačine kretanja tela izvedene su u aerobalističkom koordinatnom sistemu.

Uprošćeni matematički modeli mogu se koristiti za izradu tablica gađanja i za real-time simulacije u sistemima za upravljanje vatrom oruđa koja su namenjena za posredno gađanje.

Korišćene oznake:

α, β	— napadni ugao i ugao »klizanja« projektila,
γ, χ	— ugao propinjanja i skretanja vektora brzine V ,
x, y, z	— koordinate položaja centra mase projektila,
m, S	— masa i referentna površina projektila,
$\alpha^*, \beta^*, q^*, r^*$	— denominovane veličine () (d/V),
$p, \tilde{q}, \tilde{r}$	— komponente ugaone brzine projektila,
Θ, Ψ	— uglovi propinjanja i skretanja projektila,

L_B	— momenat valjanja,
I_x, I_y	— uzdužni i poprečni momenat inercije,
$Q = \rho V^2/2$	— dinamički pritisak,
r_x, r_y	— uzdužni i poprečni poluprečnik inercije,
$()^*$	— $= (\rho S d/2m) ()$, za koeficijente,
d	— prečnik projektila,
$C_{x\sigma}, C_{y\sigma}, C_{z\sigma}$	— derivativi aerodinamičkih koeficijenata sila,
C_L, C_M, C_N	— derivativi aerodinamičkih koeficijenata momenta.

Transformisani i delimično linearizovani model dinamike projektila

Pod transformisanim modelom podrazumeva se matematički model kretanja koji je strukturno pojednostavljen i nižeg je reda (ima manji broj stepeni slobode kretanja) u odnosu na polazni model. Transformisani model treba da zadovolji unapred postavljene kriterijume u pogledu tačnosti aproksimacije polaznog matematičkog modela, a zavise od toga gde će se i u kakve svrhe model primenjivati.

U [2] je, korišćenjem zakona mehanike primenjenih na dinamiku leta projektila, prikazan matematički model za neupravljive i nevođene projekte u kinematičkom koordinatnom sistemu. Nastao je transformacijom i delimičnom linearizacijom polaznog modela, tako da glasi:

$$\dot{x}_0 = V \cos \gamma \cos \chi = F(1)$$

$$\dot{y}_0 = V \sin \gamma = F(2)$$

$$\dot{z}_0 = V \cos \gamma \sin \chi = F(3) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \dot{V} = \frac{QS}{m} (C_{x\sigma} + (C_{x\sigma^2} + C_{z\sigma}) (\tilde{\alpha}^2 + \tilde{\beta}^2)) - \\ - g \sin \gamma = F(4) \end{aligned}$$

$$\dot{\chi}_\sigma = \frac{QS}{mV} (C_{y\sigma} \tilde{\alpha} + (C_{z\sigma} - C_D) \tilde{\beta}) = F(5)$$

$$\begin{aligned} \dot{\gamma} = - \frac{QS}{mV} (-C_{y\sigma} \tilde{\beta} + (C_{z\sigma} - C_D) \tilde{\alpha}) - \\ - g \cos \gamma / V = F(6) \end{aligned}$$

$$p = L_B / I_x = F(7)$$

Diferencijalne jednačine napadnog ugla i ugla klizanja

Integracijom jednačina kretanja centra mase projektila treba da se dobiju funkcije $V(t)$, $\gamma(t)$ i $\chi(t)$. Za tu integraciju potrebno je poznavati $\tilde{\alpha}(t)$ i $\tilde{\beta}(t)$, U [2] je predložen jedan način dobijanja funkcije $\tilde{\alpha}(t)$ i $\tilde{\beta}(t)$ za sistem diferencijalnih jednačina (1). Na osnovu ideja iz [3], biće prikazan drugačiji način dobijanja $\tilde{\alpha}(t)$ i $\tilde{\beta}(t)$ za projekte koji imaju velike početne uglove i koji lete na velikim daljinama.

Ako se usvoje oznake:

$$a_1 = \frac{QS}{mV} (C_{z\sigma} - C_D)$$

$$a_2 = \frac{QS}{mV} C_{y\sigma}$$

onda jednačine izvoda uglova dobijaju oblik:

$$\dot{\chi}_\sigma = a_2 \tilde{\alpha} + a_1 \tilde{\beta} \quad (2)$$

$$\dot{\gamma} = a_2 \tilde{\beta} - a_1 \tilde{\alpha} - \frac{g \cos \gamma}{V} \quad (3)$$

Ako se usvoji da su uglovi male veličine i da atmosfera miruje onda postoje veze između uglova $\tilde{\alpha}$, $\tilde{\beta}$, γ , χ , Θ i ψ , pa se mogu uspostaviti veze između izvoda uglova i ugaonih brzina projektila. Kinematske jednačine veza između projekcija ugaone brzine projektila i izvoda uglova transformisane su tako što su u jednačinama veza zane-

marene male veličine drugog i višeg reda, pa se dobija [2]:

$$\dot{\tilde{q}} = \dot{\tilde{\alpha}} + \dot{\tilde{\gamma}} \quad (4)$$

$$\dot{\tilde{r}} = \dot{\tilde{\chi}} \cos \gamma - \dot{\tilde{\beta}} = \dot{\tilde{\chi}} \sigma - \dot{\tilde{\beta}} \quad (5)$$

ili

$$\dot{\tilde{q}} = \dot{\tilde{\alpha}} + a_2 \dot{\tilde{\beta}} - a_1 \dot{\tilde{\alpha}} - \frac{g \cos \gamma}{V} \quad (6)$$

$$\dot{\tilde{r}} = -\dot{\tilde{\beta}} + a_2 \dot{\tilde{\alpha}} + a_1 \dot{\tilde{\beta}} \quad (7)$$

Posle diferenciranja izraza (5) i (6) i zanemarivanja $\frac{d}{dt} \left(\frac{g \cos \gamma}{V} \right), \frac{dV}{dt}$,

$\frac{d\varphi}{dt}, \frac{dc}{dt}$, zato što su ovi izvodi mnogo manji u poređenju sa ostalim članovima, dobija se:

$$\dot{\tilde{q}} = \ddot{\tilde{\alpha}} + a_2 \ddot{\tilde{\beta}} - a_1 \ddot{\tilde{\alpha}} \quad (8)$$

$$\dot{\tilde{r}} = -\ddot{\tilde{\beta}} + a_2 \ddot{\tilde{\alpha}} + a_1 \ddot{\tilde{\beta}} \quad (9)$$

U aerobalističkom koordinatnom tila su [4]:

$$\dot{\tilde{q}} = \left(p_B - p \frac{I_x}{I_y} \right) \tilde{r} + \frac{\tilde{M}}{I_y} \quad (10)$$

$$\dot{\tilde{r}} = \left(-p_B + p \frac{I_x}{I_y} \right) \tilde{q} + \frac{\tilde{N}}{I_y} \quad (11)$$

Za uglove propinjanja ose projektila $\Theta < 80^\circ$ biće i komponenta $p_B = -\tilde{r} \tan \Theta$ mala veličina istog reda, a za položene putanje, kad je ugao Θ mali, p_B će biti mala veličina drugog reda u odnosu na p [4].

Projekcije aerodinamičkog momenta su [4]:

$$\tilde{M} = Q S D c_{\tilde{M}} \quad (12)$$

$$\tilde{N} = Q S D c_{\tilde{N}} \quad (13)$$

gde je:

$$c_{\tilde{M}} = c_{m\sigma} \tilde{\alpha} + c_{n\sigma} \tilde{\beta} + c_{m\dot{\alpha}} \dot{\tilde{\alpha}} + c_{m\dot{q}} \dot{\tilde{q}}$$

$$c_{\tilde{N}} = -c_{m\sigma} \tilde{\beta} + c_{n\sigma} \tilde{\alpha} - c_{m\dot{\alpha}} \dot{\tilde{\alpha}} + c_{m\dot{q}} \dot{\tilde{q}}$$

Korišćenjem zapisa

$$\tilde{M}/I_y = b_1 \tilde{\alpha} + b_2 \tilde{\beta} + b_{T1} \dot{\tilde{\alpha}} + b_3 \dot{\tilde{q}}$$

$$\tilde{N}/I_y = -b_1 \tilde{\beta} + b_2 \tilde{\alpha} - b_{T1} \dot{\tilde{\beta}} + b_3 \dot{\tilde{r}}$$

gde je:

$$b_1 = \frac{Q S D}{I_y} c_{m\sigma}$$

$$b_2 = \frac{Q S D}{I_y} c_{n\sigma}$$

$$b_{T1} = \frac{Q S D}{I_y} c_{m\dot{\alpha}} \frac{D}{V}$$

$$b_3 = \frac{Q S D}{I_y} c_{m\dot{q}} \frac{D}{V}$$

$$b_4 = \frac{I_x}{I_y} p$$

jednačine (10) i (11) mogu se napisati u sledećem obliku:

$$\dot{\tilde{q}} = -b_4 \tilde{r} + b_1 \tilde{\alpha} + b_2 \tilde{\beta} + b_{T1} \dot{\tilde{\alpha}} + b_3 \dot{\tilde{q}} \quad (14)$$

$$\dot{\tilde{r}} = b_4 \tilde{q} - b_1 \tilde{\beta} + b_2 \tilde{\alpha} - b_{T1} \dot{\tilde{\beta}} + b_3 \dot{\tilde{r}} \quad (15)$$

Izjednačavanjem izraza (8) sa (14) i (9) sa (15), zamenjujući $\tilde{q}$ sa (6) i $\tilde{r}$ sa (7), dobijaju se sledeće diferencijalne jednačine:

$$\ddot{\alpha} + A\dot{\alpha} - C\ddot{\alpha} - B\dot{\beta} - D\ddot{\beta} = -b_3 \frac{g \cos \gamma}{V} \quad (16)$$

$$\ddot{\beta} + A\dot{\beta} - C\ddot{\beta} + B\dot{\alpha} + D\ddot{\alpha} = b_4 \frac{g \cos \gamma}{V} \quad (17)$$

gde je:

$$A = -a_1 - b_{T1} - b_3 \quad D = b_2 + a_2 b_3 - a_1 b_4$$

$$B = -a_2 + b_4 \quad C = b_1 - a_1 b_3 - a_2 b_4$$

Rešavanjem jednačina (16) i (17) dobijaju se funkcije $\ddot{\alpha}(t)$ i $\ddot{\beta}(t)$ za sistem jednačina (1).

6DM model kretanja projektila

Ako se sistemu diferencijalnih jednačina (1) dodaju jednačine (16) i (17) u podesnoj formi za numeričku integraciju, dobija se matematički model za simulaciju leta projektila, za ovu priliku nazvan 6DM. Ovaj model razlikuje se od matematičkog gde je projektil razmatran kao kruto telo sa šest stepeni slobode kretanja, i predstavlja aproksimaciju tog modela. Uvođenjem

zamena $u = \ddot{\alpha}$ i $v = \ddot{\beta}$ u jednačini (16) i (17) dobijaju se četiri diferencijalne jednačine koje treba da se pridruže sistemu diferencijalnih jednačina (1), koje glase:

$$\ddot{\alpha} = u = F(8)$$

$$\ddot{\beta} = v = F(9)$$

$$\ddot{u} = -A u + C\ddot{\alpha} + B v + D\ddot{\beta} - b_3 \frac{g \cos \gamma}{V} = F(10) \quad (18)$$

$$\ddot{v} = -A v + C\ddot{\beta} - B u - D\ddot{\alpha} + b_4 \frac{g \cos \gamma}{V} = F(11)$$

5DM model kretanja projektila

Funkcije $\ddot{\alpha}(t)$ i $\ddot{\beta}(t)$ moguće je odrediti i iz Murphyeve jednačine kretanja ose projektila, izvedene po napadnom uglu za nezavisno promenljivu s^* . Ta jednačina, za projekte bez reaktivne sile, glasi [3, 4]:

$$\ddot{\xi}'' + (H - i P) \ddot{\xi}' - (M + i P T) \ddot{\xi} = G_1 \quad (19)$$

gde je:

$\xi = \ddot{\beta} + i\ddot{\alpha}$ — kompleksni napadni ugao,

$$P = \frac{I_x}{I_y} \frac{p d}{V}, \quad P = P - c^*_{y\sigma},$$

$$H = -c^*_{z\sigma} + 2c^*_{D} - c^*_{mq\sigma} \cdot (\bar{r}_y)^{-2} - g D \sin \gamma / V^2,$$

$$T = -c^*_{z\sigma} + c^*_{D} + (c^*_{np\sigma} + c^*_{yp\sigma} c_{mq\sigma}) (\bar{r}_x)^{-2},$$

$$M = [c^*_{m\sigma} - (c^*_{z\sigma} - c^*_{D}) c^*_{mq\sigma}] (\bar{r}_y)^{-2} - c^*_{y\sigma} P,$$

$$G_1 = \frac{d g \cos \gamma}{V^2} \left[P - i c^*_{mq\sigma} (\bar{r}_y)^{-2} \right],$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{m}}, \quad \bar{r}_x = \frac{r_x}{d},$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{m}}, \quad \bar{r}_y = \frac{r_y}{d}.$$

Pošto je izraz (19) slabo nelinearna diferencijalna jednačina, a koeficijenti se vremenski lagano menjaju, ona se može posmatrati kao vremenski invarijantan sistem. Opšte rešenje linearne diferencijalne jednačine drugog reda (19) nalazi se kao zbir partikularnog i homogenog rešenja $\xi = \xi_p + \xi_h$.

Homogeno rešenje sastoji se od dva oblika oscilovanja — brzo i sporo promenljivog. Homogeno rešenje je karakteristika prelaznog procesa, a partikularno stacionarnog stanja — kada se kretanje ustali.

Primenom metode »zamrzavanja koeficijenata«, kompleksna homogena diferencijalna jednačina iz (19) ima korene karakteristične jednačine izvedene po napadnom uglu, koji glase:

$$\lambda_j + i\Phi'_j = \frac{1}{2} \left(-H \pm \sqrt{1 - \frac{1}{s_g}} \right) + i \frac{P}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{1}{s_g}} \right) \quad (20)$$

gde je:

$$s_g = \frac{P^2}{4M} \text{ — žiroskopski faktor stabilnosti}$$

Partikularni integral, kretanje u stacionarnom stanju, može se odrediti iz izraza:

$$\tilde{\xi}_p = - \frac{G_1}{M + iPT} \quad (21)$$

Za projektele koji se lansiraju sa velikim početnim uglom i koji lete na velikim daljinama iz izraza (20) treba izdvojiti samo lagano promenljivi koren karakteristične jednačine [3].

Diferencijalna jednačina prvog reda, koja obuhvata sporo promenljivi koren karakteristične jednačine $r = \lambda_j + i\Phi'_j$ i kretanje u stacionarnom stanju (21), glasi:

$$\tilde{\xi}' - r \tilde{\xi} = -r \tilde{\xi}_p \quad (22)$$

U vremenskom domenu izraz (22) ima oblik:

$$\tilde{\xi} - \frac{V}{D} r \tilde{\xi} = -r \tilde{\xi}_p \frac{V}{D} \quad (23)$$

Iz jednačine (23) mogu se dobiti sledeće dve skalarne diferencijalne jednačine:

$$\begin{aligned} \tilde{\alpha} &= \frac{V}{D} (\lambda \tilde{\alpha} + \Phi' \tilde{\beta}) + \text{Im} \left(-r \tilde{\xi}_p \frac{V}{D} \right) = \\ &= F(8) \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\beta} &= \frac{V}{D} (\lambda \tilde{\beta} - \Phi' \tilde{\alpha}) + \text{Re} \left(-r \tilde{\xi}_p \frac{V}{D} \right) = \\ &= F(9) \end{aligned} \quad (25)$$

Pomoću diferencijalnih jednačina (24) i (25), nakon numeričkog integrisanja, određuju se $\tilde{\alpha}(t)$ i $\tilde{\beta}(t)$ koje su potrebne za sistem diferencijalnih jednačina (1). Pošto je eliminisan brzo promenljivi mod iz ugaonih brzina, stvorena je mogućnost za povećanje koraka numeričke integracije, što znači da je bitno smanjeno vreme CPU.

Testiranje modela i analiza rezultata

Proračun parametara kretanja izvršen je za hipotetički projektil M152. Projektil M152 ima relativno malu početnu brzinu, putanja mu je veoma zakrivljena, a uglovi $\tilde{\alpha}$ i $\tilde{\beta}$ su relativno veliki (slika 1).

Osnovne karakteristike projektila M152 su:

$$\begin{aligned} D &= 0,152 \text{ m} & I_x &= 0,05795 \text{ kgm}^2 \\ m &= 43,56 \text{ kg} & V &= 535 \text{ m/s} \\ I_y &= 0,1669 \text{ kgm}^2 & p &= 1600 \text{ rad/s} \\ \Theta &= 70^\circ \end{aligned}$$

Rezultati proračuna parametara kretanja projektila dati su u tabeli 1.

Veličina dozvoljenih odstupanja zavisi od toga gde će se model primenjivati. Kao primer za poređenje mogu se uzeti sistemi za upravljanje vatrom oruđa vatrene podrške kod kojih su usvojena sledeća dozvoljena odstupanja:

— tačnost elemenata gađanja po daljini $\pm 10 \text{ m}$, odnosno $\pm 1 \text{ mrad}$ od ugla elevacije,

— tačnost po pravcu $0,5$ do 1 mrad ,

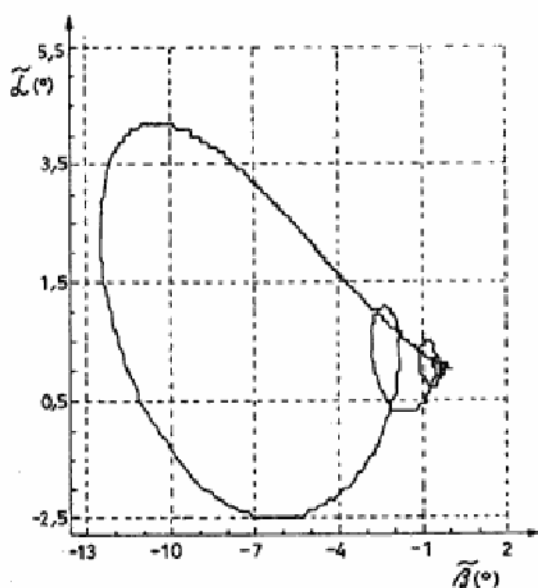
	Domet x (m)	Devijacija z (m)	Vreme leta t (s)	PC-vreme (s)
Kruto telo	9815,1	461,91	80,0	1084
6 DM	9800,1	467,54	80,1	515
5 DM	9821,6	454,17	80,1	6

— tačnost proračunatog vremena leta treba da bude 0,1 do 0,15 s,

— vreme proračuna putanje treba da iznosi 2% vremena leta projektila.

Iz tabele 1 vidi se da model 5DM zadovoljava postavljene kriterijume u pogledu tačnosti, ukoliko bi se koristio u sistemima za upravljanje vatrom oruđa vatrene podrške. Vreme izračunavanja parametara kretanja projektila bitno je skraćeno sa 1084 s na 6 s, što je dobijeno merenjem vremena izvršavanja u FORTRAN-u kodiranom programu na PC 386/387 sa taktom od 25 MHz.

Promena napadnog ugla $\tilde{\alpha}$ i ugla klizanja $\tilde{\beta}$ za 5DM, prikazana je na slici.



Napadni ugao i ugao klizanja za 5DM model

Mogućnost implementacije transformisanog modela

Pored izbora modela, načina numeričke integracije i veličine koraka integracije, za proračun parametara prostornog kretanja projektila, na mogućnost implementacije modela dominantno utiče izbor adekvatnog hardvera.

Problem implementacije algoritma transformisanog modela 5DM analiziran je za posredno gađanje. Za analizu mogućnosti implementacije aktuelne su tri operacije (sabiranje, množenje i deljenje) prema [5]. Broj operacija je redukovan jer su izbačena sva množenja i dodeljivanja s nulom. Izračunavanje početnih elemenata prethodno je obavljeno. Za model 5DM kretanja projektila potrebno je po jednom koraku integracije izvršiti 310 sabiranja, 120 deljenja i 390 množenja.

Za mikroprocesorski APX 86/20 16 bitni sistem, sastavljen od mikroprocesora i aritmetičkog koprocera Intel 8086/8087, koji se nalazi u sistemu za vatrenu podršku MILIPAC, vreme izvođenja osnovnih »floating-point« aritmetičkih operacija uz takt od 5 MHz iznosi:

- sabiranje (oduzimanje)
FADD (FSUB) 17 μ s,
- množenje
FMUL 19,4 μ s,
- deljenje
FDIV 39,6 μ s.

Karakteristike FP DSP

Proizvođač	Motorola	Texas Instruments	AT&T
Procesor	DSP96002	320C30	DSP32C
Clock rate	33 MHz	33 MHz	50 MHz
Instrukcijski ciklus	60 ns	60 ns	80 ns
FP deljenje	0,42 μ s	2,1 μ s	2,08 μ s
Kompleksni FFT u 1024 tačke	1,13 ms	3,43 ms	2,80 ms

Za sisteme vatrene podrške novije konstrukcije (MILIPAC, MARCONI) vreme proračuna iznosi 2% od vremena leta, a za starije konstrukcije od 10 do 15 s. Sistem APX 86/20 proračunava elemente za 17,588 ms po jednom koraku integracije. Za izračunavanje 801 koraka numeričke integracije u modelu SDM na APX 86/20 sistemu potrebno je oko 14 sekundi.

Implementacija na digitalnom signal-procesoru je moguća. Prvi signal-procesori bili su namenjeni digitalnoj obradi signala. Osnovni problem prvih digitalnih signala je aritmetika »fiks-nog zareza« koju prevazilaze brzi »floating-point« čipovi. U tabeli 2 daju se rezultati testova za brze »floating-point« čipove raznih proizvođača. Sa ovim čipovima vreme proračuna za transformisani model iznosi:

DSP96002	0,158 ms
320C30	0,790 ms
DSP32C	0,782 ms

Poređenjem sa mikroprocesorskim sistemima, »floating-point« signal-procesori su za više od reda veličine brži, a DSP96002 čak za dva reda veličine. Digitalni signal procesori sa »floating-point« aritmetikom rešavaju problem implementacije algoritma transformisanog modela leta projektila.

Novije kombinacije mikroprocesorskih sistema Intel 486 i NS 32016/32081 sa osnovnim operacijama ispod 10 μ s znatno ubrzavaju računanje i ispunjavaju postavljene kriterijume.

U [1] je prikazano više načina na koje se može skratiti vreme proračuna parametara putanje. Svakako bi bilo korisno analizirati i mogućnost implementacije tih matematičkih modela na savremenim balističkim računari-ma.

Zaključak

Predstavljeni transformisani i delimično linearizovani matematički modeli nastali su uprošćavanjem matematičkog modela leta projektila kao krutog tela sa šest stepeni slobode kretanja.

Prva faza u procesu transformacije je polaznog matematičkog modela jeste dobijanje sistema diferencijalnih jednačina (1). Da bi se ovaj sistem diferencijalnih jednačina mogao numerički integrisati potrebno je poznavati funkcije $\tilde{\alpha}(t)$ i $\tilde{\beta}(t)$. One se mogu dobiti na više različitih načina, a u radu su prikazana dva načina.

Diferencijalne jednačine (18) i (24 do 25), respektivno, zajedno sa sistemom jednačina (1) čine posebne matematičke modele dinamike projektila. Ovim modelima proračunavaju se elementi putanje čije su vrednosti bliske vrednostima iz modela sa šest stepeni slobode kretanja (tabela 1). Zbog jednostavnosti izraza, kod oba modela povećana je ekonomičnost tako što je bi-

tno skraćeno vreme proračuna. Kod 5DM modela, pošto je eliminisan brzopromenljivi mod, stvorena je mogućnost povećanja koraka numeričke integracije i bitno smanjeno vreme proračuna parametara kretanja. 5DM model zadovoljava sve postavljene kriterijume i može se koristiti u sistemima za upravljanje vatrom oruđa vatrene podrške.

Literatura:

- [1] Petrović, R. D.: Istraživanja efekta asimetrije u dinamici brzo i sporo rotirajućih projektila, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [2] Bojanić, Z.: Matematički model kretanja projektila pogodan za implementaciju u sistemima za upravljanje vatrom, VTG broj 5, Beograd, 1995.
- [3] Qi, Z. K. i Lyster, D.: 5D and modified 5D models for accurate calculation of high elevation or long range projectile trajectories, IX Symposium of ballistics, Brussels, 1989.
- [4] Janković, S., Čuk, D.: Mehanika leta, predavanja na VVTS i Mašinskom fakultetu, Beograd, 1989.
- [5] Tanja, R.: Prilog stohastičkoj sintezi zakona vođenja samonavodnih raketa, doktorska disertacija, Vojnotehnička akademija, Beograd, 1992.

ANALIZA TROŠENJA VITALNIH DELOVA TURBOPREHRANJIVANIH MOTORA VISOKE SPECIFIČNE SNAGE

UDC: 621.432/438.004

Rezime:

Prikazani su rezultati istraživanja trošenja vitalnih delova turboprehranjivanih motora visoke specifične snage. Istraživanja su obavljena u laboratoriji na dva motora po posebnom programu za ispitivanje motora specijalne namene.

Na osnovu kinematičke i dinamičke analize parametara motornog mehanizma, vezano za karakteristične uslove rada motora, uspostavljeni su kvalitativni odnosi opterećenje — trošenje pojedinih delova motora u laboratorijskim uslovima, u zavisnosti od ukupnog vremena rada motora.

Prognoziran je intenzitet i vid istrošenja u realnim uslovima eksploatacije motora.

Ključne reči: trošenje, turboprehranjivani motori visoke specifične snage, klip, klipnjača, kolenasto vratilo, bregasto vratilo, ležajevi motora, pogonska sigurnost, vek eksploatacije.

ANALYSIS OF VITAL PARTS WEAR IN TURBOCHARGERS WITH HIGH SPECIFIC POWER

Summary:

The results of investigation of vital parts wear in turbochargers with high specific power are presented. The investigation was carried out in a laboratory on two turbochargers using the special programme for testing special purpose engines. Based on the kinematic and dynamic analysis of engine mechanism parameters and connected with the characteristic engine operating conditions, the qualitative load to wear ratios of particular engine parts in laboratory conditions are established with respect of total operating time. Damage type and intensity in real operating conditions are predicted.

Key words: wear, turbochargers with high specific power, piston, piston rod, crankshaft, cam shaft, engine bearings, drive safety, service life.

Uvod

Prelaskom na turboprehranjivanje i njegovim brzim razvojem, kod motora visoke specifične snage dodatno su povećana opterećenja vitalnih delova (klip, klipnjača, osovinica klipa, kolenasto vratilo, bregasto vratilo, klizni

ležajevi). Opterećenja motora koja nastaju usled sagorevanja povećala su se u proseku za 30 do 40%. Povećane su i deformacije kliznih ležajeva, velike i male pesnice klipnjače, klipa i klipnjače. Povećana je savojna i ugaona deformacija kolenastog vratila, kao i neregularnost nošenja ležajeva klip-

njače i glavnih ležajeva. »Rezerve« novosti motornih delova bitno su se smanjile, a svaka greška počela je progresivno da se odražava na smanjenje pogonske sigurnosti i veka eksploatacije motora.

Iz navedenih razloga proizišla je potreba za istraživanjem trošenja vitalnih delova turboprehranjivanih motora visoke specifične snage. Prema programu za hiljadusatno ispitivanje vršena su istraživanja trošenja vitalnih delova motora visoke specifične snage [1, 2].

Motor je četvorotaktni, višegorivni, sa direktnim ubrizgavanjem goriva, prehranjivan pomoću turbokompresora, hlađen tečnošću, specifične snage $18,9 \text{ kW/dm}^3$, dvanaestocilindrični, V-konstrukcije pod uglom od $\gamma = 60^\circ$. Primenjen je klipni mehanizam sa pomoćnom klipnjačom kod koga su klipnjače levog reda cilindara (gledano sa prednje strane motora) izvedene kao glavne, dok su klipnjače desnog reda cilindara pomoćne.

Glavne klipnjače su velikom pesnicom vezane za leteće rukavce kolenastog vratila, a pomoćne zglobo, preko osovinice, povezane sa velikom pesnicom glavne klipnjače.

Istraživanja su vršena na dva motora u laboratoriji po posebnom programu za ispitivanje motora specijalne namene.

Ukupno vreme rada za prvi motor bilo je 50 ciklusa ili 547 mč, a za drugi motor 59 ciklusa ili 653 mč.

Korišćene oznake:

mč	— moto čas,
KV	— kolenasto vratilo,
γ	— ugao između osa glavnog i pomoćnog cilindra,
P	— snaga,
M	— obrtni moment,
ω	— ugaona brzina kolenastog vratila,
n	— brzina obrtanja kolenastog vratila,

G_h	— satna potrošnja goriva,
g_e	— specifična potrošnja goriva,
P_e	— pritisak u cilindru,
$\bar{P}_e$	— prosečni efektivni pritisak u cilindru,
α_{pu}	— ugao početka ubrizgavanja goriva,
α_{Tu}	— ugao trajanja ubrizgavanja goriva,
R	— poluprečnik kolena kolenastog vratila,
L	— dužina glavne klipnjače,
l	— dužina pomoćne klipnjače,
r	— rastojanje od ose letećeg rukavca do ose osovinice koja spaja glavnu i pomoćnu klipnjaču,
β	— ugao između ose glavne klipnjače i ose glavnog cilindra (ugao otklona glavne klipnjače),
β_p	— ugao otklona pomoćne klipnjače,
φ	— ugao zaokreta kolenastog vratila,
γ_p	— ugao između ose glavne klipnjače i pravca između ose letećeg rukavca i ose osovinice koja spaja glavnu i pomoćnu klipnjaču (pravac »r«),
$\Psi = \gamma_p - \gamma$	— razlika uglova,
S_{op}	— rastojanje spoljne mrtve tačke pomoćnog cilindra od ose kolenastog vratila,
S	— put klipa,
g	— indeks koji označava glavni cilindar,
p	— indeks koji označava pomoćni cilindar,
e	— ekscentričnost središta rukavca,
ϵ	— relativni ekscentricitet središta rukavca,

- δ — ugao koji određuje položaj spojnice središta rukavca i ležaja,
- ψ — relativan zazor ležaja,
- $h_{\min}$ — minimalna debljina uljnog filma u ležaju,
- F_{rg}, F_{rp} — rezultujuća sila na osovinici klipa glavnog odnosno pomoćnog cilindra,
- N_g, N_p — normalna sila koja deluje na glavni, odnosno pomoćni cilindar,
- N'_p — dodatna normalna sila u glavnom cilindru,
- K_g, K_p — sila koja deluje na glavnu, odnosno pomoćnu klipnjaču,
- T_g — tangencijalna sila koja deluje u smeru kretanja rukavca klipnjače i zakreće kolenasto vratilo,
- R_g — radijalna sila koja deluje normalno na smer kretanja rukavca klipnjače i opterećuje ležajevе kolenastog vratila,
- x — koordinata napadne tačke sile K_p , mereno od središta osovinice pomoćne klipnjače do središta letećeg rukavca,

Karakteristični uslovi rada motora

Kod motora sa unutrašnjim sagorevanjem uslovi rada veoma su promenljivi. Najveći uticaj na naprezanja koja se javljaju u elementima motornog mehanizma imaju:

- pritisak gasova u cilindru motora,
- inercione sile masa u pravolinijskom kretanju i rotaciji,
- torzione vibracije kolenastog i bregastih vratila motora,
- toplotno opterećenje motora.

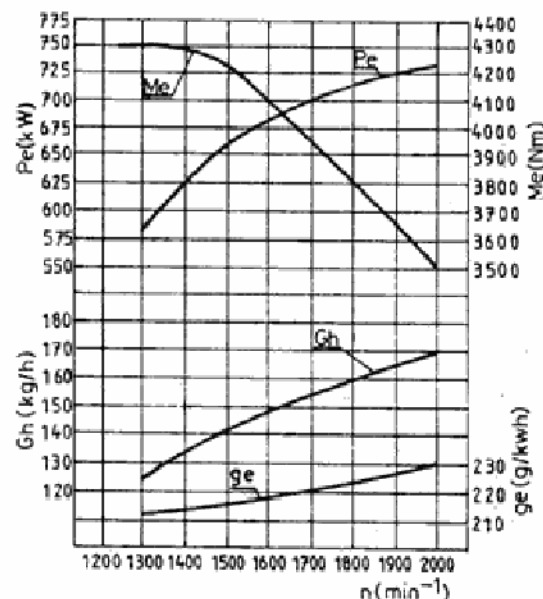
Usled promene uslova rada motora stalno se menjaju uticajni parametri. Sa promenom uslova rada motora menja se tok i veličina pritiska gasova, čime se menja i veličina obrtnog momenta. Promena brzine obrtanja kolenastog vratila motora bitno utiče na promene veličine inercionih sila. Sa promenom uslova rada motora menja se i temperatura motora, što utiče na toplotne dilatacije, naprezanja u elementima i na čvrstoću materijala.

Ako se žele analizirati dinamička opterećenja i naprezanja u elementima motora, to je potrebno činiti pri uslovima koji su za promatrani element najnepovoljniji. Prema potrebi, analiza se provodi i pri različitim uslovima rada motora.

Na slici 1 prikazane su spoljašnje brzinske karakteristike motora visoke specifične snage, u funkciji brzine obrtanja kolenastog vratila, i to:

$$P_e = f(n), M_e = f(n), G_h = f(n), g_e = f(n).$$

Rad motora na nazivnoj efektivnoj snazi $P_{eN} = 735 \text{ kW}$ i broju obrtaja $n_N = 2000 \text{ min}^{-1}$, karakteriše delovanje vi-

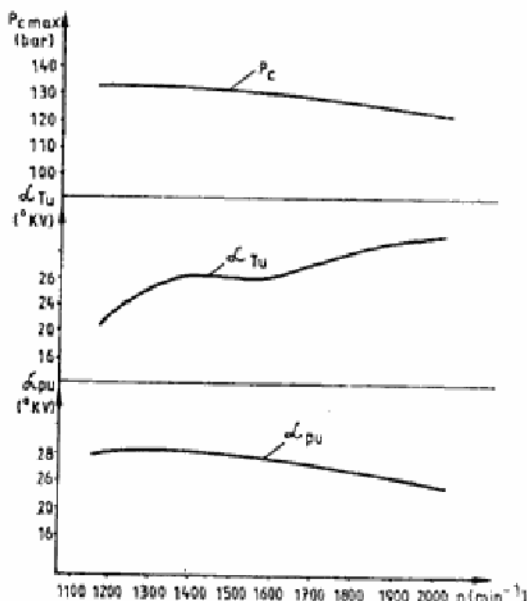


Sl. 1 — Spoljašnje brzinske karakteristike motora visoke specifične snage

sokih pritisaka gasova i maksimalnih inercionih sila. Inercione sile u velikoj meri utiču na smanjenje maksimalnog pritiska na klip motora [3, 4]. Toplotno opterećenje u ovom slučaju je najveće, s obzirom na to da je najveća frekvencija procesa sagorevanja.

Rad motora na maksimalnoj brzini obrtanja kolenastog vratila $n_{\max} = 2200 \text{ min}^{-1}$, bez opterećenja $P_e = 0$ i $M_e = 0$, karakterišu velike inercione sile. Maksimalnu brzinu ograničava regulator brzine obrtanja. Pri proračunu je potrebno uzeti u obzir mogućnost prekoračenja maksimalne brzine obrtanja kolenastog vratila motora.

Rad motora sa maksimalnim obrtnim momentom $M_{\max} = 4300 \text{ Nm}$ i brzinom obrtanja $n_M = 1250 \text{ min}^{-1}$, karakterišu najveći prosečni efektivni pritisci u cilindru motora $p_{e\max}$, što se može videti iz prikazane promene parametara na slici 2 [5]. Inercione sile imaju relativno malu vrednost, jer je $n_M < n_{\max}$.



Sl. 2 — Promena maksimalnog pritiska sagorevanja $p_{\max}$, ugla početka α_n i trajanja ubrizgavanja α_n u zavisnosti od brzine obrtanja kolenastog vratila

Visok temperaturni nivo motora za ovaj režim rada vrlo je značajan jer nepovoljno utiče na čvrstoću materijala, pa se dozvoljena naprezanja smanjuju.

Uslovi pri kojima će motor raditi zavise od njegove namene. Motori visokih specifičnih snaga često i dugo vremena rade pri najvećim opterećenjima, pa je to bio jedan od razloga da se forsira režim maksimalnog momenta na kojem su najveći maksimalni pritisci u cilindru motora.

Analiza opterećenja vitalnih delova motora

Kinematika motornog mehanizma

Analiza opterećenja vitalnih delova motora vrši se zbog toga da bi se mogli odrediti odnosi između opterećenja i trošenja delova.

Povećana mehanička i toplotna opterećenja motora, koja su izazvana turboprehranjivanjem, stvaraju niz problema, zbog čega turboprehranjivanje ima svoje limite. Najugroženiji delovi motora, posmatrajući radne uslove (pritisak ulja, zazor ležaja, opterećenje, brzina obrtanja, kvalitet ulja i ulazna temperatura ulja) i funkcionalne veličine (protok ulja, minimalna debljina uljnog filma, viskozitet ulja, temperatura ležaja) jesu klizni ležajevi klipnjače, kolenastog i bregastih vratila motora. Zbog toga će se ova problematika posebno razmatrati nakon analize kinematičkih i dinamičkih veličina motornog mehanizma.

Specifičnost klipnog mehanizma sa pomoćnom klipnjačom, prikazanog na slici 3, jeste da su zakonitosti kretanja klipa (put, brzina i ubrzanje) različiti za glavni i pomoćni cilindar motora [3].

Na ovaj način opisano je kretanje glavne i pomoćne klipnjače.

Zakovitosti promene sila motornog mehanizma razlikuju se za glavne i pomoćne cilindre zbog različitih kinematičkih veličina i masa pokretnih delova. Posebno su razmatrane sile glavnog i pomoćnog cilindra koje opterećuju klipove, osovinice klipa i klipnjače, a nakon toga izvršeno je njihovo superponiranje na letećim rukavcima kolenastog vratila [3].

Fazno pomeranje radnog procesa u pojedinim cilindrima motora, određeno je na osnovu sledećeg redosleda paljenja:

1G-6P-5G-2P-3G-4P-6G-1P-2G-5P-4G-3P

gde je:

G — glavni cilindar motora,

P — pomoćni cilindar motora.

Ako se položaj klipa prvog glavnog cilindra u spoljnoj mrtvoj tački

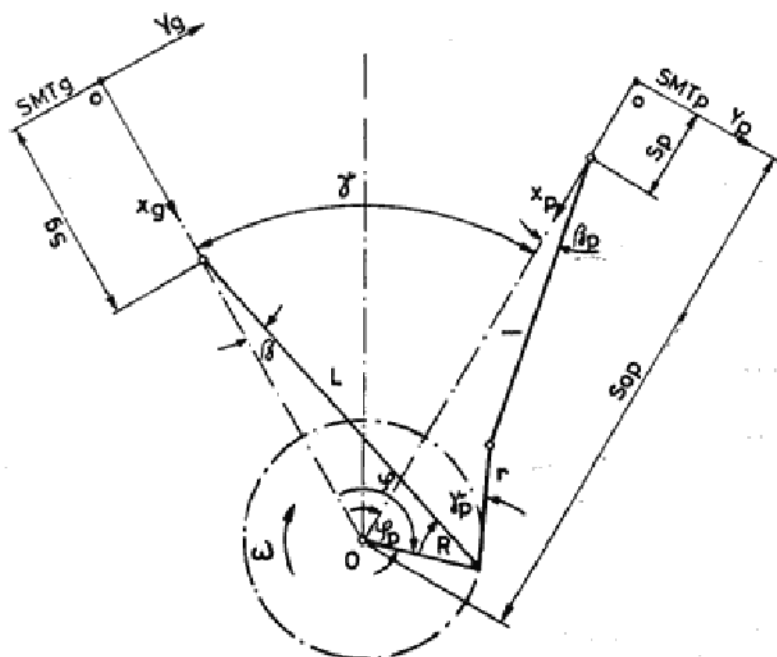
(SMTg), u početnoj fazi usisavanja, označi kao početni položaj motornog mehanizma ($\varphi = 0^\circ$), rukavci kolenastog vratila zauzimaju uglove (φ) prikazane u tabeli 1.

Tabela 1

Položaj rukavaca kolenastog vratila

Glavni cilindar	Ugao φ [°]
1	0
2	240
3	480
4	120
5	600
6	360

U istim faznim odnosima nalaze se radni procesi u pomoćnim cilindrima motora.



Sl. 3 — Model motornog mehanizma sa pomoćnom klipnjačom

Sile motornog mehanizma koje potiču od glavnog i pomoćnog cilindra prikazane su na slici 4.

Izvršen je kompletan dinamički proračun svih veličina, a rezultati pro-

računa prikazani su u radu [3]. Name-
ra je da se uspostave određeni kvali-
tativni odnosi opterećenje — trošenje
u zavisnosti od ukupnog vremena ra-
da motora.

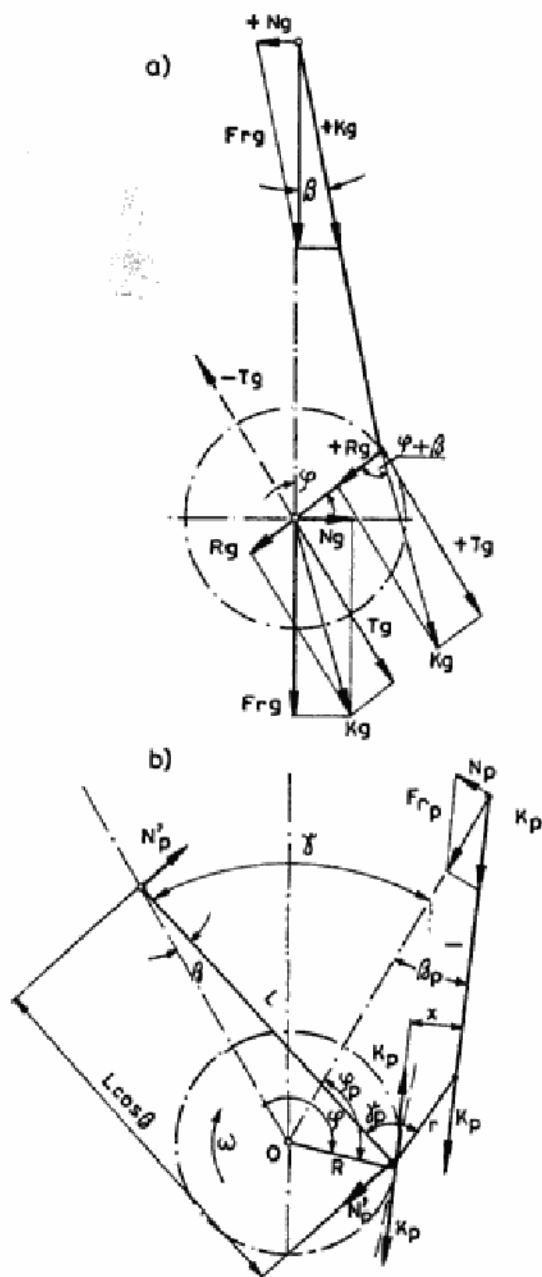
Zbog obimnosti prikazan je samo
deo rezultata istraživanja. Tako, na
primer, u glavnom cilindru motora ja-
vlja se rezultujuća normalna sila kao
vektorski zbir normalne sile glavnog
cilindra i dodatne normalne sile koja
potiče od pomoćnog cilindra. To znači
da je motorski sklop mehanički i to-
plotno više opterećen na levoj strani
motora.

Upravo je to i razlog zbog kojeg se
može očekivati intenzivnije trošenje
klipnociлиндриčne grupe na levoj strani
motorskog sklopa.

Radijalne i tangencijalne sile od
glavnog i pomoćnog cilindra, koje de-
luju na rukavac kolenastog vratila, ko-
linearne su i mogu se vektorski sabra-
ti.

Kao rezultat takvog proračuna sila
koje deluju na leteći rukavac, na slici
5, prikazan je polarni dijagram optere-
ćenja letećeg rukavca kolenastog vra-
tila za režim maksimalnog momenta
motora [4]. Koordinatni sistem ima is-
hodište u osi rukavca, brzina obrtanja
KV $n = 1200 \text{ min}^{-1}$, maksimalni pri-
tisk u cilindru $P_{\text{emax}} = 131 \text{ bar}$, ugao
kolenastog vratila odnosi se na prvi
glavni cilindar, SMT je na 360° KV de-
la visokog pritiska prvog glavnog ci-
lindra a aktivna sila ležaja klipnjače
je na rukavcu.

Na slici 6 prikazana je dinamička
putanja letećeg rukavca kolenastog vra-
tila na režimu maksimalne snage mo-
tora, na osnovu koje se može zaklju-
čiti kolika je ugroženost ležaja, budući
da su bitno povećana opterećenja bez
promene dimenzija ležaja [4, 7, 8]. U
ovom slučaju koordinatni sistem ima
ishodište u osi glavne klipnjače, SMT
je na 360° KV dela visokog pritiska
prvog glavnog cilindra, ugao kolenas-
tog vratila odnosi se na prvi glavni ci-
lindar, brzina obrtanja KV $n = 1200$
 min^{-1} , maksimalni pritisak u cilindru



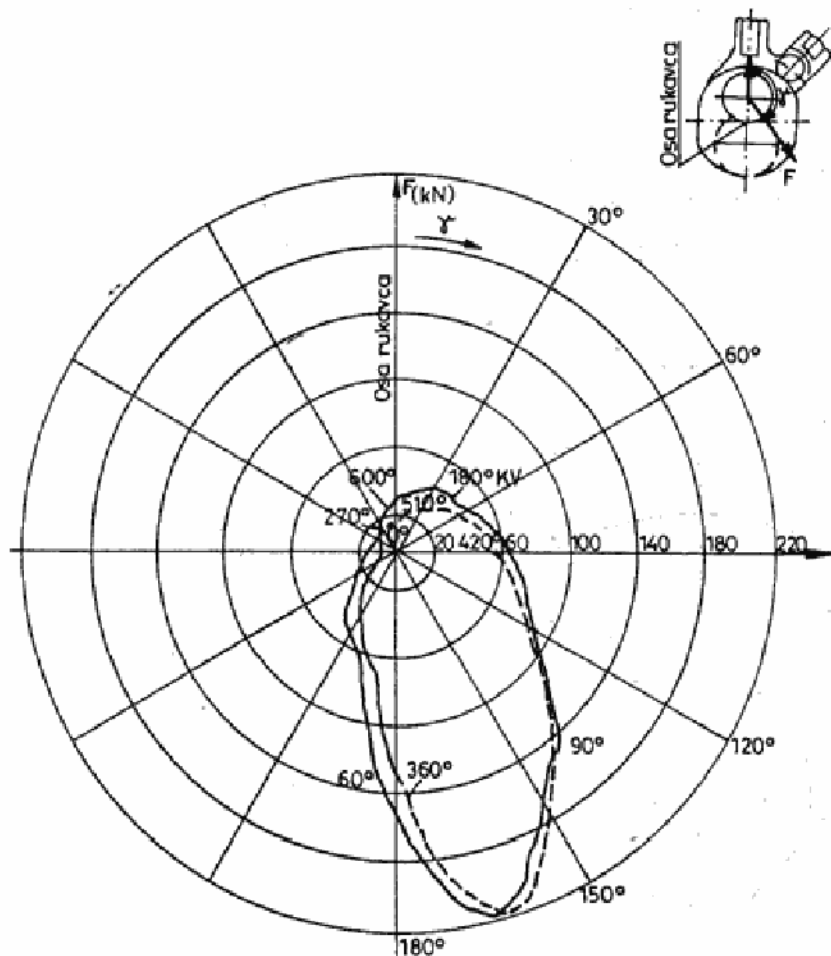
Sl. 4 — Sile na motornom mehanizmu
a — koje potiču od glavnog cilindra, b — ko-
je potiču od pomoćnog cilindra

$P_{\text{cmax}} = 131$ bar, relativni zazor ležaja $\psi = 0,6\text{‰}$, ulazna temperatura ulja $T_u = 78^\circ\text{C}$, srednja temperatura ulja $T_{\text{sr}} = 103,2^\circ\text{C}$, minimalna debljina uljnog filma $h_{\text{min}} = 4,94\text{ }\mu\text{m}$ a visina neravnina $h_r = 3\text{ }\mu\text{m}$.

Opterećenja glavnih rukavaca i ležajeva kolenastog vratila dobijena su prema postupku opisanom u radu [3]. Kod ovog tipa motora, posmatrajući konstrukcijsko rešenje i redosled paljenja, postignuto je ravnomerno opterećenje glavnih rukavaca i ležajeva. Najmanje su opterećeni krajevi kolenastog vratila (1. i 8. glavni ležaj), a najviše 5. glavni ležaj. Opterećenje 5. glavnog ležaja, pri M_{max} i P_{max} , iznosi

146 kN, odnosno 132 kN. Opterećenja ostalih glavnih ležajeva i rukavaca su u granicama, za režime M_{max} i P_{max} , od 33 do 130 kN, odnosno od 22 do 123 kN.

Glavni nedostatak metode proračuna opterećenja rukavaca i dinamičkih putanja rukavaca kolenastog vratila motora je u tome što ne obuhvata deformacije kolenastog vratila i kućišta motora i uticaje oblika ležajeva, zbog čega se mogu pojaviti bitne razlike u trošenju. Razlike u trošenju mogu biti povezane i sa rasporedom kanala i otvora za dovod ulja za podmazivanje, udaljenosti pojedinih mesta od glavnih uljnih magistrala, čistoćom



Sl. 5 — Polarni dijagram opterećenja letećeg rukavca kolenastog vratila za režim maksimalnog momenta motora.

sistema za podmazivanje, kvalitetom ulja i sl. U normalnim uslovima rada može se očekivati da se najintenzivnije troše najopterećeniji delovi motora.

Rezultati istraživanja trošenja vitalnih delova motora

Prema programu istraživanja trošenja vitalnih delova motora visokih specifičnih snaga izvršeno je ispitivanje motora, a zatim tri mikrometražna merenja delova i sklopova. Prvo merenje vršeno je pri prvoj montaži (novi delovi), drugo nakon kontrolnog rada, a treće nakon garantnog rada motora.

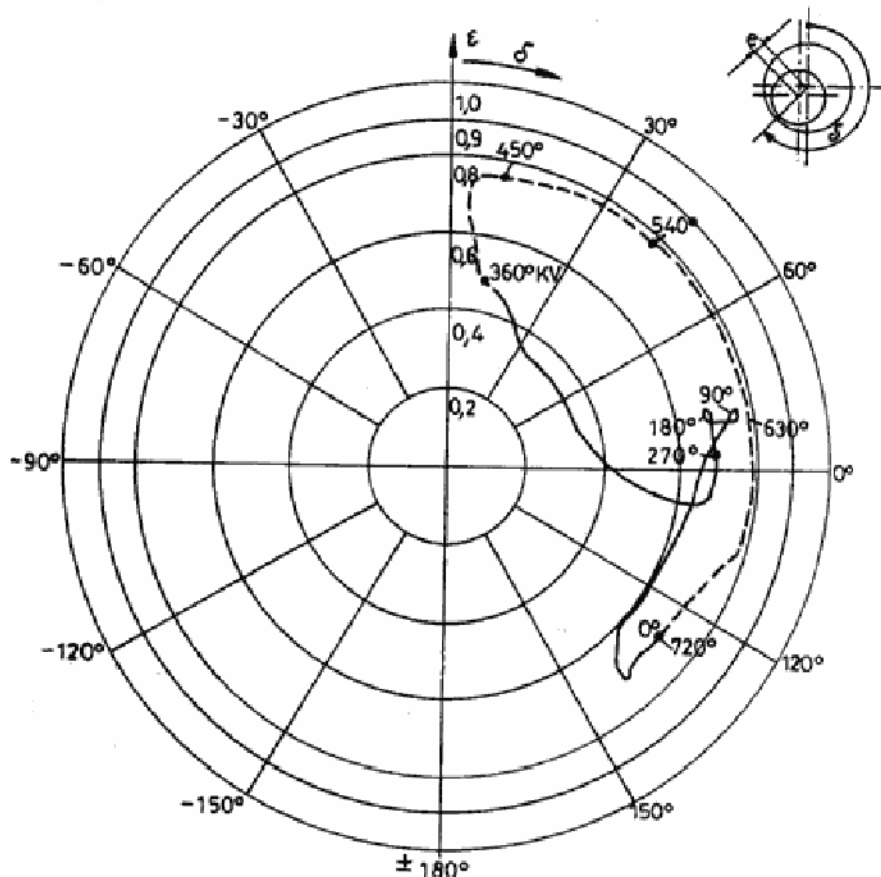
Ispitivanje motora imalo je za cilj istraživanje trošenja, proveru kvalite-

ta izrade i verifikaciju proizvedenih delova, sklopova i agregata, definisanje zahteva za kvalitet i pouzdanost, i sl.

Rezultati dimenzionalnih merenja glavnih ležajeva i rukavaca kolenastog vratila dati su u tabeli 2, a proračunate vrednosti ukupnog zazora glavnih ležajeva u tabeli 3. Rezultati dimenzionalnih merenja ostalih vitalnih delova motora prikazani su u tabeli 4.

Povećanje opterećenja, usled turboprehranjivanja, letećih rukavaca i ležajeva nije toliko izraženo kao kod glavnih rukavaca i ležajeva kolenastog vratila motora.

Maksimalna vrednost opterećenja letećeg ležaja, na režimu maksimalnog momenta, iznosi 208 kN, a na režimu maksimalne snage 158 kN.



Sl. 6 — Dinamička putanja rukavca kolenastog vratila

Rezultati dimenzionalnih merenja glavnih ležajeva i rukavaca kolenastog vratila motora

Sklop: glavni ležajevi — kolenasto vratilo (glavni) rukavci									
I		Vreme rada motora: 547 mč				Vreme rada motora: 653 mč			
		Mere po crtežu	Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora	Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora	
Prečnik (mm)	Ležaj	$\phi 95 \begin{smallmatrix} +0,03 \\ -0,00 \end{smallmatrix}$	$\phi 95,020$	$\phi 95,020$	$\phi 95,029$	$\phi 95,016$	$\phi 95,014$	$\phi 95,028$	
	Gl. rukavac	$\phi 95 \begin{smallmatrix} -0,07 \\ -0,09 \end{smallmatrix}$	$\phi 94,924$	$\phi 94,921$	$\phi 94,914$	$\phi 94,928$	$\phi 94,925$	$\phi 94,925$	
Ovalnost (mm)	Ležaj	0,015	0,014	0,005	0,007	0,003	0,014	0,021	
	Gl. rukavac	0,010	0,004	0,004	0,024	0,005	0,006	0,012	
Konusnost (mm)	Ležaj	0,010	0,004	0,008	0,017	0,002	0,004	0,015	
	Gl. rukavac	0,010	0,004	0,006	0,016	0,006	0,014	0,007	
II		Mere po crtežu	Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora	Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora	
Prečnik (mm)	Ležaj	$\phi 95 \begin{smallmatrix} +0,03 \\ -0,00 \end{smallmatrix}$	$\phi 95,020$	$\phi 95,020$	$\phi 95,034$	$\phi 95,005$	$\phi 95,010$	$\phi 95,035$	
	Gl. rukavac	$\phi 95 \begin{smallmatrix} -0,07 \\ -0,09 \end{smallmatrix}$	$\phi 94,924$	$\phi 94,921$	$\phi 94,918$	$\phi 94,926$	$\phi 94,923$	$\phi 94,921$	
Ovalnost (mm)	Ležaj	0,015	0,012	0,009	0,018	0,009	0,008	0,005	
	Gl. rukavac	0,010	0,004	0,006	0,010	0,004	0,004	0,009	
Konusnost (mm)	Ležaj	0,010	0,002	0,005	0,05	0,003	0,002	0,005	
	Gl. rukavac	0,010	0,000	0,006	0,010	0,006	0,006	0,006	

Vreme rada motora: 547 mč			Vreme rada motora: 653 mč		
III	Mere po crtežu	Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora	Mere nakon kontrolnog rada motora
Prečnik (mm)	Ležaj	φ95 ^{+0,03} _{-0,00}	φ95,018	φ95,011	φ95,031
	Gl. rukavac	φ95 ^{-0,07} _{-0,09}	φ94,921	φ94,921	φ94,918
Ovalnost (mm)	Ležaj	0,015	0,020	0,002	0,018
	Gl. rukavac	0,010	0,004	0,004	0,013
Konusnost (mm)	Ležaj	0,010	0,003	0,002	0,008
	Gl. rukavac	0,010	0,002	0,004	0,011
IV	Mere po crtežu	Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora	Mere nakon kontrolnog rada motora
Prečnik (mm)	Ležaj	φ95 ^{+0,03} _{-0,00}	φ95,020	φ95,018	φ95,037
	Gl. rukavac	φ95 ^{-0,07} _{-0,09}	φ94,921	φ94,917	φ94,909
Ovalnost (mm)	Ležaj	0,015	0,004	0,005	0,017
	Gl. rukavac	0,010	0,004	0,000	0,018
Konusnost (mm)	Ležaj	0,010	0,004	0,005	0,012
	Gl. rukavac	0,010	0,002	0,002	0,002
			φ95,005	φ95,009	φ95,034
			φ94,919	φ94,916	φ94,915
			0,016	0,010	0,020
			0,003	0,004	0,005
			0,002	0,001	0,010
			0,004	0,005	0,001

V			Vreme rada motora: 547 mč			Vreme rada motora: 653 mč			
			Mere po crtežu	Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora	Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora
Prečnik (mm)	Ležaj	φ95 +0,03 —0,00	φ95,018	φ95,014	φ95,037	φ94,999	φ95,003	φ95,030	
	Gl. rukavac	φ95 —0,07 —0,09	φ94,921	φ94,922	φ94,917	φ94,920	φ94,921	φ94,920	
Ovalnost (mm)	Ležaj	0,015	0,018	0,008	0,021	0,010	0,002	0,005	
	Gl. rukavac	0,010	0,004	0,002	0,004	0,003	0,004	0,007	
Konusnost (mm)	Ležaj	0,010	0,002	0,000	0,001	0,002	0,006	0,007	
	Gl. rukavac	0,010	0,004	0,003	0,004	0,004	0,006	0,001	
VI			Mere po crtežu	Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora	Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora
Prečnik (mm)	Ležaj	φ95 +0,03 —0,00	φ95,015	φ95,009	φ95,036	φ95,002	φ95,002	φ95,020	
	Gl. rukavac	φ95 —0,07 —0,09	φ94,920	φ94,921	φ94,915	φ94,923	φ94,923	φ94,926	
Ovalnost (mm)	Ležaj	0,015	0,017	0,020	0,006	0,012	0,008	0,022	
	Gl. rukavac	0,010	0,004	0,003	0,013	0,002	0,003	0,004	
Konusnost (mm)	Ležaj	0,010	0,001	0,003	0,003	0,001	0,004	0,017	
	Gl. rukavac	0,010	0,004	0,006	0,007	0,003	0,004	0,004	

			Vreme rada motora: 547 mč			Vreme rada motora: 653 mč		
VII	Mere po crtežu		Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora	Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora
			Φ95,016	Φ95,020	Φ95,033	Φ95,000	Φ95,003	Φ95,024
Prečnik (mm)	Ležaj	Φ95 +0,03 -0,00	Φ94,923	Φ94,923	Φ94,923	Φ94,922	Φ94,923	Φ94,927
	Gl. rukavac	Φ95 -0,07 -0,09						
Ovalnost (mm)	Ležaj	0,015	0,010	0,020	0,015	0,023	0,024	0,025
	Gl. rukavac	0,010	0,002	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002
Konusnost (mm)	Ležaj	0,010	0,009	0,003	0,014	0,003	0,001	0,010
	Gl. rukavac	0,010	0,002	0,004	0,008	0,004	0,004	0,005
VIII	Mere po crtežu		Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora	Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora
			Φ95,018	Φ95,016	Φ95,024	Φ95,005	Φ95,002	Φ94,994
Prečnik (mm)	Ležaj	Φ95 +0,03 -0,00	Φ94,921	Φ94,822	Φ94,921	Φ94,926	Φ94,925	Φ94,926
	Gl. rukavac	Φ95 -0,07 -0,09						
Ovalnost (mm)	Ležaj	0,015	0,012	0,016	0,030	0,018	0,018	0,002
	Gl. rukavac	0,010	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,005
Konusnost (mm)	Ležaj	0,010	0,002	0,016	0,020	0,004	0,012	0,002
	Gl. rukavac	0,010	0,003	0,002	0,001	0,003	0,004	0,004

Tabela 3

Proračunate vrednosti ukupnog zazora glavnih ležajeva

Redni broj ležaj — rukavac	Vreme rada motora: 547 mč				Vreme rada motora: 653 mč		
	Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora		Mere na novom motoru	Mere nakon kontrolnog rada motora	Mere nakon garantnog rada motora
I	0,096	0,099	0,115		0,088	0,089	0,103
II	0,096	0,099	0,116		0,079	0,087	0,114
III	0,097	0,09	0,113		0,087	0,094	0,105
IV	0,091	0,10	0,12		0,086	0,093	0,119
V	0,097	0,092	0,12		0,079	0,082	0,11
VI	0,095	0,088	0,12		0,079	0,079	0,094
VII	0,093	0,097	0,11		0,078	0,08	0,097
VIII	0,098	0,194	0,103		0,079	0,077	0,068

Rezultati dimenzionalnih merjenja ostalih vitalnih delova motora

Naziv dela		Mere po crtežu	Vreme rada motora: 547 mč		Vreme rada motora: 653 mč	
			Razlika mera nakon kontrol- nog rada motora	Razlika mera nakon garantnog rada motora	Razlika mera nakon kontrol- nog rada motora	Razlika mera nakon garantnog rada motora
Leteći rukavci	Ležišta	$\phi 84,992$ +0,030	0,002	0,03	0,002	0,022
	Rukavci	$\phi 85$ -0,06 -0,08	0,005	0,016	0,002	0,004
Glavne klipnjače	Čaure	ϕ +0,058 +0,078	0,01	0,03	0,003	0,003
	Osovinice	$\phi 42$ -0,011	0,005	0,006	0,002	0,002
Pomoćne klipnjače	Čaure	$\phi 42$ +0,058 +0,078	0,01	0,027	0,01	0,011
	Osovinice	$\phi 42$ -0,011	0,004	0,005	0,004	0,004
Košuljice cilindra motora — desna strana motora	Košuljice gornji-prvi pojas	min. $\phi 149,950$	0,002	0,017	0,003	0,038
	Košuljice donji-drugi pojas	min. $\phi 149,950$	0,006	0,01	0,002	0,01
Košuljice cilindra motora — leva strana motora	Košuljice gornji-prvi pojas	min. $\phi 149,950$	0,006	0,009	0,007	0,04
	Košuljice donji-drugi pojas	min. $\phi 149,950$	0,012	0,011	0,012	0,011
Klip — desna strana motora	Klip na vrhu	+0,05 $\phi 148,95$	0,03	0,036	0,004	0,011
	Klip pri dnu	-0,05 $\phi 149,40$	0,02	0,03	0,003	0,004
Klip — leva strana motora	Klip na vrhu	+0,05 $\phi 148,95$	0,02	0,04	0,01	0,015
	Klip pri dnu	-0,05 $\phi 149,40$	0,01	0,03	0,008	0,008

Naziv dela		Mere po crtežu	Vreme rada motora: 547 mč		Vreme rada motora: 653 mč	
			Razlika mera nakon kontrolnog rada motora	Razlika mera nakon garantnog rada motora	Razlika mera nakon kontrolnog rada motora	Razlika mera nakon garantnog rada motora
Klipni prstenovi i klip	Prsten — prvi	zazor	0,12	0,15	0,16	0,22
	Zleb — prvi	0,08—0,15				
	Prsten — drugi	zazor	0,11	0,15	0,16	0,22
	Zleb — drugi	0,08—0,15				
Klipni prstenovi i klip	Prsten — treći	zazor	0,06	0,06	0,05	0,06
	Zleb — treći	0,03 do 0,08				
	Prsten — četvrti	zazor	0,06	0,07	0,05	0,06
	Zleb — četvrti	0,03 do 0,08				
Vodice ventila i usisni ventili	Vodice	+0,019 φ18	0,019	0,062	0,008	0,051
	Ventili	—0,060 φ18 —0,072	0,011	0,018	0,003	0,016
	Vodice	+0,019 φ18	0,014	0,029	0,016	0,095
	Ventili	—0,040 φ18 —0,052	0,007	0,001	0,006	0,015
Bregasta vratila i ležajevi — usis	Ležajevi	+0,050 φ30 +0,020	0,005	0,009	0,06	0,05
	Rukavci	—0,065 φ30 —0,098	0,01	0,009	0,03	0,08
Bregasta vratila i ležajevi — izduv	Ležajevi	+0,050 φ30 +0,020	0,007	0,007	0,06	0,1
	Rukavci	—0,065 φ30 —0,098	0,006	0,011	0,003	0,012
Bregasta vratila — tanjirić ventila	Naleganje bregasta (mereno po širini) na tanjirić ventila	+0,4 16 —0,8	1,80*	0,00	2,00	0,00

*) Naleganje brega bregastog vratila na tanjirić ven tila mora da bude najmanje jednako širini 1/2 brega.

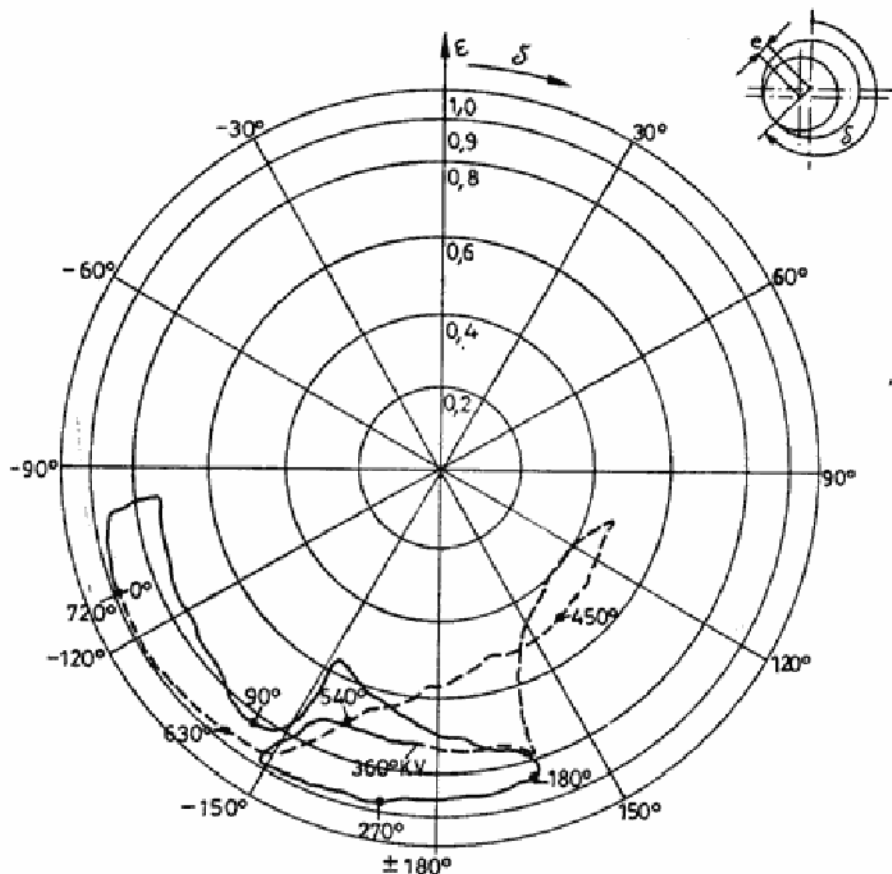
Za osovinicu bočne klipnjače ove vrednosti iznose 216 kN, odnosno 175 kN.

Na režimu $P_{\max}$ veće su inercione sile koje suprotno deluju u odnosu na sile sagorevanja u momentu maksimalnog pritiska gasova u cilindru motora, pa su ukupne rezultujuće sile na leteći ležaj i osovinicu bočne klipnjače manje.

Na osnovu rezultata merenja i proračuna pojedinih parametara može se videti intenzitet trošenja vitalnih delova motora zavisno od opterećenja, uslova rada i ukupnog vremena rada motora. Pokazalo se da su intenzivnija trošenja i deformacije svih ležajeva u odnosu na rukavce, što je u skladu sa osnovnim zahtevima ležaj — rukavac.

Analiza trošenja glavnih ležajeva i rukavaca pokazala je da ne postoji neki od njih, koji se intenzivnije troši. Moglo se očekivati najizrazitije trošenje 5. glavnog ležaja koji je najviše opterećen.

Trošenja glavnih ležajeva prilično su ravnomerna pošto je motor radio u laboratorijskim uslovima. Isključeni su uticaji okoline kao što su prašina, nečistoća vazduha i sl. Nisu se pojavile značajnije razlike u trošenju, a opterećenje motora nije moglo doći do izražaja budući da su minimalne debljine uljnog filma u ležaju, $h_{\min}$ znatno više od dozvoljenih. To se može videti na osnovu prikazane dinamičke putanje za 2. glavni ležaj (slika 7) [4]. Koordinatni sistem ima ishodište u osi ležaja, ugao kolenastog vratila odnosi se na



Sl. 7 — Dinamička putanja glavnog rukavca drugog ležaja za režim maksimalnog momenta motora

prvi glavni cilindar, SMT je na 360° kV dela visokog pritiska prvog glavnog cilindra, brzina obrtanja KV $n = 1200 \text{ min}^{-1}$, maksimalni pritisak u cilindru $p_{\text{max}} = 131 \text{ bar}$, relativni zazor ležaja $\psi = 0,63\%$, ulazna temperatura ulja $T_u = 78^\circ\text{C}$, srednja temperatura ulja $T_{\text{sr}} = 96^\circ\text{C}$, minimalna debljina uljnog filma $h_{\text{min}} = 3,37 \mu\text{m}$, a visina neravnina $h_r = 0 \mu\text{m}$.

Podjednaka trošenja 1. i 8. glavnog ležaja, u odnosu na ostale glavne ležajeve, nastala su zbog najvećih deformacija i najmanje krutosti na tim delovima kolenastog vratila motora. Na osnovu analize proračunatih ukupnih zazora i glavnih ležajeva (tabela 3) može se zaključiti da se, zbog trajnih deformacija pojedinih ležajeva i rukavaca, te vrednosti smanjuju nakon kontrolnog ili garantnog rada u odnosu na novi motor.

Sa povećanjem trošenja ležajeva smanjuje se minimalna debljina uljnog filma a rukavac je sve bliže površini ležaja [9, 10, 11]. U uslovima eksploatacije, pored normalnog rada (kretanja rukavca u ležaju u uslovima mokrog trenja) postoji mogućnost da nastupi rad u uslovima graničnog, pa čak i suvog trenja. Osim toga, ovi uslovi su neizbežni prilikom startovanja i zaustavljanja motora kada će trošenje ležaja sigurno biti intenzivnije.

Ako se uporedi vreme rada motora može se uočiti da je nakon kontrolnog rada, motor koji je ukupno radio 547 mč imao nešto veća trošenja u odnosu na motor čije je ukupno vreme rada iznosilo 653 mč. Takođe, pokazalo se da je trošenje ležajeva nakon garantnog roka jednog i drugog motora bilo skoro isto, iako je drugi motor radio duže za 106 mč. S obzirom na to da su oba motora radila u približno istim uslovima, ovaj efekat trošenja mogao bi nastati zbog razlike u promenama kvaliteta motornog ulja koje nastaju tokom rada motora.

Analiza trošenja letećih ležajeva i rukavaca prvog motora pokazuje da je trošenje ravnomerno. Povećanje ukupnog zazora letećih ležajeva, nakon garantnog rada motora, koji je u vezi sa trošenjem kod prvog motora kreće se u granicama od 0,035 do 0,045 mm, a kod glavnih ležajeva to iznosi od 0,019 do 0,025 mm, što pokazuje da su veća trošenja letećih ležajeva koji su više i opterećeni. Slični odnosi dobijeni su i kod drugog motora.

Analiza trošenja klipnocilindrične grupe pokazuje da su neznatno veća istrošenja na levoj strani motorskog sklopa, zbog većeg mehaničkog i toplotnog opterećenja. Efekti trošenja više su izraženi pri vrhu klipa i košuljice nego pri dnu. Istovremeno više se troše klipni prstenovi koji su bliži vrhu klipa. Sigurno je da će ova trošenja u uslovima eksploatacije biti još više izražena.

Analiza trošenja razvodnog mehanizma sa ventilima, pokazuje da su veća trošenja izduvnih ventila i vođica u odnosu na usisne, zbog većeg toplotnog opterećenja i veće dilatacije.

Analiza trošenja bregastih vratila i njihovih ležajeva usisnih i izduvnih ventila pokazuje da ne postoje bitne razlike. Naleganje bregova na tanjiriće ventila povećava se sa vremenom rada motora. U početnom periodu rada motora ono treba da bude jednako najmanje polovini širine brega što se na ovim motorima, nakon kontrolnog i garantnog rada, znatno povećalo. To znači da vreme rada motora ide u prilog navedenom zahtevu.

Zaključak

Priprema motora za ispitivanje izvršena je prema programu za dugotrajno ispitivanje. Svi mereni parametri motora bili su u okviru propisanih granica. Tokom ispitivanja dolazilo je do otkaza i neispravnosti u radu moto-

ra po pojedinim sistemima, koje su se morale otkloniti. Otkazi i neispravnosti nisu bili vezani za trošenje vitalnih delova motora, pa u ovom radu nisu posebno razmatrani.

Analiza trošenja vitalnih delova pokazuje da motor poseduje visok stepen pouzdanosti. Utvrđeno je da nakon garantnog rada maksimalni pad snage motora iznosi 19 kW, što je malo u odnosu na maksimalno dozvoljenu granicu od 5% pri radu sa dizel-gorivom D-2.

Analizom rezultata istraživanja trošenja vitalnih delova turboprehranjivanih motora visoke specifične snage, vezano za karakteristične uslove rada motora, uspostavljeni su kvalitativni odnosi opterećenje — trošenje po jedinim delova u laboratorijskim uslovima u zavisnosti od ukupnog vremena rada motora. Rezultati istraživanja mogu se iskoristiti za prognozu intenziteta i vida istrošenja motora u uslovima eksploatacije.

Povećana mehanička i toplotna opterećenja, koja su izazvana turboprehranjivanjem motora, vezano za radne uslove (pritisak ulja, zazor ležaja, opterećenje, kvalitet ulja) i funkcionalne veličine (protok ulja, minimalna debljina uljnog filma, viskozitet ulja, temperatura ulja) stvaraju niz novih problema. Najugroženiji delovi motora postali su klizni ležajevi klipnjače, kolenastog i bregastog vratila motora.

U laboratorijskim uslovima rada pokazalo se da se glavni i leteći ležajevi izrazito ne troše. Očekivalo se da će se najviše trošiti najopterećeniji glavni ležaj kolenastog vratila motora. Uticaj opterećenja na veličinu trošenja nije mogao doći do izražaja pošto su minimalne debljine uljnog filma znatno više od dozvoljenih. Osim toga, bili su isključeni uticaji okoline (prašina, nečistoća vazduha i sl.) koji su od poseb-

nog značaja, a u realnim uslovima eksploatacije motora doći će do izražaja.

Utvrđeno je da se leteći ležajevi kolenastog vratila intenzivnije troše zbog toga što su opterećeniji od glavnih ležajeva. Maksimalna vrednost istrošenja iznosi 0,045 mm, a kod glavnih ležajeva 0,025 mm.

Analiza klipnocilindrične grupe pokazuje da je najveće trošenje cilindara u zoni klipnih prstenova kada je klip u položaju gornje mrtve tačke. Zbog većeg mehaničkog i toplotnog opterećenja motorskog sklopa na levoj strani motora dolazi do većeg trošenja. Maksimalne vrednosti trošenja košuljice cilindra motora iznose 0,049 mm, a klipa 0,070 mm. Istovremeno više se troše klipni prstenovi koji su bliži vrhu klipa. Sigurno je da će ova trošenja u uslovima eksploatacije biti još više izražena.

Analiza razvodnog mehanizma sa ventilima pokazuje da su veća trošenja izduvnih ventila i vođica u odnosu na usisne, zbog većih toplotnih opterećenja i veće dilatacije.

Analiza trošenja bregastih vratila i njihovih ležajeva usisnih i izduvnih ventila pokazuje da ne postoje bitne razlike. Sa povećanjem vremena rada motora poboljšava se naleganje bregova na tanjiriće ventila.

U realnim uslovima eksploatacije motora visokih specifičnih snaga posebnu pažnju treba posvetiti održavanju prečistača za vazduh i ulju za podmazivanje. Visokim stepenom prečišćavanja vazduha i ulja za podmazivanje smanjio bi se intenzitet trošenja svih delova motora.

Pokazalo se da na trošenje najveći uticaj imaju okolina i pravilna eksploatacija sredstva, od čega, u velikoj meri, zavisi pogonska sigurnost i vek eksploatacije motora.

Literatura:

- [1] Kulović, E. i dr.: Periodično ispitivanje turboprehranjivanih motora visokih specifičnih snaga, Izveštaj br. 29-1010, Sarajevo, 1980.
- [2] Kulović, E. i dr.: Periodično ispitivanje turboprehranjivanih motora visokih specifičnih snaga, Izveštaj br. 4120-2809-040, Sarajevo, 1981.
- [3] Trifunović, R. i dr.: Studija povećanja snage motora 12CN 15/18 deo I i II, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.
- [4] Cernej, A. i dr.: Studija povećanja snage motora 12CN 15/18, Izveštaj faze 7, Maribor, 1983.
- [5] Cernej, A. i dr.: Studija povećanja snage motora 12CN 15/18 deo I i II, Mašinski fakultet, Sarajevo, 1981.
- [6] Zegarac, N. i dr.: Metoda proračuna opterećenja i dinamičkih putanja rukavaca kolebnastog vratila motora, IFTOMM — Vibracije rotacionih strojeva i sistema, Karlovac, 12.—14. 10. 1989., Zbornik radova, str. 171 do 182.
- [7] Cernej, A. i dr.: Pogonska sigurnost ležaja pogonskog agregata za vozila, Visoka Tehniška šola, Maribor, 1984.
- [8] Cernej, A. i dr.: Poškodba ležajev tlačno polnjenih dizel motorja, Visoka Tehniška šola, Maribor, 1984.
- [9] Zegarac, N.: Dijagnostika kliznih ležajeva u dizel-motoru, Doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1989.
- [10] Lang, O., Steinhilper, W.: Gleitlager, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1978.
- [11] Pinkus, O., Sternlicht, B.: Theory of Hydrodynamic Lubrication, Mc Graw-Hill, New York, 1961.

Mr Dušan Regodić,
major, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija
VJ, Beograd

PRILOG ANALIZI STRUJANJA U GRANIČNOM SLOJU PRIMENOM POLHAUSENOVE METODE

UDC: 533.69.048.001.575

Rezime:

Metod Polhausena koristi se za proračun profila brzine za laminarni granični sloj pri obstrujavanju sa spoljnim intenzitetom brzine. U računarskom programu neophodno je izračunati debljinu graničnog sloja, tangencijalni napon i druge parametre, za 50% dužine krila letelice. Proračun je izvršen za jedanaest tačaka od prednje zaustavne tačke. U programu su izmenjene bezdimenzionalne u dimenzionalne vrednosti brzine i promene brzine.

Ključne reči: granični sloj, promena pritiska, tangencijalni napon, pokretna debljina, impulsna debljina, faktor oblika, koeficijent trenja.

CONTRIBUTION TO BOUNDARY-LAYER FLOW ANALYSIS USING THE POHLHAUSEN METHOD

Summary:

The Pohlhausen method is applied to velocity profile calculation for a laminar boundary layer of a body in a stream with external velocity gradient. It is necessary to calculate boundary layer thickness, tangential stress and other parameters for 50% of aerofil length using a computer programme. The calculation is carried out for eleven points starting from the leading stagnation point. Nondimensional velocity and velocity change values are gradient into dimensional ones in the programme.

Key words: boundary layer, pressure gradient, tangential stress, displacement thickness, shape factor, friction coefficient.

Uvod

Prandtl je 1904. godine uveo pojam graničnog sloja strujanja, čime je označio početak moderne ere mehanike fluida. Pri analizi viskoznog strujanja oko tela, podelio je polje strujanja u područje relativno tankog graničnog sloja u neposrednoj blizini čvrstih granica i u području koje prekriva ostatak polja strujanja. Unutar graničnog sloja tangencijalna komponenta brzine naglo se menja u smeru normale na

zid, i to od nule na zidu do brzine slobodne struje na spoljnoj granici graničnog sloja. U tom sloju važan je uticaj viskoznosti; strujanje je vrtložno, a viskozne sile istog su reda veličina kao i inercione, pa se dinamika strujanja opisuje Navier-Stoksovim jednačinama [1].

Izvan graničnog sloja uticaj viskoznosti zbog malih poprečnih gradijenata brzine strujanja je zanemarljiv, pa se fluid može smatrati idealnim u potencijalnom (bezvrtložnom) struja-

nju, tako da se dinamika u tom području opisuje Ojlerovim jednačinama kretanja [1].

U ovom radu analizirano je strujanje u laminarnom i turbulentnom graničnom sloju, i dat numerički primer proračuna opstrujavanja krila primenom Polhausenove metode. Numeričko rešenje je urađeno u Fortranu na PC-386.

Pretpostavke i kvalitativni opis graničnog sloja

Debljina graničnog sloja definisana je kao udaljenost od zida u smeru poprečne y-ose preko koje se brzina menja od nule do vrednosti koja je za 1% manja od iznosa brzine spoljnog potencijalnog strujanja na mestu x. Na drugi način napisana debljina je:

$$\delta^* = \int_0^{\delta} \left(1 - \frac{u(y)}{u_1}\right) dy \quad (1)$$

Debljina δ^* naziva se »pokretna debljina« ili »debljina istiskivanja« i ona predstavlja odstojanje od opstrujavane površine do spoljne granice sloja duž y pravca na kome je brzina manja za 1% od iznosa brzine spoljnog potencijalnog strujanja.

Impulsna (redukovana) debljina graničnog sloja data je formulom

$$\Theta = \int_0^{\delta} \frac{u(y)}{u_1} \left(1 - \frac{u(y)}{u_1}\right) dy \quad (2)$$

Ona predstavlja lokalno smanjenje debljine graničnog sloja pri opstrujavanju površine.

Tangencijalni napon τ_w za nesabijeni strujni tok je

$$\tau_w = \rho \frac{\partial(u_1^2 \Theta)}{\partial x} + \rho u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x} \delta^* \quad (3)$$

Izraženo u bezdimenzionalnom obliku [4] lokalni koeficijent trenja je:

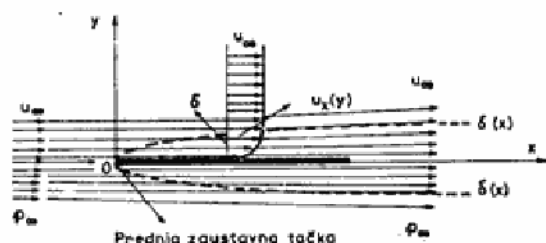
$$\frac{c_f}{2} = \frac{\partial \Theta}{\partial x} + \frac{\partial u_1 \Theta}{\partial x u_1} (2 + H) \quad (4)$$

gde je:

$$c_f = \frac{\tau_w}{\frac{\rho u_1^2}{2}} \text{ — lokalni koeficijent trenja,} \quad (5)$$

$$H = \frac{\delta^*}{\Theta} \text{ — faktor debljine graničnog sloja.} \quad (6)$$

Osnovne karakteristike graničnog sloja prikazane su na slici 1.



Sl. 1 — Karakteristike graničnog sloja oko ravne ploče

Prednja zaustavna tačka je inicijalna za laminarni granični sloj. Tangencijalno naprezanje τ proporcionalno je raspodeli brzine struje u za poprečni presek graničnog sloja [1], i iznosi:

$$\begin{aligned} \tau &= \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0} = f''(0) \frac{\rho u_{\infty}^2}{\sqrt{Re}} \\ &= 0,3321 \frac{\rho u_{\infty}^2}{\sqrt{Re}} \end{aligned} \quad (7)$$

gde je:

$$f(\eta) = \frac{\psi}{\sqrt{u_{\infty} \nu x}} \text{ — bezdimenzionalna funkcija toka,} \quad (8)$$

$$\eta = \frac{y}{\sqrt{\frac{\nu x}{u_{\infty}}}} \text{ — složena bezdimenzionalna promenljiva po Blaziusu,}$$

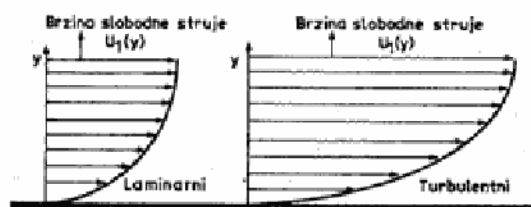
$$Re = \frac{u_{\infty} x}{\nu} \text{ — Reynoldsov broj,}$$

$\psi = \psi(x, y, t)$ (m²/s) — funkcija toka ravnanskog nesabije-nog strujanja [2].

ν — koeficijent kinematske viskozno-sti.

Za lokalnu vrednost graničnog sloja, na odstojanju od prednje ivice raz-vija se nestabilan laminarni granični sloj koji se naziva prelazni. Unutar nje-ga se povećava debljina, a iza njega sledi turbulentni granični sloj. U tur-bulentnom graničnom sloju ostvaruje se intenzivno mešanje strujnica, reali-zuje se veliki prenos molekula unutar graničnog sloja što proizvodi dodatni napon, nazvan Rejnoldsovim naponom.

Razlike profila brzine za laminar-ni i turbulentni granični sloj prikaza-ne su na slici 2.



Sl. 2 — Profil brzine laminarnog i turbulen-tnog graničnog sloja

Teorija laminarnog graničnog sloja

Pri stacionarnom laminarnom op-strujavanju ravne ploče pritisak ostaje konstantan ($p = p_\infty$) i $u \delta = u_\infty$, pa Prandtllove jednačine dobijaju sledeći oblik [4]:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (9)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (11)$$

Za horizontalnu ravnu ploču pri-tisak je konstantan i bezdimenzione transformisane koordinate definišu se izrazom [2]:

$$\eta = \sqrt{\frac{y}{2}} \left(\frac{u_1}{\nu x} \right) \quad (12)$$

Jednačina graničnog sloja svodi se na običnu nelinearnu diferencijalnu jednačinu po Blaziusu, primenom fun-kcije toka ψ , bezdimenzionalne funkci-je toka $f(\eta)$ i složene bezdimenzional-ne promenljive η , čiji je oblik:

$$f''' + ff'' = 0 \quad (13)$$

gde je f definisano jednačinom (8), sa graničnim uslovima:

$$f = f' = 0 \quad \text{za } \eta = 0$$

$$f' = 1 \quad \text{za } \eta = \infty$$

Varijante jednačine (13) daju sle-deće izraze [2, 5]:

$$u = u_1 \frac{f'}{2} \quad (14)$$

$$v = \frac{\sqrt{\nu_1 \frac{\nu}{x}} (\eta f' - f)}{2} \quad (15)$$

$$c_f = \frac{0,664}{\sqrt{Re_x}} \quad (16)$$

$$\frac{\delta^*}{x} = \frac{1,729}{\sqrt{Re_x}} \quad (17)$$

$$\frac{\Theta}{x} = \frac{0,664}{\sqrt{Re_x}} \quad (18)$$

Gradijent pritiska

Ako je na spoljnoj granici granič-nog sloja gradijent pritiska takav da je brzina na spoljnoj granici prikaza-na sa $u_1 = Kx^m$, tada se jednačina gra-ničnog sloja svodi na Falkner-Skan je-dnačinu [2]:

$$f''' + (m+1)ff'' - 2mf'^2 + 8m = 0 \quad (19)$$

gde su K i m empirijski koeficijenti.

Rešavanjem jednačine dobija se:

$$u = \frac{u_1 f'}{2} \quad (20)$$

$$v = -\frac{\sqrt{u_1 \frac{v}{x}}}{2} [(m+1)f + (m-1)\eta f'] \quad (21)$$

Granični uslovi su isti kao za jednačinu (13). Granični sloj u blizini zaustavne tačke ima vrednost koeficijenta $m=1$, a u tački odvajanja sloja vrednost $m = -0,0904$ [2].

Koeficijent trenja je

$$c_t = \frac{F(m)}{\sqrt{Re_x}} \quad (22)$$

gde je empirijska funkcija $F(m) = F(-0,0904) = 0$; $F(m) = F(0) = 0,664$ i $F(m) = F(1) = 2,466$ [2].

Polhausenova metoda

Polhausen je pretpostavio opšti oblik bezdimenzionalnog profila brzine u graničnom sloju kao jednoparametarske funkcije sličnih krivulja. Ako se pretpostavi profil brzine u graničnom sloju, uz prisustvo gradijenta pritiska, i ako se opiše algebarskim odnosom između u/u_1 i $y/\delta = \eta$, tada je

$$\frac{u}{u_1} = \frac{2\eta - 2\eta^3 + \eta^4 + \lambda\eta(1-\eta)^3}{6} \quad (23)$$

gde parametar λ iznosi:

$$\lambda = \frac{\delta^2}{v} \frac{du_1}{dx} \quad (24)$$

Odvajanju graničnog sloja odgovara $\lambda = -12$. U zaustavnoj tački $\lambda = 7,052$ i

$$c_t = \frac{4v}{u_1 \delta} \left(1 + \frac{\lambda}{12} \right) \quad (25)$$

Debljina graničnog sloja dobija se za propisanu vrednost $u_1(x)$, na osnovu jednačine (3).

Prelazni granični sloj

Da bi se definisao granični sloj neophodno je odrediti njegovu prirodu na površini koja se opstrujava. Analize pokazuju da priroda graničnog sloja približno zavisi od uslova strujanja definisanih Rejnoldsovim brojem. Ako se posmatra površina oblika ploče, na njenom prednjem delu, za odgovarajuće male vrednosti Rejnoldsovog broja, formira se laminarni granični sloj. Zatim se javlja prelazna zona laminarnog u turbulentni granični sloj i, na kraju, potpuno razvijeno turbulentno strujanje na zadnjem delu kojem odgovaraju više vrednosti Rejnoldsovih brojeva $Re = 10^5$ do $5 \cdot 10^6$. Takav granični sloj na opstrujavanoj površini naziva se mešoviti (laminarno-turbulentni). Na prelazak sa laminarnog na turbulentni strujni tok utiču visok gradijent pritiska i Mahov broj. Za opšte inženjerske proračune glatkih ravnih površina može se uzeti da se pri $Re_x = 5 \cdot 10^5$ u graničnom sloju javlja umerena turbulencija.

Turbulentni granični sloj

Komponente brzine u turbulentnom graničnom sloju su $(\bar{u}+u)$ i $(\bar{v}+v)$, gde su $\bar{u}$ i $\bar{v}$ srednja odstupanja brzine. Rejnoldsov napon tada može biti izražen preko $-\rho u'v'$. Prema tome, ukupni tangencijalni napon, koji se javlja u turbulentnom graničnom sloju, iznosi:

$$\tau = \mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - \rho \bar{u}v' \quad (26)$$

U poređenju sa laminarnim graničnim slojem, uv predstavlja dodatak jednačine za turbulentni granični sloj. Da bi se pravilno definisao turbulentni tok neophodno je definisati i druge strujne varijable. Jednačina (26) definisana je za unutrašnji region turbulentnog sloja. Fluktuacije brzine na opstrujavanoj površini omogućile su pojavu Rejnoldsovog napona koji je mali u poređenju sa $\mu \partial u / \partial y$. Za područje pune turbulencije izraz za Rejnoldsov napon dominira. U spoljnom regionu turbulencija je isprekidana i jednačina (26) ne može se primeniti, ali ovaj region može biti opisan modifikovanim razvijenim jednačinama za punu turbulentnu strujnu oblast.

Teorija prelaznog graničnog sloja

Za prelazno strujanje jednačina (24) poprima oblik:

$$\tau = (\mu + \rho l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|) \frac{\partial u}{\partial y} \quad (27)$$

gde je:

l — prelazna dužina na kojoj nastaje vrtlog.

Za punu turbulentnu oblast prvi član ovog izraza može biti zanemaren. Ako se usvoji da je dužina l proporcionalna odstojanju od površine y, jednačina (27) može se integrisati tako da glasi:

$$\frac{u}{u_\tau} = A \log_{10} \left(\frac{yu_\tau}{v} \right) + B \quad (28)$$

gde je:

$$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad \text{— brzina trenja,}$$

A = 5,75 — empirijski koeficijent [2],

B = 5,5 — empirijski koeficijent [2].

Poznata zavisnost jednačine (28) ne može se primeniti za vrlo male vrednosti y.

Zakovitosti promene brzine strujanja

U laminarnom podsloju, Rejnoldsovi naponi su zanemarljivi, pa se koriste tangencijalni naponi između dva sloja, dati Njutnovom formulom $\tau_w = \mu \partial u / \partial y$, koji su konstantni u podsloju. Integracijom se dobija:

$$\frac{u}{u_\tau} = \frac{yu_\tau}{v} \quad (29)$$

Ako je turbulentni granični sloj isprekidan, izraz (28) modifikovan je i glasi:

$$\frac{u}{u_\tau} = \frac{1}{k} \log_{10} \left(\frac{yu_\tau}{v} \right) + \Phi \left(\frac{y}{\delta} \right) \quad (30)$$

On sadrži punu i isprekidanu turbulentnu oblast gde je vrednost $\Phi = \text{const.} = B$. Na gornjoj granici sloja $u = u_1$ za $y = \delta$, pa je

$$\begin{aligned} \frac{(u_1 - u)}{u_\tau} &= \Phi(1) - \frac{1}{k} \log_{10} \left(\frac{y}{\delta} \right) - \\ &- \Phi \left(\frac{y}{\delta} \right) = f \left(\frac{y}{\delta} \right) \end{aligned} \quad (31)$$

gde je $\Phi(1)$ opšta konstanta, a $f(y/\delta)$ i Φ su dobijene eksperimentalnim putem i njihova vrednost zavisi od gradijenta spoljnog pritiska. Vrednost $\Phi(1) = 7,9$ a $k = 0,4$ [2].

Koeficijenti trenja i otpora za ravnu ploču

Lokalni koeficijent trenja, po Von Karmanu, iznosi:

$$c_f \frac{1}{2} = 1,7 + 4,15 \log_{10}(\text{Re}_x c_f) \quad (32)$$

gde je:

Re_x — lokalni Rejnoldsov broj.

Koeficijent otpora trenja je:

$$C_f^{-\frac{1}{2}} = 4,13 \log_{10}(Re_L C_f) \quad (33)$$

Rejnoldsov broj Re_L usvojen je za površinu pokrivenu turbulentnim graničnim slojem. Na osnovu Slihtingovih eksperimentalnih rezultata na bazi teorijskih rezultata Von Karmana za turbulentni granični sloj Prandl je dao obrazac pogodan za numeričko računanje koji glasi:

$$C_f = (2 \log_{10} Re_x - 0,65)^{-2,3} \quad (34)$$

$$C_f = 0,455 (\log_{10} Re_L)^{-2,58} \quad (35)$$

Ove formule koriste se za područje $10^5 < Re_L < 1,5 \cdot 10^9$ gde je granični sloj turbulentan [4, 3].

Vrednost zakona brzine

Eksperimentalni rezultati pokazuju »vrednost zakona« koji glasi:

$$\frac{u}{u_1} = \sqrt[n]{\frac{y}{\delta}} \quad (36)$$

gde je:

$n=5$ do 9 — koeficijent koji zavisi od Rejnoldsovog broja.

Odnos između »pokretne debljine«, impulsne debljine i debljine graničnog sloja dat je izrazima [4]:

$$\frac{\delta^*}{\delta} = \frac{1}{n+1} \quad (37)$$

$$\frac{\Theta}{\delta} = \frac{n}{(n+1)(n+2)} \quad (38)$$

Za $5 \cdot 10^5 < Re_x < 10^7$ može se uzeti da je $n=7$. Uobičajena vrednost odnosa faktora trenja i Rejnoldsovog broja u korelaciji je za strujnu cev i iznosi [2]:

$$\frac{\delta}{x} = \frac{0,370}{\sqrt[5]{Re_x}} \quad (39)$$

$$C_f = \frac{0,59}{\sqrt[5]{Re_x}} = \frac{0,026}{\sqrt[4]{Re_\theta}} \quad (41)$$

$$C_f = \frac{0,074}{\sqrt[5]{Re_x}} \quad (42)$$

Za $10^6 < Re_x < 10^8$ jednačina (36) je dobro podešena za $n=9$ i daje [2]:

$$\frac{\delta}{x} = \frac{0,275}{\sqrt[6]{Re_x}} \quad (43)$$

$$C_f = \frac{0,038}{\sqrt[6]{Re_x}} = \frac{0,018}{\sqrt[5]{Re_\theta}} \quad (44)$$

$$C_f = \frac{0,045}{\sqrt[6]{Re_L}} \quad (45)$$

Ako se profil brzine graničnog sloja izrazi jednačinom (13) za koju se uzima odgovarajuća vrednost n , tada se H može izračunati na osnovu jednačina (6) i (37,38), a C_f može biti izraženo u zavisnosti od Θ na osnovu jednačine (41) ili (44). Jednačina impulsnog integrala (2) može se rešiti po Θ , za λ koji pogodan analitički i numerički oblik za u_1 .

Primena Polhausenovog metoda za proračun laminarnog graničnog sloja

Polhausenov metod profila brzine koristi se za proračun graničnog sloja sa spoljnim gradijentom brzine [2].

Polhausenova jednačina sadrži parametar

$$\lambda = \frac{\delta^2}{\nu} \frac{du_1}{dx}$$

koji opisuje profil brzine u laminarnom graničnom sloju sa spoljnim gradijentom brzine (ili pritiska). Na osno-

vu izraza za tangencijalni napon, pokretne debljine i impulsnu debljinu (2) mogu se dobiti nove jednačine u zavisnosti od λ , koje glase:

$$\tau_w = \frac{\mu u_1}{\delta} \left(2 + \frac{\lambda}{6} \right) \quad (47)$$

$$\delta^* = \left(\frac{3}{10} - \frac{\lambda}{120} \right) \delta \quad (48)$$

$$\Theta = \left(\frac{37}{315} - \frac{\lambda}{945} - \frac{\lambda^2}{9072} \right) \delta \quad (49)$$

Zamenom u impulsni integral jednačine (2) nakon nekoliko izmena dobija se izraz:

$$\frac{d \left(\frac{\Theta^2}{v} \right)}{dx} = \frac{F(\lambda)}{u_1} \quad (50)$$

gde je:

$$F(\lambda) = 2 \left(\frac{37}{315} - \frac{\lambda}{945} - \frac{\lambda^2}{9072} \right) \left(2 - \frac{116\lambda}{315} + \frac{79\lambda^2}{7560} + \frac{\lambda^3}{4536} \right) \quad (51)$$

U jednačini (50) ostvaren je odnos između impulsne debljine Θ i odstoja x od početka graničnog sloja za koji se želi numerička integracija u računarskom programu. Takođe, to pokazuje jednačina za λ koja daje odnos između impulsne debljine Θ i λ koji glasi [2]:

$$\frac{\Theta^2}{v} \frac{du_1}{dx} = \left(\frac{37}{315} - \frac{\lambda}{945} - \frac{\lambda^2}{9072} \right)^2 \lambda \quad (52)$$

Jednačina (52) može se rešiti numerički ako su:

- dati spoljna brzina u_1 i njen derivativ u'_1 u funkciji x ,
- poznati početni uslovi.

Šlihting je to dokazao i za zaustavnu tačku gde je [4, 2]:

$$\lambda_0 = 7,052; \quad \left(\frac{\Theta^2}{v} \right)_0 = \frac{0,077}{u'_1}$$

$$\left[\frac{d \left(\frac{\Theta^2}{v} \right)}{dx} \right]_0 = \frac{-0,0652 u''_1}{(u'_1)_0} \quad (53)$$

Izvodi su obeleženi sa rastućim odstojanjem x od zaustavne tačke.

Raspodela spoljne brzine i njenog izvoda, za deo gornje površine letelice na kojoj je na 50% dužine laminarni granični sloj, prikazana je u tabeli 1.

gde je:

- $u_0 = 60 \text{ m/s}$ — brzina slobodne struje,
- $c = 40 \text{ cm}$ — dužina aeroprofila,
- u'_1 — početna vrednost za zaustavnu tačku.

U računarskom programu neophodno je naći debljinu graničnog sloja, tangencijalni napon i druge parametre, a za 50% dužine aeroprofila od zaustavne tačke, izračunati koeficijent otpora trenja. U tabeli 2 date su proračunate vrednosti za parametre strujanja. Pri proračunu su korištene jednačine (1 do 7), (23 do 25) i (47 do 53).

Tabela 1

Raspodela spoljne brzine i njenog izvoda

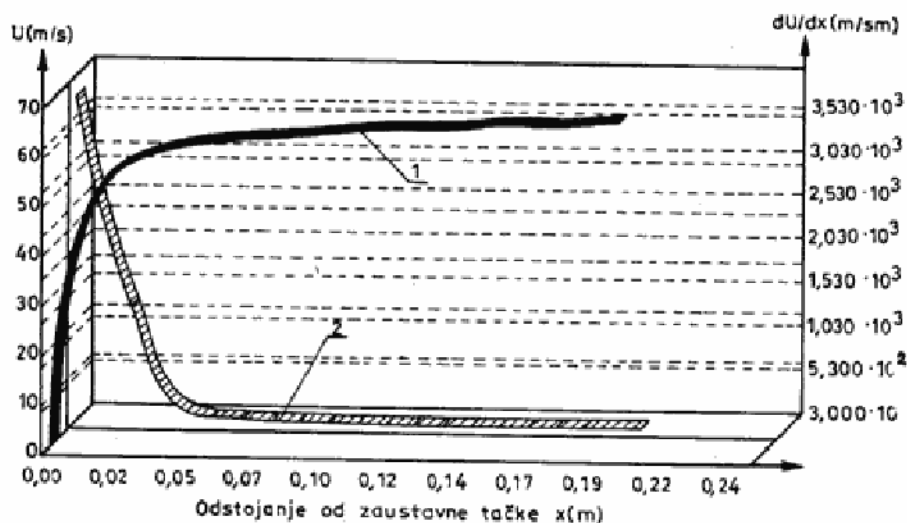
$d(U_1/U_0)/d(x/c)$	25	9	1	0,5	0,35	0,25	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
U_1/U_0	0,0	0,9	1,0	1,03	1,05	1,065	1,075	1,085	1,095	1,105	1,11
x/c	0,0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50

Proračunate vrednosti parametara strujanja

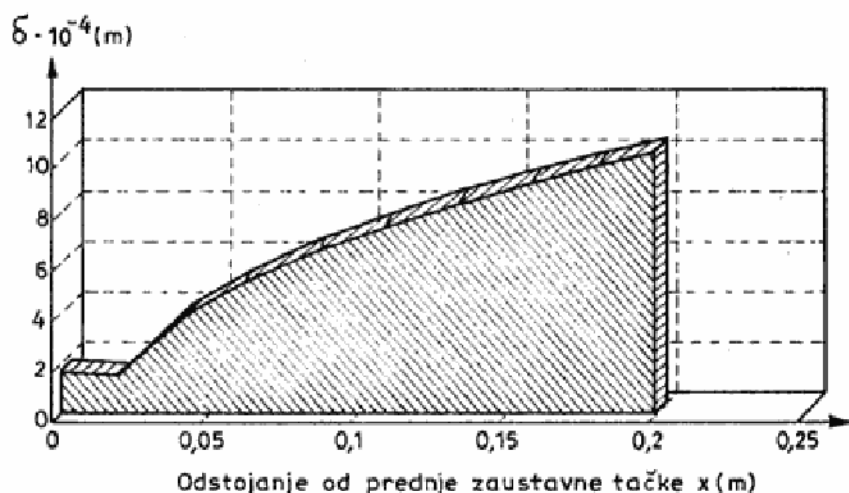
x (m)	u (m/s)	du/dx (m/sm)	δ (m)	δ^* (m)	Θ (m)	H	τ (N/m ²)	λ
0,00	0,00	3750	0,000166	0,000040	0,000017	2,31	0,00	7,05
0,02	54	1350	0,000151	0,000043	0,000017	2,46	15,05	2,11
0,04	60	150	0,000375	0,000108	0,000043	2,49	6,42	1,44
0,06	62	75	0,000515	0,000149	0,000060	2,49	4,78	1,36
0,08	63	53	0,000624	0,000180	0,000072	2,49	4,03	1,40
0,10	64	38	0,000714	0,000206	0,000083	2,49	3,55	1,31
0,12	65	30	0,000794	0,000230	0,000092	2,50	3,22	1,29
0,14	65	30	0,000869	0,000249	0,000100	2,48	3,03	1,55
0,16	66	30	0,000935	0,000266	0,000108	2,47	2,89	1,79
0,18	66	30	0,000993	0,000281	0,000114	2,46	2,79	2,02
0,20	67	30	0,001045	0,000294	0,000120	2,46	2,72	2,24

Promena brzine i gradijenta brzine struje duž opstrujavane površine prikazana je na slici 3.

Promena debljine graničnog sloja duž opstrujavane površine prikazana je na slici 4.



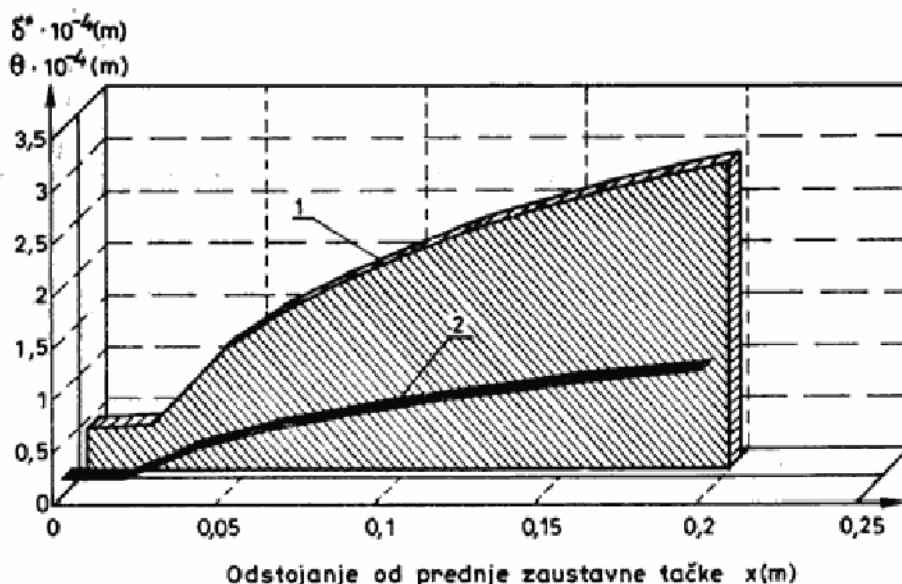
Sl. 3 — Promena brzine i gradijenta brzine
1 — brzina struje U , 2 — promena brzine dU/dx



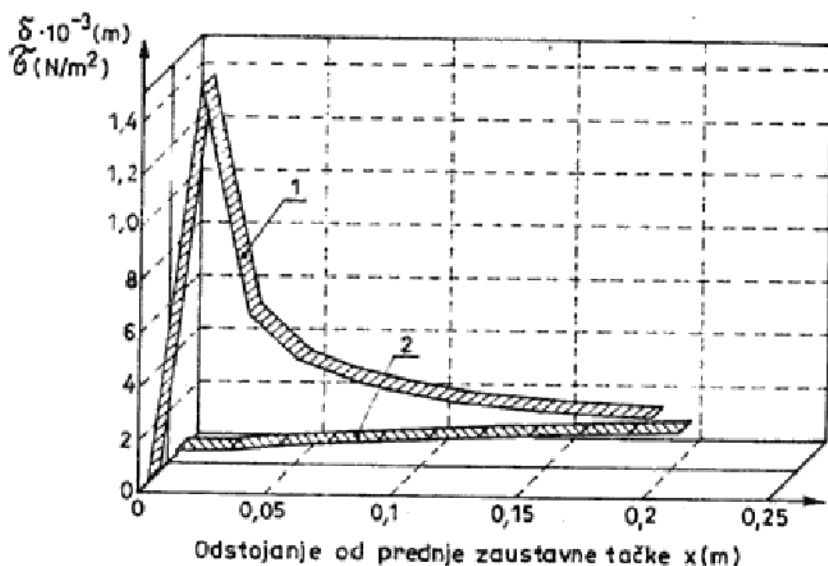
Sl. 4 — Promena debljine graničnog sloja δ

Promena »pokretne« i impulsne debljine graničnog sloja duž opstrujavane površine, prikazana je na slici 5.

Promena tangencijalnog napona duž opstrujavane površine prikazana je na slici 6.



Sl. 5 — Promena »pokretne« i impulsne debljine graničnog sloja
1 — »pokretna debljina« δ^* , 2 — impulsna debljina θ



Sl. 6 — Promena tangencijalnog napona i debljine graničnog sloja

1 — tangencijalni napon τ , 2 — debljina graničnog sloja δ

Zaključak

Na osnovu sprovedene analize strujanja u graničnom sloju može se zaključiti da debljina graničnog sloja ujednačeno raste od prednje ivice obstrujavane površine. Tangencijalni napon ima maksimalnu vrednost nepo-

sredno iza prednje ivice, a λ generalno teži padu. Gradijent pritiska je povoljan, pa faktor oblika graničnog sloja H ima ujednačene vrednosti. Analiza može poslužiti za proračun koeficijenta trenja u laminarnom graničnom sloju.

Literatura:

- [1] Krasnov, N. F.: Aerodinamika, Moskva, 1986.
- [2] Stribling, C. B.: Basic aerodynamics, London, 1984.
- [3] Alcock, D.: Illustrating Basic, Cambridge University Press, 1977.
- [4] Slihting, G.: Teorija pograničnog sloja, Nauka, Moskva, 1974.
- [5] Regodić, D.: Uticaj vrste strujanja na ukupni aerodinamički koeficijent, VTGI, Beograd, 1995.
- [6] Regodić, D.: Aerodinamika rotacionog tela, VTA, Beograd, 1994.
- [7] Tehnička enciklopedija, JLZ, Zagreb, 1982.

Ivan Miletić,
dipl. inž.
VP 2822 Prokuplje

KORIŠĆENJE FAZNE PETLJE ZA POTISKIVANJE PROSTOPERIODIČNE SMETNJE KOD SISTEMA SA DIREKTNOM SEKVENCOM

UDC: 621.391.883:621.376.6

Rezime:

Razmatran je problem potiskivanja prostoperiodične smetnje kod DS-SS sistema (Direct sequence Spread Spectrum System). Problem se može rešiti uz pomoć metoda fazne petlje, transferzalnih filtera i adaptivnih antenskih sistema. Analiziran je metod fazne petlje kojim se može dobiti željeni odnos snaga korisnog signala i prostoperiodične smetnje.

Ključne reči: fazna petlja, koristan signal, prostoperiodična smetnja, efektivna smetnja, ekvivalentni šum, varijansa fazne greške.

PHASE-LOCKED LOOP APPLICATION FOR SIMPLE PERIODIC INTERFERENCE SUPPRESSION IN DIRECT SEQUENCE SYSTEMS

Summary:

The problem of simple periodic interference suppression in DS-SS (Direct Sequence Spread Spectrum) systems is considered. It can be solved using the method of phase-locked loop, transverse filters and adaptive arrays. The paper analyses the method of phase-locked loop by which a desired useful signal to simple periodic interference strength ratio can be obtained.

Key words: phase-locked loop useful signal, simple periodic interference, effective interference, equivalent noise, phase error variance.

Uvod

Sistemi za prenos signala u proširenom spektru, koji predstavljaju jednu klasu telekomunikacionih sistema, razvijeni su usled potrebe da se obezbedi pouzdan prenos informacije u uslovima izuzetno visokog nivoa smetnje.

U realnim uslovima primene komunikacionih sistema postavlja se zahtev za prenos informacije u situacijama u kojima je nivo smetnje znatno viši od nivoa korisnog signala. Ovakva situacija nastaje bilo zbog aktivnog ometanja, bilo zbog toga što se u blizini prijemnika nalazi jak predajnik nekog

drugog komunikacionog sistema koji radi na istoj ili bliskoj frekvenciji. Činjenica je da je zauzetost frekventnog opsega danas toliko velika da su ovakve situacije moguće, kako u civilnim, tako i u vojnim komunikacijama.

Pored ometanja, kod vojnih komunikacija javlja se još jedan njima svojstven problem — problem elektronskog izviđanja.

Primenom tehnike proširenja spektra signala postiže se veoma efikasna protivielektronska zaštita sistema. Mogućnosti praktične realizacije sistema zasnovanih na ovoj tehnici su raznovrsne.

Jedna od najčešće korišćenih praktičnih realizacija je DS-SS sistem (Direct Sequence Spread Spectrum) ili sistem za prenos signala u proširenom spektru korišćenjem direktne sekvence.

Analiza i rezultati

U bilo kojoj konfiguraciji sistema, pa samim tim i kod DS-SS sistema, poželjno je da sistem ima mogućnost da potisne smetnju nezavisno od vrednosti njegovih parametara.

Potiskivanje prostoperiodične smetnje može se ostvariti korišćenjem sledećih metoda:

- fazna petlja [2],
- transversalni filtri [1, 3],
- adaptivni antenski sistemi [5].

U ovom slučaju razmatraće se metod fazne petlje, čija konfiguracija je prikazana na slici 1 [1, 2].

Ukupni ulazni signal, u ovom slučaju, može da se predstavi u sledećem obliku:

$$r_1(t) = S_{DS}(t) + A_1 \cdot \cos(\omega_1 t + \theta_1) \quad (1)$$

gde je:

$S_{DS}(t)$ — primljeni DS-SS signal ukupne snage S , centralne učestanosti ω_0 i širine spektra, W_{DS} .

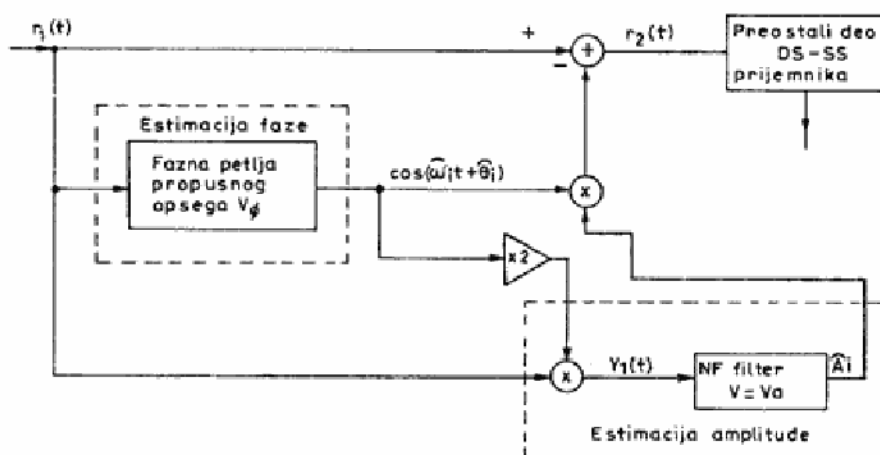
Drugi sabirak u relaciji (1) predstavlja prostoperiodičnu smetnju snage $I = A_1^2 / 2$.

Pošto se u ovom slučaju razmatra prostoperiodična smetnja koja je znatno većeg nivoa u odnosu na nivo korisnog signala, korišćenjem fazne petlje može se generisati signal iste faze kao što je faza smetnje.

Ako se izvrši još i dodatna regulacija amplitude signala fazne petlje, dobiće se signal koji ima približno iste parametre kao i smetnja. Oduzimanjem ovako generisanog signala od ukupnog ulaznog signala, u preostali deo DS-SS sistema će, umesto smetnje, dospeti razlika originalne smetnje i njene estimacije.

Naravno, što je estimirani signal sličniji originalnoj smetnji, razlika ova dva signala će biti manja i težiti nuli. Ova razlika naziva se *efektivna smetnja*.

Neka su $\hat{\omega}_1$ i $\hat{\theta}_1$, učestanost i faza signala na izlazu iz fazne petlje, a $\hat{A}_1$ amplituda tog signala nakon prolaska kroz blok za estimaciju.



Sl. 1 — Blok šema kola za potiskivanje prostoperiodične smetnje kod sistema sa direktnom sekvencom

Ulazni signal u preostali deo DS-SS prijemnika, koji je na slici 1 obeležen sa $r_2(t)$, može se predstaviti u sledećem obliku:

$$r_2(t) = r_1(t) - \hat{A}_1 \cdot \cos(\omega t + \hat{\Theta}_1) = S_{DS}(t) + A_1 \cdot \cos(\omega_1 t + \Theta_1) - \hat{A}_1 \cdot \cos(\omega_1 t + \hat{\Theta}_1) = S_{DS}(t) + i_2(t) \quad (2)$$

Sa $i_2(t)$ je označena efektivna smetnja, koja je definisana sledećom relacijom:

$$i_2(t) = A_1 \cdot \cos(\omega_1 t + \Theta_1) - \hat{A}_1 \cdot \cos(\omega_1 t + \hat{\Theta}_1) = A_1 \cdot \cos(\omega_1 t + \Theta_1) - \hat{A}_1 \cdot \cos(\omega_1 t + \alpha) \quad (3)$$

gde je ugao α definisan relacijom:

$$\alpha = (\omega_1 - \omega_1) \cdot t + \hat{\Theta}_1 = \Delta\omega_1 + \hat{\Theta}_1 \quad (4)$$

Korišćenjem jednostavnih trigonometrijskih transformacija, efektivna smetnja može se predstaviti u sledećem obliku:

$$i_2(t) = (A_1 \cdot \cos\Theta_1 - \hat{A}_1 \cdot \cos\alpha) \cdot \cos\omega_1 t - (A_1 \cdot \sin\Theta_1 - \hat{A}_1 \cdot \sin\alpha) \cdot \sin\omega_1 t = \sqrt{A_1^2 + \hat{A}_1^2 - 2 \cdot A_1 \hat{A}_1 \cos(\Theta_1 - \alpha)} \cdot \cos(\omega_1 t + \beta) \quad (5)$$

Ekvivalentni ugao β definisan je relacijom:

$$\beta = \arctg \left(\frac{A_1 \cdot \sin\Theta_1 - \hat{A}_1 \cdot \sin\alpha}{A_1 \cdot \cos\Theta_1 - \hat{A}_1 \cdot \cos\alpha} \right) \quad (6)$$

Amplituda signala $i_2(t)$ u relaciji (5) predstavlja meru efikasnosti potiskivanja smetnje:

$$A_{ir} = \sqrt{A_1^2 + \hat{A}_1^2 - 2 \cdot A_1 \hat{A}_1 \cos\Phi_e} \quad (7)$$

Sa $\Phi_e = \Theta_1 - \alpha$, obeležena je greška estimacije ukupne faze ulazne smetnje u faznu petlju (razlika između faza smetnji na ulazu i izlazu fazne petlje).

Na osnovu ovoga, snaga efektivne smetnje može se označiti sa:

$$I_2 = \bar{A}_{ir}^2 / 2 \quad (8)$$

Da bi se dobila vrednost estimirane amplitude smetnje $\hat{A}_1$, potrebno je izvršiti NF filtriranje proizvoda ukupnog ulaznog signala sistema $r_1(t)$ i izlaznog signala fazne petlje $\cos(\omega_1 t + \hat{\Theta}_1)$. Proizvod ta dva signala $y_1(t)$, na osnovu slike 1, je:

$$y_1(t) = r_1(t) \cdot 2\cos(\omega_1 t + \hat{\Theta}_1) = 2r_1(t)\cos(\omega_1 t + \alpha) = 2S_{DS}(t)\cos(\omega_1 t + \alpha) + 2A_1\cos(\omega_1 t + \Theta_1)\cos(\omega_1 t + \alpha) \quad (9)$$

Primenom trigonometrijskog pravila:

$$\cos\alpha\cos\beta = \frac{\cos(\alpha+\beta) + \cos(\alpha-\beta)}{2}$$

na drugi sabirnik u relaciji (9) i koristeći uvedenu jednakost $\Phi_e = \Theta_1 - \alpha$, relacija (9) može se napisati kao:

$$y_1(t) = 2S_{DS}(t)\cos(\omega_1 t + \alpha) + A_1\cos\Phi_e + A_1\cos(2\omega_1 t + \Theta_1 + \alpha) \quad (10)$$

Posle NF filtriranja ovog signala, dobija se:

$$y_1(t) = A_1\cos\Phi_e + E_a(t) = \hat{A}_1 \quad (11)$$

Ukoliko se faznom petljom održava mala vrednost greške estimacije ukupne faze ulaznog signala Φ_e , prvi član u relaciji (11) predstavlja dobru estimaciju amplitude smetnje.

Drugi član u relaciji (11), koji je obeležen sa $E_a(t)$, predstavlja ekvivalentni šum koji se dobija NF filtriranjem signala:

$$E_1(t) = 2S_{DS}(t)\cos(\omega_1 t + \alpha) \quad (12)$$

Ako se u relaciji (7) zameni vrednost za $\hat{A}_1$ iz relacije (11), i primeni trigonometrijsko pravilo $\cos 2\alpha = 2\cos^2\alpha - 1$, dobiće se sledeća relacija:

$$\begin{aligned} A_{ir} &= \sqrt{A_1^2 + (A_1\cos\Phi_e + E_a)^2} \cdot \\ &\cdot \sqrt{(-2A_1(A_1\cos\Phi_e + E_a)\cos\Phi_e)} = \\ &= \sqrt{A_1^2 - A_1^2\cos^2\Phi_e + E_a^2} = \\ &= \sqrt{A_1^2(1 - \cos^2\Phi_e) + E_a^2} = \\ &= \sqrt{A_1^2(1 - \cos 2\Phi_e)/2 + E_a^2} \end{aligned} \quad (13)$$

Kada se primeni formula za razvoj kosinusne funkcije u red:

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2!} + \frac{\alpha^4}{4!} - \dots, \text{ na funkciji } \cos 2\Phi_e,$$

dobija se:

$$\cos 2\Phi_e = 1 - \frac{(2\Phi_e)^2}{2!} + \frac{(2\Phi_e)^4}{4!} - \dots$$

Ako se pretpostavi da je $2\Phi_e \ll 1$, dobiće se:

$$\cos 2\Phi_e \approx 1 - 2\Phi_e^2, \quad (14)$$

Uvođenjem ovog izraza u relaciju (13), dobija se:

$$A_{ir} = \sqrt{A_i^2 \Phi_e^2 + E_s^2} \quad (15)$$

Zamenom izraza za A_{ir} iz relacije (15) u relaciju (8) kojom je definisana snaga efektivne smetnje, dobija se:

$$I_s = \bar{A}_{ir}^2 / 2 = (\bar{A}_i^2 \Phi_e^2 + \bar{E}_s^2) / 2 = \Phi_e^2 (\bar{A}_i^2 / 2) + \bar{E}_s^2 / 2 \quad (16)$$

Pošto je snaga prostoperiodične smetnje $I = \frac{A_s^2}{2}$, relacija (16) poprima sledeći oblik:

$$I_s = I \Phi_e^2 + \bar{E}_s^2 / 2 \quad (17)$$

Da bi se odredila snaga ekvivalentnog šuma, tj. izraz za $\bar{E}_s^2(t)$, neophodno je razmotriti relaciju (12), tj.:

$$E_i(t) = 2S_{DS}(t) \cos(\omega_i t + \alpha)$$

$S_{DS}(t)$ je primljeni DS-SS signal. Ako se on predstavi u uobičajenoj formi [4]:

$$S_{DS}(t) = A_{\mu}(t, T_m) \tilde{e}(t, T_e) \cos \omega_s t,$$

gde je:

A — konstantna amplituda signala,
 ω_s — konstantna učestanost,

$\mu(t, T_m) = \tilde{\mu}(t) = \pm 1$ — bipolarni informacioni signal u kome je perioda simbola jednaka T_m ,

$\tilde{e}(t, T_e) = \tilde{e}(t) = \pm 1$ — pseudoslučajna sekvenca dužine $L = T_m/T_e$ gde je $T_e \ll T_m$, perioda bipolarnog simbola, relacija (12) poprima sledeći oblik:

$$E_i(t) = A_{\mu}(t, T_m) \tilde{e}(t, T_e) \cdot \{ \cos[(\omega_i - \omega_s)t + \alpha] + \cos[(\omega_i + \omega_s)t + \alpha] \} \quad (18)$$

Drugi član u ovoj relaciji biće eliminisan NF filtrom, a deo spektra prvog člana ove relacije proći će kroz NF filter i formirati ekvivalentnu smetnju $E_s(t)$.

Snaga ovog signala biće maksimalna u slučaju kada je $\omega_i \approx \omega_s$, što se vidi sa slike 2 [4].

Imajući u vidu da je spektar pseudoslučajne sekvence $W_{DS}/2$ mnogo širi od propusnog opsega NF filtra B_n , može se smatrati da će deo snage prve komponente signala $E_i(t)$ biti proporcionalan količniku $B_n / (W_{DS}/2) = 2B_n / W_{DS}$.

Na osnovu ovoga, snaga ekvivalentnog šuma $E_s(t)$ biće:

$$\bar{E}_s^2(t) = S(2B_n / W_{DS}) = 2SB_n / W_{DS} \quad (19)$$

Uvođenjem ove relacije u relaciju (17), dobija se:

$$I_s = I \Phi_e^2 + SB_n / W_{DS} \quad (20)$$

Potrebno je odrediti izraz za Φ_e^2 . Iz oblasti linearne teorije faznih petlji [4], poznato je da varijansa fazne greške $\sigma^2_{\Phi_e}$ u faznoj petlji, na čijem se ulazu nalazi signal oblika $\sqrt{2}A \cos(\omega_s t + \Theta)$, u prisustvu belog Gausovog šuma spektralne gustine N_0 , iznosi:

$$\sigma^2_{\Phi_e} = N_0 B_L / A^2 \quad (21)$$

gde je:

B_L — ekvivalentni propusni opseg zatvorene fazne petlje.

U slučaju koji se analizira, na ulazu fazne petlje nalazi se signal koji predstavlja sumu prostoperiodične smetnje $A_s \cos(\omega_1 t + \theta_1)$ i širokopojasnog DS-SS signala, snage S i opsega W_{DS} .

Ovaj DS-SS signal, sa stanovišta uskopojasne fazne petlje, predstavlja beli Gausov šum spektralne gustine snage S/W_{DS} [3].

Za slučaj koji se razmatra, varijansa fazne greške može se predstaviti kao:

$$\sigma^2_{\phi_e} = \frac{(S/W_{DS})B_{\Phi}}{(A_1/\sqrt{2})^2} = \frac{2SB_{\Phi}}{A_1^2 W_{DS}} = \frac{B_{\Phi}}{W_{DS}} \cdot \frac{S}{I} \quad (22)$$

Kada se u sistemu koristi fazna petlja kojom se postiže sinfaznost, važi jednakost $\sigma^2_{\phi_e} = \bar{\Phi}^2_e$.

U realnim situacijama je $S/I \ll 1$ i B_{Φ}/W_{DS} je reda veličine 10^{-6} .

Zbog toga $\bar{\Phi}^2_e$, dato relacijom (22), može imati tipičnu vrednost reda 10^{-8} do 10^{-12} . Odavde se vidi da je pretpostavka $2\Phi_e \ll 1$, na osnovu koje je aproksimirana relacija (14), bila opravdana.

Kombinovanjem relacija (20) i (22) dobija se:

$$I_2 = I \cdot \left[\frac{B_{\Phi}}{W_{DS}} \cdot \frac{S}{I} \right] + \frac{SB_a}{W_{DS}} = \frac{B_{\Phi} + B_a}{W_{DS}} \cdot S \quad (23)$$

Konačno, na osnovu ove relacije, određuje se odnos snage korisnog signala i efektivne smetnje na ulazu DS-SS sistema:

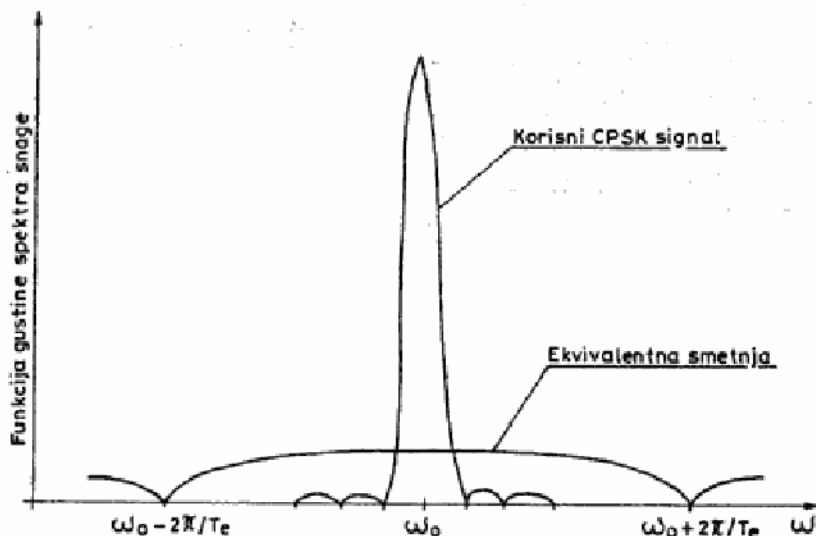
$$S/I_2 = W_{DS} / (B_{\Phi} + B_a) \quad (24)$$

U praksi se nikada ne sreće prostoperiodična smetnja, već je to samo gruba aproksimacija *realne uskopojasne smetnje*.

S tim u vezi, treba istaći da analizirani sklop sa faznom petljom ne bi dao rezultate kada bi se primenio na uskopojasnu smetnju.

Naime, za eliminaciju uskopojasne smetnje u sistemima sa proširenim spektrom, koriste se uskopojasni filteri nepropusnici opsega učestanosti. To su takozvani *Notch-filtri*.

Pri tome se centralna učestanost filtra i njegova širina podese tako da u ukupnom primljenom signalu što je



Sl. 2 — Grafički prikaz funkcija gustine spektra snage korisnog (CPSK) signala i ekvivalentne smetnje

moгуće više oslabe onaj deo spektra u kome je locirana smetnja.

Naravno, treba imati u vidu da se javlja problem nepoznavanja parametara uskopojasne smetnje.

Međutim, razvoj savremene tehnologije omogućio je realizaciju *notch* filtera kome se centralna učestanost menja u zavisnosti od spektra smetnje. Ovo rešenje se zasniva na primeni akustičnih filtera sa površinskim talasom (SAW — Surface acoustic wave filters) [1].

Zaključak

Razmatrano je korišćenje fazne petlje da bi se potisnula prostoperiodična smetnja kod DS-SS sistema.

Ukoliko bi se posmatrao DS-SS sistem bez korišćenja fazne petlje za potiskivanje prostoperiodične smetnje, dobio bi se sledeći izraz za odnos snaga korisnog signala i prostoperiodične smetnje:

$$S/I = S / (A^2 / 2)$$

Literatura:

- [1] Chklarsky, D., Das, P., Milstein, L. B.: Adaptive Narrowband Interference Suppression, Proceeding of National Telecommunication Conference, pp. 15.2.1—15.2.4, Washington, November 1979.
- [2] Bouvier, M. J.: The Rejection of Large CW Interferers in Spread Spectrum Systems, IEEE Transactions on Communication, Vol. COM-26, No.2, pp. 254—256, February 1978.
- [3] Hsu, F., Giordano, A.: Digital Whitening Techniques for Improving Spread Spectrum Communications Performance in the Presence of Narrowband Jamming and Interference, IEEE Trans. Comm. Technology, Vol. COM-26, No.2, pp. 204—216, February 1978.

Poredeći ovaj izraz i izraz (24) koji daje odnos snaga korisnog signala i efektivne smetnje dolazi se do sledećih zaključaka:

— bez primene kola fazne petlje za potiskivanje prostoperiodične smetnje, dobijena relacija za odnos snaga korisnog signala i prostoperiodične smetnje direktno zavisi od snage prostoperiodične smetnje,

— primenom kola fazne petlje dobija se relacija iz koje se vidi da odnos snage korisnog signala i prostoperiodične smetnje *ne zavisi od apsolutne snage smetnje na ulazu celokupnog sistema*, već od širine spektra korisnog DS-SS signala W_{DS} , propusnog opsega fazne petlje B_ϕ i propusnog opsega NF filtra B_n .

Izborom odgovarajućih vrednosti ovih parametara dobiće se željeni odnos snaga korisnog signala i prostoperiodične smetnje.

- [4] Glušić, S.: Prenos signala sa ekspanovanim spektrom, VINC, Beograd, 1981.
- [5] Rodgers, W. E., Compton, R. T.: Adaptive Array Bandwidth with Tapped Delay-Line Processing, IEEE Transactions, Vol. AES-15, No.1, January 1979.

KEVLAR I BALISTIČKA ZAŠTITA

UDC: 623.445.1:623.561

Rezime:

U radu je dat prikaz osnovnih svojstava Kevlara — materijala koji se primenjuje u mnogim područjima i koji ima izuzetnu kombinaciju male mase i velike čvrstoće. To je univerzalan materijal koji se primenjuje u širokom asortimanu proizvoda, ali je njegova primena u balističkoj zaštiti veoma izražena. On omogućava ispunjenje najstrožih zahteva standarda kvaliteta i vrlo visok nivo zaštite ljudi i sredstava.

Ključne reči: Kevlar, balistička zaštita, vlakna, svojstva materijala, balistička ispitivanja.

KEVLAR AND BALLISTIC PROTECTION

Summary:

The paper presents the basic properties of Kevlar — a material applied in many domains and with a unique combination of small mass and high strength. It is a multipurpose material applicable to the wide range of products but its application in ballistic protection stands out. Kevlar enables the satisfaction of highest requirements of the quality standard and a very high level of personnel and equipment protection.

Key words: Kevlar, ballistic protection, fibres, materials properties, ballistic testing.

Uvod

Stefani Kwolek (Stefanie Kwolek), naučni saradnik Du Ponta, SAD, otkrila je Kevlar* 1965. godine. Od tada Kevlar nije prestajao da bude u žiži naučnih i proizvodnih tendencija i novih primena. Zbog toga paraaramidna vlakna predstavljaju sinonim visoke tehnologije.

Kevlar je jedno od najvažnijih organskih vlakana. Zbog jedinstvene

kombinacije svojstava danas se široko primenjuje u industriji. Od komercijalnog uvođenja, početkom sedamdesetih godina, paraaramidna vlakna se primenjuju u različitim proizvodima. Zajedničko svojstvo ovih proizvoda jeste velika otpornost na lom i vrlo mala specifična masa. Kevlar, takođe, ima odličnu termičku i dimenzionalnu stabilnost i malo izduženje pri naprezanju na kidanje. Ne korodira i otporan je na dejstvo većeg broja hemikalija. Takođe, otporan je na toplotu, vatru i na habanje a nije elektroprovodljiv.

* Kevlar je fabrički naziv za paraaramidno vlakno velike čvrstoće koje proizvodi firma Du Pont, SAD.

U kombinaciji sa drugim materijalima, paraaramid pruža nove mogućnosti projektantima i inženjerima dozvoljavajući im da razviju kompozitne sisteme u rešavanju postojećih projektnih problema.

Primena Kevlara

U toku poslednje decenije Kevlar se primenjuje u konstrukcijama:

— gde se zahteva mala masa. Koristi se kao osnova za armiranje različitih materijala koji su izloženi ekstremnim termičkim i hemijskim delovanjima,

— gde su strukturna krutost i mala masa odlučujući činilac,

— gde se zahteva otpornost na toplotu i habanje.

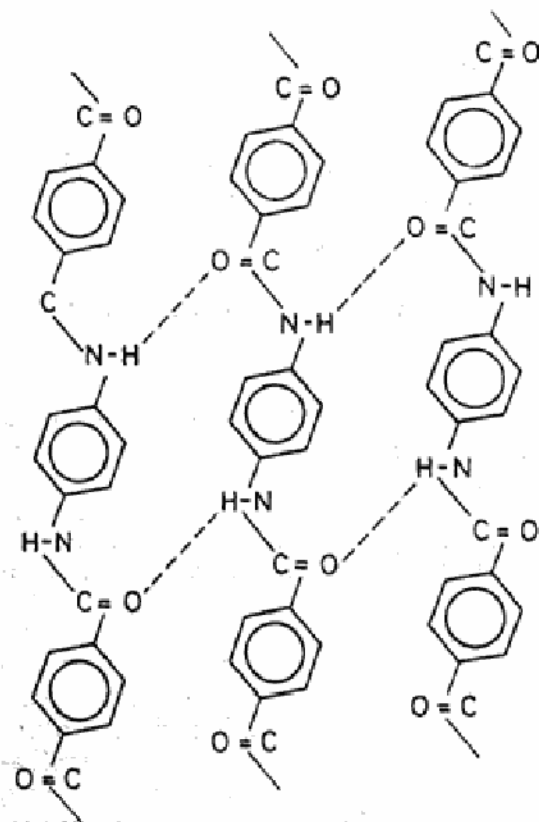
Vlakna Kevlara sadrže duge lance molekula proizvedene od poliparafenilen-tereftalamida (slika 1). Lanci su orijentisani i sa snažnim međusobnim vezama, što rezultira posebnim kombinacijama svojstava.

Opšte karakteristike paraaramidnih vlakana su:

- velika zatezna čvrstoća, veliki moduli i malo izduženje pri kidanju,
- termička i vatrootpornost (ne tope se i imaju malu emisiju dima),
- dimenzionalna stabilnost,
- hemijska otpornost,
- vrlo niska električna provodljivost i niska dielektrična konstanta,
- dobra tekstilna procesibilnost,
- dobra otpornost ka električnom pražnjenju,
- visoka granica zamora.

Područja tehničke primene Kevlara su mnogobrojna, a jedno od njih je u industriji pneumatika. Od 1974. godine koriste ga glavni evropski proizvođači pneumatika kako bi im poboljšali karakteristike. Proširenje njegove primene u ovoj oblasti proističe iz svojstava kao što su visoka specifična čvrstoća, veliki moduli, mala elongacija, izuzetna stabilnost i visoka granica zamora, što utiče na smanjenje mase i intenziteta zagrevanja pneumatika. Pored toga, Kevlar pruža povećanu elastičnost i eliminiše probleme korozije čeličnih ojačanja pneumatika. Široko je prihvaćen u Formuli 1, prototipskim i rally radijalnim pneumaticima putničkih automobila, kao i kod pneumatika motocikala. Koristi se i zbog povećanja otpornosti na bušenje (probijanje) pneumatika aviona, kamiona i bicikala.

Proizvođači automobila su primenom Kevlara načinili napredak u konstrukciji zbog njegove mogućnosti da pruži unikalne kombinacije čvrstoće i stabilnosti. To omogućava duži vek upotrebe creva tečnosti za hlađenje, klima-uređaja, ulja za kočnice i reme-



Sl. 1 — Hemijska struktura vlakana Kevlara

na. Za primene gde se zahteva visoki hidraulički pritisak, paraaramidna vlakna pružaju veću čvrstoću, nižu volumetrijsku ekspanziju, povećanu fleksibilnost i omogućavaju lakše rukovanje. U rudnicima uglja i lučkim postrojenjima transportne trake sa karkasom od Kevlara široko su primenjene.

Kompozitni materijali imaju osnovu od smole, ojačanu fiber-vlaknima u obliku niti ili ploča. U poređenju sa metalima oni su lakši, imaju bolju hemijsku otpornost i odlični su termički i elektroizolacioni materijali. Vlakna kao Kevlar, staklo ili grafit, sačaste matrice Nomex, izrađeni u Du Pontu, široko se primenjuju u vazduhoplovnoj, kosmičkoj i automobilskoj tehnici kao i u izradi sportske opreme. U konstrukcijama aviona veliki specifični moduli i velika udarna otpornost Kevlara omogućava malu masu mnogih strukturnih komponenata. Avionski kompoziti često su u obliku laminata sastavljenih od sačastog jezgra Nomex.

Povećanjem sofisticiranosti vatrenog oružja, tradicionalni oklop prestao je da pruža adekvatnu zaštitu sa prihvatljivom masom, bez obzira na to što su korisniku omogućavali slobodno kretanje. Uvođenje Kevlara u balističku zaštitu predstavlja znatno poboljšanje granice čvrstoće i modula, u poređenju sa postojećim materijalima.

Mala masa i mobilnost najvažniji su aspekti za razmatranje razvoja novih ili poboljšavanja postojećih sredstava zaštite u vojsci. U savremenim ratnim dejstvima i sukobima Kevlar je omogućio efikasnu zaštitu od parčadnog dejstva u 70 do 80 % slučajeva.

Armija SAD bila je začetnik razvoja ličnih zaštitnih sredstava od Kevlara, uključujući bluze (prsluke) i šlemove. Krajem osamdesetih godina, mnoge armije su razvile ili nabavile ovakva zaštitna sredstva koja su otporna na dejstvo parčadi, udobna su

i laka za nošenje. Korišćenjem Kevlara moguće je ostvariti efikasnu zaštitu sa prslucima čija je masa manje od 3 kg. Vojni šlemovi (kacige) izrađeni od paraaramidnih vlakana, čija je masa oko 1 kg, omogućavaju bolju zaštitu u odnosu na ranije tipove šlema. Mnogobrojni slojevi Kevlara laminirani u panele, služe kao efikasan čvrsti oklop za zaštitu vozila i objekata.

Kevlar je pet puta jači od čelika iste mase, ima vrlo visoku otpornost na izduženje i ne topi se. To je idealno vlakno za rastući varijetet krajnjih upotreba, uključujući zaštitne prsluke otporne na metke, krute kompozitne oklope, kundake oružja visokih performansi i proizvode od mehaničke gume. On je, takođe, idealan za užad i kablove, optička vlakna, zaptivače, trake i frikzione proizvode (kao zamena azbesta). Nove aplikacije, koje zahvaju njegova univerzalna svojstva sve su češće.

Početak upotrebe Kevlara za zaštitne prsluke omogućio je zaštitu od dejstva projektila određenih vrsta i tipova vatrenog oružja. Stečena su iskustva sa paraaramidnim vlaknima u dizajniranju prsluka otpornih na metke koji štite u širokom dijapazonu balističkih opasnosti. Izrađeni su različiti modeli počevši od prsluka čija je masa manje od 2 kg, koji bez problema mogu da se nose više sati, do znatno težih prsluka, specijalno ojačanih površinama koje štite od dejstva ručnog vatrenog oružja.

Čvrsta struktura oklopa od Kevlara, vinil-estera ili modifikovane osnove fenolne smole, projektuje se, prvenstveno, radi smanjenja razaranja (cepanja) i povećanja preživljavanja korisnika. Kevlar se koristi i u kombinaciji sa drugim metalnim ili keramičkim materijalima. Obloge od Kevlara koje su male mase i nezapaljive, koriste se u konstrukciji specijalnih vozila. Višeslojni kruti ili polukruti oklopi ugrađuju se na vojna i policijska vozila, brodove, helikoptere i avione.

Paraaramidna vlakna odličan su materijal za optičke i ostale telekomunikacione kablove. Za te potrebe kablovi ne mogu biti izloženi deformaciji većoj od 0,5% i moraju se zaštititi od naprezanja nastalih tokom proizvodnje i ugradnje. Kevlar omogućava centralno i periferno ojačanje kablova radi smanjenja takvih naprezanja.

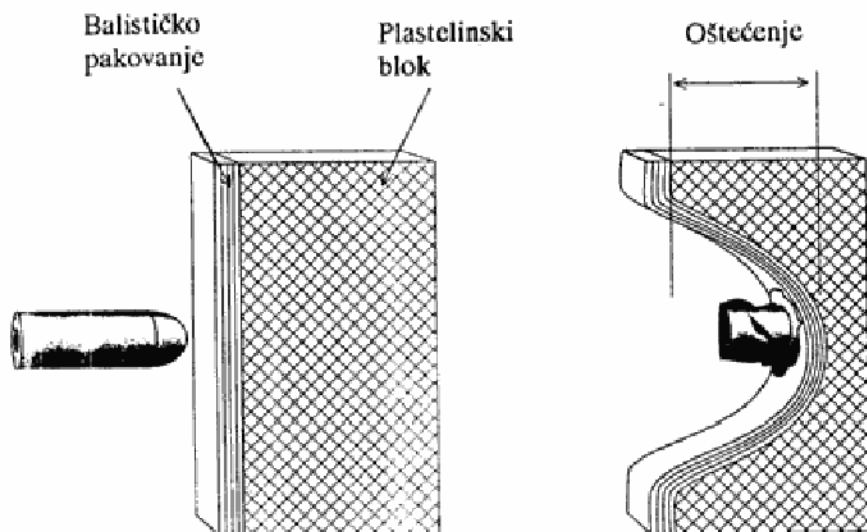
Balistička ispitivanja i kontrole

Balistička ispitivanja imaju važnu ulogu u razmatranju svojstava materijala koji se koriste u zaštiti. Na uzorcima napravljenim od paraaramidnih vlakana, ispitivana je otpornost na penetraciju metaka i parčadi. To je omogućilo da se testiranjima sprovedenim u laboratorijama Du Ponta dobiju precizni odgovori na pitanja i dileme koje su se javile tokom istraživanja i razvoja programa nove lične zaštite. Instalirani uređaji i oprema omogućili su da se proizvođači prsluka i ličnih oklopa od Kevlara i krajnji korisnici, podrže u zahtevima da saznaju kako će se zaštitna sredstva ponašati protiv najnovijih tipova metaka.

Strelište, u kojem se obavljaju balistička ispitivanja visoko je automatizovano u pogledu minimizacije ponavljanja, manuelnih komandi i instrukcija, koji su često karakteristični za takve instalacije. Projektovano je za rad samo jednog lica, mada sofisticirani sigurnosni sistem uključuje kontrolu kamerama. Koristi se najmodernija oprema sa daljinskim upravljanjem i sistemom za akviziciju podataka.

Strelište obuhvata tunel za gađanje dug 25 metara, kontrolnu prostoriju (u kojoj se gađanje inicira elektronski), prostoriju za smeštaj oružja i balističkih uzoraka. Uzorci se prethodno kondicioniraju na određenu vlažnost i temperaturu. Oružje za ispitivanje smešteno je na kraju tunela. Pomoću zamenljive cevi može se gađati ručnim vatrenim oružjem kalibra .22 i .44 inča, kao i oružjem koje uključuje najpoznatije vojne modele 5,56 i 7,62 mm. Prisutan je, naravno, i simulator parčadnog dejstva.

Pri gađanju projektil prolazi kroz dve barijere vezane sa instrumentom za precizno merenje vremena, koji izračunava udarnu brzinu. Druge dve barijere nalaze se iza uzorka koji se

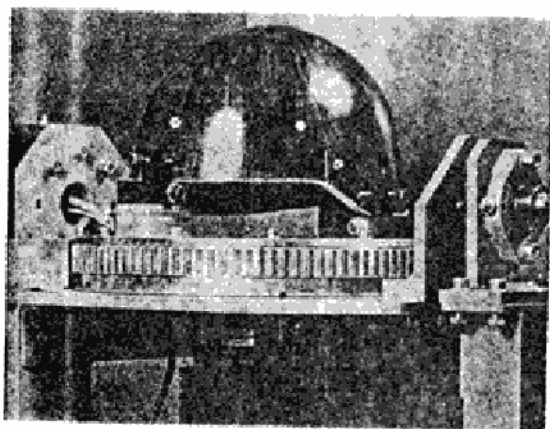


Sl. 2 — Dejstvo projektila na balističku oblogu i njena deformacija

ispituje i koriste se za proračun rezidualne brzine projektila. Uzorci koji se ispituju izrađeni su po propisima i zahtevima koji se postavljaju za ugradnju u vojne prsluke. Balistički uzorci, dimenzija 40 x 40 cm, spojeni su za oslonac koji se automatski pokreće do određene pozicije u tunelu prema unapred utvrđenim sekvencama gađanja. Za precizno lociranje određene tačke udara koristi se laserski snop.

Uzorci se spajaju preko sloja gline (slika 2), a njihova tvrdoća proverava se pre svakog gađanja. Bilo koja deformacija gline (prečnik i dubina) registruje se kao indikacija pogotka.

Važna karakteristika balističkih ispitivanja jeste i brzina V_{50} , koja predstavlja teoretsku brzinu pri kojoj je verovatnoća penetracije 50 %, a proračunava se i snima pomoću mikroročunara. Strelisce se, takođe, koristi za ispitivanje vojnih i policijskih šlemova na dejstvo metaka i parčadi. Projektovano je specijalno postolje (slika 3) koje može da menja ugao pod kojim se postavlja šlem u odnosu na liniju gađanja.



Sl. 3 — Postolje za određivanje brzine V_{50} na šlemu

Primena Kevlara u balističkoj zaštiti

Kevlar se primenjuje u balističkoj zaštiti od 1970. godine. Primenjivan je u proizvodnji civilnih kaciga,

pilotskih kaciga otpornih na lom, šlemova za posade oklopnih borbenih vozila i šlemova za pešadijske jedinice.

Velika čvrstoća vlakana, mala specifična masa i nezapaljivost, kao i intenzivna istraživanja o mogućnostima novih primena, ukazuju na to da preko 90 % zrna ili parčadi mogu zaustaviti prsluci ili šlemovi izrađeni od Kevlara.

Kevlar se primenjuje u izradi:

- zaštitnih prsluka i šlemova,
- balističkih pokrivača za municiju i skloništa,
- vojnih gumenih čamaca,
- konopaca i užadi,
- vojnih vozila, aviona, mornaričkih plovila, cevi lansera raketa, vozila specijalne namene,
- sredstava za prenos toplote, itd.

Najbolji šlemovi izrađeni od Kevlara mogu istovremeno da ispune nekoliko kontradiktornih zahteva. Jedan od njih jeste apsorpcija udara ili otpornost prema parčadnom dejstvu projektila, pri brzinama od 600 do 700 m/s, i na zrna kalibra 9 mm, ispaljena brzinom od 400 m/s. Pored ove otpornosti šlemovi moraju imati ograničenu deformaciju zadnje površine. Masa šlema je kritičan parametar i ne zavisi samo od faktora pokrivenosti glave, nego i od nivoa zaštite koja se traži. Jedan od izazova za projektante jeste da se ostvari najbolja balistička otpornost sa najnižom površinskom gustinom. Novi Kevlar H-shell, Ht-shell i Ht-shell KM2 ispunjavaju te zahteve.

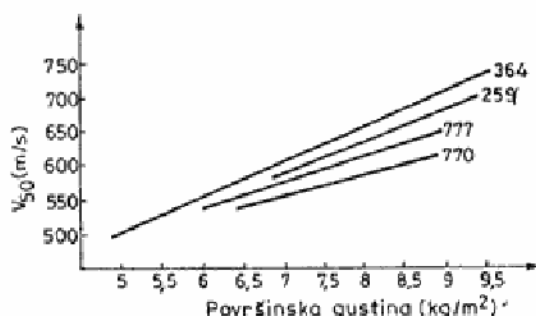
Kao i u slučaju zaštitnih prsluka, kombinacija prediva Kevlara za šlemove mora se optimizirati u skladu sa postavljenim zahtevima. Vojni šlemovi su izrađeni oblikovanjem impregniranih slojeva. Najjednostavnija za oblikovanje je fenolna smola kojoj se dodaje termoplastični polivinilbutiral (PVB), kako bi se povećala ukupna žilavost. Proces impregnacije može se

fabrički izvesti sa jedne ili sa obe strane, što ne utiče na konačne performanse šlemova.

Smola ne pruža značajan doprinos balističkim karakteristikama šlema, ali utiče na njegovu strukturnu otpornost (krutost i čvrstoću) i masu. Istraživanja su pokazala da 12 do 14 % odnosa fenol/PVB u Kevlaru predstavlja optimalno rešenje u ispunjavanju balističkih i strukturnih zahteva. U praksi, evaluacija i selekcija prediva za poznate tipove šlemova izvršena je gađanjem ravnog laminantnog panela (40 x 40 cm) umesto šlema. Balističke performanse, dobijene na ovaj način, potvrđene su i za sve veličine šlema.

U tabeli 1 date su vrednosti brzine V_{50} ravnih panela izrađenih od prediva Kevlara različitih oznaka sa 12% fenolne smole. Ploče su oblikovane na temperaturi od 160 °C u trajanju od 20 minuta i pod pritiskom od 10 bara.

Predivo Ht-shell KM2 oznake 364 imalo je najveću vrednost brzine V_{50} od četiri različita uzorka, ali je zahtevalo više slojeva nego prediva čije su oznake 777 i 259, kako bi se ostvarila jednaka površinska gustina. Predivo Ht-shell 259 ima specifičnu balističku otpornost koja se nalazi između prediva sa oznakama 777 i 364. Na slici 4 prikazana je brzina V_{50} u odnosu



Sl. 4 — Balistička otpornost različitih prediva Kevlara

Tabela 1

Balistička otpornost ravnih panela od različitih prediva Kevlara

Predivo (oznaka)	Sadržaj smole (%)	Površinska gustina (kg/m²)	Debljina panela (mm)	V ₅₀ (m/s)
770	12	6,42 (12 slojeva)	5,8	532,6
		8,91 (18 slojeva)	7,9	629,7
777	12	6,00 (12 slojeva)	5,2	527,8
		6,50 (13 slojeva)	5,8	550,6
		9,00 (18 slojeva)	7,8	652,0
259	12	6,65 (15 slojeva)	6,0	597,0
		8,00 (18 slojeva)	6,9	653,0
		9,33 (21 sloj)	8,4	710,7
364	12	4,65 (20 slojeva)	4,3	522,6
		7,07 (30 slojeva)	6,4	637,6
		9,44 (40 slojeva)	8,5	730,0

na površinsku gustinu panela za četiri prediva, prema podacima iz tabele 1.

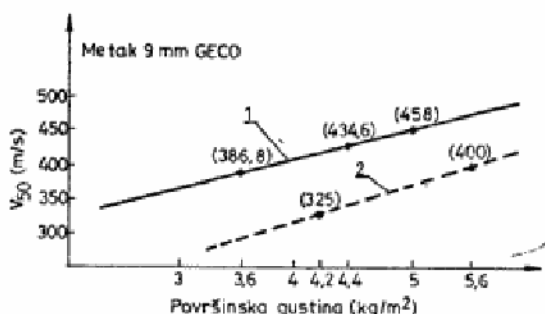
Pri jednakim balističkim performansama, upotrebom Kevlara oznake 777, može da se uštedi najmanje jedan sloj u poređenju sa predivom oznake 770. Pri jednakoj masi, predivo 777 omogućava dodatnih 20 m/s i 7% veću energiju apsorpcije. Kevlar prediva oznaka 259 i 364 omogućavaju dodatnih 60, odnosno 70 m/s povećanje energije apsorpcije za 20, odnosno 24% u odnosu na predivo oznake 770.

Druga generacija, nazvana Kevlar Ht, u upotrebi od 1988. godine namenjena je za proizvodnju lakših i fleksibilnijih balistički otpornih prsluka, koji imaju visok nivo zaštite. Novi Kevlar Ht (Kevlar 129) treba da zameni tradicionalni Kevlar 29.

Na slici 5 upoređene su balističke otpornosti novih Ht vlakana Kevlara 129 i 29. Rezultati ispitivanja su pokazali da za istu masu nova vlakna pružaju veću zaštitu.

Merenje brzine V_{50} pokazalo je otpornost prediva na penetraciju projektilom. Za ispitivanje je korišćeno

zrno 9 mm Parabellum GECO 8 g, zbog njegove sposobnosti penetracije i vrlo rasprostranjene upotrebe. Balistička obloga od Kevlara Ht varira u broju slojeva, kojih može biti 18, 22 ili 25. Svaka obloga odgovara površinskoj gustini 3,6; 4,4 i 5 g/m². Tokom ispitivanja, predivo je spojeno na plastelinski blok koji predstavlja telo, a smešten je 5 m iza cevi. Brzina zrna merena je na 2,5 m od cevi. Drugi parametri pri ispitivanju su temperatura okoline 20 °C i vlažnost 55 %. Kevlar 129 ima brzinu V_{50} pro-



Sl. 5 — Poređenje balističke otpornosti Kevlara

1 — Kevlar Ht 363, 2 — Kevlar 713

Tabela 2

Otpornost Kevlara Ht (Kevlar 129) na različite vrste balističke opasnosti

Balistička opasnost	Predivo Kevlar Ht 363	Penetracija (%)	Oštećenje (mm) (dubina/prečnik)
9 mm Geco (330 m/s)	18 slojeva 3,6 kg/m ²	23% 4 sloja	26,5/61,1
9 mm Geco (360 m/s)	22 sloja 4,4 kg/m ²	22% 5 slojeva	28,2/60,4
9 mm Geco (420 m/s)	25 slojeva 5 kg/m ²	33% 8 slojeva	26,8/68,3
.357 Magnum (420 m/s)	18 slojeva 3,6 kg/m ²	11% 2 sloja	31,5/71,6
.357 Magnum (417 m/s)	22 sloja 4,4 kg/m ²	14% 3 sloja	31,2/74,3
.44 Magnum (423 m/s)	25 slojeva 5 kg/m ²	16% 4 sloja	39,2/89,0

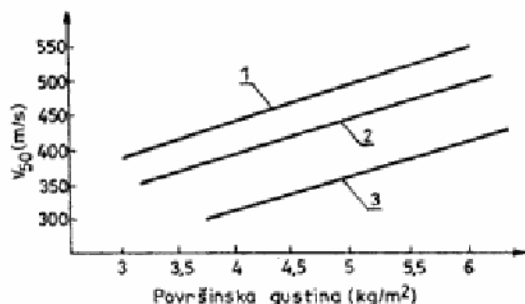
sečno za 33 % veću nego Kevlar 29, što je ekvivalentno 78 % većoj energiji apsorpcije.

U tabeli 2 navedene su otpornosti novog Kevlara 129 za 6 različitih slučajeva opasnosti.

Ispitivanje je izvršeno u istim uslovima kao i za merenje brzine V_{50} prikazano na slici 5.

U tabeli 2 prikazana je procentualna penetracija tog prediva, saglasno broju slojeva u balističkoj oblozi koji, kao i u prvom slučaju, varira od 18 do 25. Takođe, prikazana je dubina i prečnik rezultujuće povrede u plastelinskom bloku, koja prouzrokuje deformaciju zadnje površine. Deformacija pokazuje da na maloj površinskoj gustini pakovanja Kevlara 129 pružaju zaštitu od zrna 9 mm GECO pri brzinama od 330 do 420 m/s.

Kevlar Comfort, Ht i 29 upoređeni su za različite površinske gustine, od 3 do 6 kg/m², na balističku otpornost od zrna 9 mm GECO (slika 6).



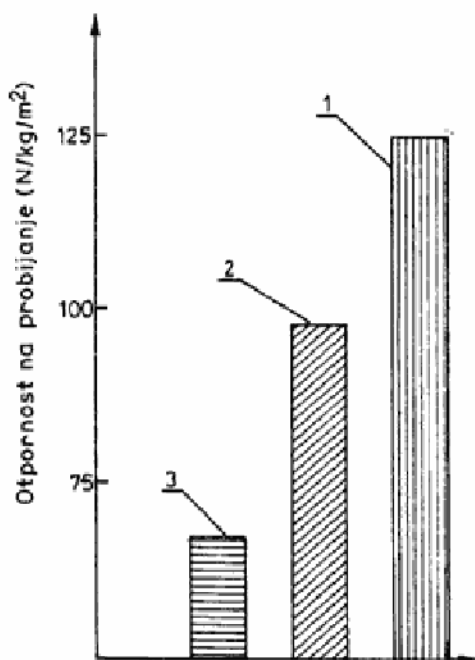
Sl. 6 — Poređenje otpornosti Kevlara na zrna 9 mm

1 — Kevlar Comfort, 2 — Kevlar Ht, 3 — Kevlar 29

Brzina V_{50} široko je prihvaćen parametar za određivanje otpornosti sistema. Kada je definisan optimum sistema (uglavnom saglasno odnosu V_{50} /masa), prsluci su izrađeni prema brzini V_0 , koja odgovara 0 % verovatnoći penetracije zrna.

Kevlar Comfort ima 10 % veću balističku otpornost u odnosu na Kevlar Ht a 35 % veću u odnosu na Kevlar 29, što omogućava da se projektuju lakši prsluci manje debljine i udobniji za nošenje.

Otpornost na probijanje Kevlara Comfort, Ht i 29 prikazana je na slici 7. Vidi se da Comfort ima specifičnu otpornost veću za 75 % od Kevlara 29 i za 27 % veću od Kevlara Ht.



Sl. 7 — Otpornost na probijanje Kevlara
1 — Kevlar Comfort, 2 — Kevlar Ht, 3 — Kevlar 29

Kontinualan razvoj rezultirao je pojavom serije vlakana Kevlar »Hx«, koja imaju bolja svojstva za neke specifične aplikacije. Poboljšanja su ekvivalentna zaštiti sa smanjenom masom ili boljoj zaštiti sa prslucima iste mase.

Izrađeni modeli prsluka imaju masu 2 do 3 kg i pružaju efikasnu zaštitu od municije pištolja, automata i pušaka malog kalibra.

Balistički prsluci izrađeni od Kevlara potvrđivali su vrlo visoke karakteristike u poslednjih 20 godina. Da bi sačuvao visok kvalitet proizvođač Du Pont uveo je programe kontrole kvaliteta, ne samo za Kevlar nego i za druge poznate proizvode, kao što su vlakna i organske matrice Nomex, Teflon, Tyvek, Typar, Cordura, Zembrain, i visoko otporni Nylon.

Kao najveći proizvođač vlakana na svetu, Du Pont je primenio sopstveni, vrlo efikasan sistem kontrole kvaliteta, koji pruža garanciju o visokom i postojanom kvalitetu proizvoda. ISO 9002 sertifikat obavezan je i čini jedan od nekoliko standarda koje ovaj proizvođač zadovoljava.

Zaključak

Potreba za novim materijalima i njihova primena u različitim proizvodima povećava se svakodnevno. Zahtevaju se ona svojstva koja omogućavaju dobijanje pouzdanih proizvoda i koja su bolja u odnosu na primenjene konvencionalne materijale. Keramike, vlakna, kompozitni ili ostali poznati, ali poboljšani materijali, menjaju svojstva prema zahtevima projektanata i konstruktora opreme, mašina i uređaja. Broj i namene konačnih proizvoda praktično su neiscrpni i njihov se asortiman stalno povećava.

Od vremena kada se pojavio, Kevlar predstavlja strateški materijal sa unikalnim svojstvima koja dosada ni-

su prevaziđena. Već oдавно predstavlja materijal nove naučno-tehnološke revolucije koji, primenom u različitim oblastima, znatno proširuje mogućnosti korišćenja novih materijala i tehnologija. Pošto je dobijen kao organsko polimerno vlakno, njegova svojstva vezana su za različite recepture. Međutim, njegova svojstva znatno više se koriste u obliku gotovih proizvoda, u različitim kombinacijama sa ostalim materijalima — metalima i keramikom.

Svojstva šlemova i prsluka izrađenih od Kevlara nema nijedna kombinacija materijala. Taj aspekt primene u vojsci ili policiji umnogome je doprineo poboljšanju svojstava Kevlara prve generacije. Danas se proizvodi druga generacija koja ima još bolja svojstva u odnosu na prvu. Pošto je zaštita lica koja su izložena dejstvu vatrenog oružja najviši nivo kojim se testira pouzdanost, sigurnost i bezbednost primene zaštitnih sredstava Kevlar je opravdao primenu.

Što se tiče zdravstvenog aspekta primene, laboratorije proizvođača Du Pont, kao i druge, ispitivanjima su ustanovile da ne postoji bilo kakva opasnost primene Kevlara po ljudsko zdravlje i okolinu u normalnoj komercijalnoj upotrebi. Dokazano je da ljudska koža pokazuje neznatnu osetljivost, ali ne pokazuje nikakve specifične toksične efekte, pa rad sa Kevlarom nije štetan, a njegova komercijalna upotreba je sigurna.

Literatura:

- [1] Meyrin ballistic testing range maintains leading edge of Kevlar, Du Pont Engineering Fibres, Geneva, 7, 1992.
- [2] The job needs protection, Du Pont Information, 9, 1992.
- [3] Kevlar H-shell: A new offer for light weight ballistic helmets, Du Pont, Geneva, 8, 1993.
- [4] Kevlar Comfort: The new Kevlar vest for superior ballistic protection, Du Pont, Geneva, 1, 1995.
- [5] Kevlar: More than just the best fibre for ballistic protection, Du Pont, Geneva, 3, 1995.

- [6] Introducing Kevlar Comfort AT: The anti-trauma with added ballistic resistance, Du Pont, Geneva, 3, 1995.
- [7] Kevlar: Protection you can wear, Du Pont, Geneva, 9, 1991.
- [8] Kevlar: Visible Performance, Invisible Strength, Du Pont, Geneva, 12, 1993.
- [9] Dress For Survival — Personal Body Armor (Facts Book), Du Pont, Geneva, 6, 1992.

Vladislav Miškovic,
major, dipl. inž.
Operativno-pozadinska
uprava GS VJ,
Beograd

PRIKLJUČIVANJE LASERSKIH ŠTAMPAČA IZ SERIJE »HP LASERJET« NA RAČUNARE »HONEYWELL«

UDC: 681.322.2.02

Rezime:

Opisano je tehničko rešenje za priključivanje laserskih štampača iz serije HP LaserJet, kao nestandardnih perifernih uređaja, na mini-računare firme Honeywell koji rade pod operativnim sistemima GCOS 6 i HVS.

Ključne reči: mini računari, laserski štampači, priključivanje.

CONNECTION OF HP LASERJET LASER PRINTERS WITH HONEYWELL COMPUTERS

Summary:

The paper describes the technical solution for the connection of HP LaserJet laser printers, as nonstandard peripherals, with Honeywell minicomputers which operate in GCOS 6 and HVS operating systems.

Key words: minicomputers, laser printers, connection.

Uvod

Na višim nivoima komandovanja tehnološkom osnovu informatičke podrške u Vojski Jugoslavije još uvek predstavljaju mini-računari starije generacije. Oni ne raspolažu grafički orijentisanim programskom podrškom i opremljeni su štampačima sa mehaničkim otiskom, koji su, uglavnom, starije proizvodnje i tehnologije.

Niska cena i prihvatljiv kvalitet personalnih računara, kao i atraktivnost primenjene softverske tehnologije (grafički interfejsi, kvalitetni softverski alati opšte namene) doveli su do opremanja mnogih jedinica i ustanova Vojske Jugoslavije personalnim računarima. Često je u opremu uklju-

čen bar jedan kvalitetan laserski štampač, obično iz familije HP LaserJet.

Kvalitet, brzina i lakoća izrade dokumenata i drugih materijala pripremljenih na personalnim i mini-računarima neuporedivi su, posebno za hvaljujući laserskim štampačima.

Osnovni motiv ovog rada je stvaranje uslova za upotrebu modernih laserskih štampača i na mini-računarima, zbog sledećih razloga:

— mnogi materijali se kreiraju i štampaju u okviru aplikacija razvijenih na mini-računarima firme Honeywell (Level 6, DPS 6, LRX, MRX), pod operativnim sistemima GCOS 6 i HVS;

— štamparski kvalitet ovih materijala slabiji je od onih koji se kreiraju na personalnim računarima i štam-

paju na laserskim štampačima iz serije HP LaserJet;

— postoje hardverska i softverska ograničenja u mogućnosti priključivanja perifernih uređaja na računare firme Honeywell, koja je definisao proizvođač u vreme kad je oprema projektovana, odnosno kupljena.

Rešenje problema

Štampače iz familije HP LaserJet moguće je priključiti na postojeće sisteme bez dodatnih investicija u hardver, ako se koristi serijski interfejs (RS 232), kojim su ovi štampači standardno opremljeni.

Pošto operativni sistemi GCOS 6/HVS nemaju specijalizovane sistemske drajvere za ove štampače, neophodno je prilagoditi neki od postojećih.

Pri tome je neophodno obezbediti:

— osmобitni prenos podataka računar — štampač;

— usklađenost sklopova i kodova naših znakova na računaru i štampaču, tako da se štampanje vrši bez stalnog prekidiranja;

— da se štampanje vrši na sličan način kao i na ostalim štampačima u sistemu, a da se uz to mogu iskoristiti i nove mogućnosti laserskih štampača.

Pokazalo se dovoljnim da se upotrebi postojeći drajver koji podržava komunikaciju sa asinhronim terminalima i matričnim štampačima (ATD¹⁾).

Prvi uslov obezbeđen je posebnom konfiguracijom linije na koju se štampač priključuje (ASD²⁾), drugi kreiranjem posebnih fontova (oblika i kodnih rasporeda slova) za štampače iz familije HP LaserJet, a treći uslov pisanjem odgovarajućeg programa za štampanje datoteka na ovim štampačima.

Konfiguracija linije

U komunikaciji se koristi protokol XON/XOFF, u konfiguraciji sa 8 bita za podatke, bez kontrole pariteta, uz brzinu prenosa 9600 bpi. Odgovarajuće direktive za sistemski konfigurator³ imaju oblik prikazan na slici 1.

Takozvani *control byte* XON/XOFF protokola se ne koristi.

Osim toga, neke neželjene specifičnosti Honeywellovog načina realizacije asinhronog protokola prevaziđene su intervencijom u dizajnu kreiranih fontova.

Konfigurisanje štampača

Štampač je, takođe, potrebno konfigurisati preko sopstvenog kontrolnog panela. Serijski interfejs treba da bude RS-232 na brzini od 9600 bps i da podržava komunikaciju po XON/XOFF protokolu. Bira se i odgovarajući sklop simbola (SYMBOL SET), koji je posebno pogodan za ove potrebe.

```
ASD 1rn,level,x'cccc',0,9600
```

```
DEVICE ATDnn,1rn,level,x'cccc','LASER',512,N,,,ROP
```

```
STTY LASER -DSW1 4300 -DSW2 E2F2 -LL 16300
```

(1rn, level, cccc i nn su sistemski parametri).

Sl. 1 — Konfigurisanje komunikacione linije

¹⁾ ATD — Asynchronous Terminal Device driver.

²⁾ ASD — Asynchronous Stream Device driver.

³⁾ Direktive su u datoteci CLM-USER (CLM — Configuration Load Manager).

PRL [datoteke] [argumenti]

gde argumenti mogu biti:

-FONT <i>FontId</i>	/font u kome se štampa tekst
-LL <i>n</i>	/najveća dužina linije (<i>n</i> znakova)
-LP <i>n</i>	/broj linija po stranici (<i>n</i> redova)
-P[OTRAIT] -L[LANDSCAPE]	/štampa po dužini ili širini papira
-CP <i>n</i>	/štampanje <i>n</i> dodatnih kopija teksta
-MF -MULTIFONT	/štampa se u više fontova istovremeno
-LOAD	/punjenje fontova u memoriju štampača

Sl. 2 — Sintaksa komande PRL

Priključivanje štampača

Štampač se priključuje na terminalsku liniju računara korišćenjem postojećeg kabla i konektora, koji služi za priključivanje terminala i matičnih štampača.

Upotreba štampača

Pošto opisana konfiguracija komunikacione linije onemogućava normalno korišćenje sistemskih komandi za štampanje datoteka (PR i DP), ne-

ophodno je bilo napisati novi program, koji će omogućiti štampanje datoteka na laserskom štampaču na veoma sličan način kao i na svim ostalim štampačima u sistemu.

Program je nazvan PRL i, osim mnemonika, ima slične argumente kao i postojeća sistemskom komanda PR, ali i neke nove, radi boljeg iskorišćenja mogućnosti nove periferije. Sintaksa nove komande prikazana je na slici 2.

Pre štampanja potrebno je odgovarajuće fontove napuniti u memoriju štampača, takođe programom PRL, u obliku

Courier Normal	- 6 tačaka (Portrait i Landscape)
Courier Normal	- 8 tačaka (Portrait i Landscape)
Courier Normal	- 10 tačaka (Portrait i Landscape)
Courier Normal	- 12 tačaka (Portrait i Landscape)
Courier Bold	- 6 tačaka (Portrait i Landscape)
Courier Bold	- 8 tačaka (Portrait i Landscape)
Courier Bold	- 10 tačaka (Portrait i Landscape)
Courier Bold	- 12 tačaka (Portrait i Landscape)
Courier Italic	- 6 tačaka (Portrait i Landscape)
Courier Italic	- 8 tačaka (Portrait i Landscape)
Courier Italic	- 10 tačaka (Portrait i Landscape)
Courier Italic	- 12 tačaka (Portrait i Landscape)

Sl. 3 — Varijante i veličine slova

Napunjeni fontovi ostaju u memoriji štampača sve do isključenja napajanja ili do punjenja nekih drugih fontova sa istom identifikacijom (parametar fonta *FontID*).

U prvoj verziji programa isporučuju se samo fontovi iz familije Courier⁴ i to u varijantama *Normal* (uspravna), *Bold* (masna) i *Italic* (kosa) i veličinama od 6, 8, 10 i 12 tačaka⁵, što je prikazano na slici 3.

Zaključak

Priključenje perifernog uređaja na »zatvorene sisteme« (sisteme koje proizvodi samo jedan proizvođač) pre-

dstavlja veliki problem kad proizvođač ne nudi gotovo sistemsko rešenje. Intervencije u operativnom sistemu uslovljene su raspoloživošću razvojne dokumentacije proizvođača, zahtevaju veliko znanje i trud, a kompatibilnost sa novim verzijama sistemskog softvera ne može se obezbediti.

Opisano rešenje nema ove nedostatke, jer je realizovano standardnim komponentama operativnog sistema i programom koji nema sistemske privilegije ni posebne zahteve prema operativnom sistemu.

Na taj način povećava se iskoristivost postojećih modernih štampača i podiže nivo kvaliteta štampanih materijala na viši nivo, praktično bez dodatnih ulaganja u hardver i softver za spajanje.

Literatura:

- [1] DPS 6 GCOS 6 MOD 400 System Programmer's Guide — Volume II, Honeywell Information Systems Inc., 1984.
- [2] DPS6 GCOS 6 MOD 400 System Building and Administration Honeywell Information Systems Inc., 1984.
- [3] Publisher's Type Foundry, Z-Soft Corporation, Atlanta, 1990.
- [4] HP LaserJet III Printer User's Manual, Hewlett-Packard Company, 1990.
- [5] HP LaserJet 4 and 4M Printers User's Manual, Hewlett-Packard Company, 1992.

⁴ Familija neproporcionalnih latiničnih fontova (sva slova su iste širine).

⁵ Jedna tačka — dot — predstavlja visinu slova s proredom od 1/72 inča.

ODREĐIVANJE TEHNIČKOG STANJA (DEFEKTACIJA) MAŠINSKIH ELEMENATA

UDC: 62-7.004

Rezime:

Defektacija mašinskih elemenata i sistema izuzetno je značajna remontno-regeneracijska operacija, na osnovu čijih rezultata se preduzimaju odgovarajući postupci regeneracije ili opravke. U radu su prikazani aktuelni metodi defektacije, kako direktni (tehničkim merenjima), tako i indirektni. Ukratko su date njihove najvažnije karakteristike, prednosti i nedostaci.

Ključne reči: mašinski elementi, tehničko stanje, metodi defektacije.

DETERMINATION OF MACHINE PARTS TECHNICAL STATE (DIAGNOSTIC CHECKING)

Summary:

Diagnostic checking of machine parts and systems is a very important overhaul and regeneration operation; based on its results appropriate regeneration or repair procedures are carried out. The up-to-date diagnostic methods are presented, direct (using technical measurements) as well as indirect ones. The brief survey of their most important characteristics, advantages and disadvantages is given as well.

Key words: machine parts, technical state, diagnostic methods.

Uvod

Cilj predremontne defektacije mehanizama i mašina jeste određivanje kategorije remonta, što je neophodno da bi se odredilo vreme izlaska mašine iz eksploatacije, ili tzv. vreme za-
stoja.

U tehničkim uslovima, koje daje proizvođač ili remontno preduzeće, treba navesti eventualna oštećenja, koja se mogu sresti na konkretnom elementu, metode njihovog otkrivanja, kontrolno-merne instrumente, nominalne, dopuštene i granične zazor i preklape, remontne mere, zaključke na osnovu rezultata defektacije i drugo.

U procesu defektacije mašinski elementi se kategorišu na ispravne — vraćaju se u eksploataciju bez remonta, one koji zahtevaju remont (opravku na sredstvu ili regeneraciju) i one koji se odbacuju. Pri kontroli i defektaciji ne preporučuje se odbacivanje elemenata čije habanje ne prelazi dopušteno.

Osnovni uslov pravilne organizacije kontrole i defektacije elemenata jeste brižljivo izučavanje tehničkih uslova defektacije i dodatne mogućnosti ponovnog korišćenja elemenata, uzimajući u obzir uslove rada. Uzroci odbacivanja pohabanih mašinskih elemenata su raznovrsni i određeni osno-

vnim konstrukciono-tehnološkim kvalitativnim i ekonomskim razlozima.

Konstrukcioni faktor karakteriše se time što su granične promene dimenzija elemenata određene njihovom čvrstoćom ili konstrukcionom promenom veze (sprege). Tako, kod nekih kolenastih vratila, smanjenje dimenzija (prečnika) njihovih rukavaca, izvan izvesne granice, može se pokazati nedozvoljenim zbog smanjenja konstrukcione čvrstoće ili nedozvoljenog povećanja debljine polutki ležaja.

Tehnološki faktor dolazi do izražaja kada se granična promena dimenzija mašinskog elementa ograničava nezadovoljavajućim eksploatacionim korišćenjem sklopa ili agregata. Na primer, habanje pumpnih klipova ili zupčanika ne obezbeđuje sabijanje goriva ili ulja do potrebnog pritiska.

Kvalitativni faktor postaje uzrok odbacivanja kada promena geometrijskog oblika elementa, usled habanja, pogoršava rad mehanizma ili mašine, na primer, habanje reznog alata na mašinama alatkama, habanje raonika pluga i slično.

Ekonomski faktor preovlađuje u slučaju kada je dozvoljeno smanjenje dimenzija elemenata ograničeno smanjenjem produktivnosti mašine, povećanjem gubitka snage zbog trenja u mehanizmima, povećanjem rashoda toplote, povećanom potrošnjom sredstava za podmazivanje i slično. Na primer, habanje klipnih prstenova utiče na povećanje potrošnje ulja za podmazivanje motora SUS; habanje raspršivača brizgaljki dovodi do povećanja potrošnje goriva i drugo. Sve to se odražava na cenu izvršenih radova.

Pod pojmom *defektacije* podrazumeva se izvršavanje niza tehnoloških operacija čiji je cilj donošenje odluke o ispravnosti, potrebi opravke i regeneracije ili odbacivanju mašinskih elemenata, sklopova ili agregata, koji pripadaju mašinskom sistemu koji se remontuje.

Mašinski elementi koji se podvrgavaju defektaciji moraju biti dobro oprani i osušeni, očišćeni od masnoća, gareži, kamenca, starih zaštitnih prevlaka i drugih nečistoća. Pre svega, proveravaju se ishabanost i drugi oblici neispravnosti zbog kojih se elementi najčešće odbacuju. Ukoliko se na mašinskom elementu uoče takve neispravnosti ostala oštećenja se ne proveravaju.

Najsloženije je otkrivanje prikrivenih oštećenja (malih pukotina, unutrašnjih šupljina i slično).

Ove probleme je veoma teško rešiti samo na osnovu tehničkog merenja. Zato se primenjuju indirektni metodi defektacije i ocene rada mašina i mehanizama, što predstavlja važnu dopunu metoda tehničkog merenja. Indirektni metodi ocene tehničkog stanja mehanizama i mašina vezani su za korišćenje savremenih pribora i uređaja, koji omogućavaju da se izvrše ispitivanja sa visokom tačnošću i velikom brzinom, bez rasklapanja i povlačenja mašine iz eksploatacije.

Kvalitativno stanje mašinskih elemenata može se utvrditi hidrauličkim, pneumatskim, vibroakustičnim metodima, metodima ispitivanja bez razaranja (fizičkim metodima defektoskopije), merenjem dimenzija i proverom geometrijskih oblika, kao i proverom sprežanja i laboratorijskim ispitivanjima. Često se, na osnovu boje mašinskih elemenata i sklopova, može odrediti njihovo trenutno stanje. Takođe, čulo mirisa se neretko koristi za kvalitativnu ocenu stanja, jer je gotovo nemoguće kvantitativno merenje mirisa.

Defektacija ispitivanjem primenjuje se na mašinskim elementima kod kojih, u eksploatacionim uslovima (usled zamora i dejstva toplotnih, hemijskih, mehaničkih, električnih i drugih uticaja), može doći do strukturnih i drugih promena materijala. Ocenjena ispravnosti ovih elemenata obavlja se na osnovu rezultata laboratorijskih

ispitivanja, kao što su ispitivanja hemijskog sastava i mehaničkih karakteristika, metalografska i defektoskopska ispitivanja.

Hidraulički, pneumatski i vibroakustični metodi defekcije

Hidraulički metod primenjuje se za otkrivanje oštećenja u mašinskim elementima tipa kućišta (blok i glava motora, usisne i izduvne cevi i slično). U tom slučaju koriste se univerzalni ili specijalni uređaji za ispitivanje.

Pri postavljanju mašinskog elementa na uređaj za ispitivanje svi otvori na elementu se zatvaraju tehnološkim poklopcima, čepovima i zaptivačima. Pumpom se voda dovodi u unutrašnjost elementa pod određenim pritiskom (oko 0,5 MPa), i zadržava 5 minuta. Pošto je pritisak, koji se kontroliše manometrom, konstantan a voda ne curi potvrđuje se da u elementu nema pukotina.

Pneumatski metod koristi se pri otkrivanju oštećenja na grejnim telima, gorivim kotlovima, pneumaticima i drugim mašinskim elementima. Vazduh pod pritiskom od 0,05 do 0,1 MPa dovodi se u unutrašnjost kontrolisanog elementa, koji je prethodno potopljen u kadu s vodom. Mehurići vazduha koji se pojavljuju pokazuju mesta oštećenja (pukotine). Ukoliko su dimenzije elemenata (na primer, kotao) tolike da ne omogućuju njegovo potapanje u kadu s vodom, primenjuje se sapunski rastvor koji se nanosi na spoljašnje površine kontrolisanog elementa. Ukoliko je hermetičnost narušena, na mestima oštećenja pojavljuju se mehurići sapunskog rastvora.

Vibroakustični metod primenjuje se pri određivanju ispravnosti rada motora, mašina, mehanizama i prenosnika u sklopu. Koliko je stvaranje zvuka pri radu mašinskog sistema neprijatna pojava, toliko ona predstavlja

važan pokazatelj stanja tog sistema. Do akustičkih oscilacija i vibracija često dolazi istovremeno. Zvučne oscilacije mogu se konstatovati uhom, a vibracije dodirom. Intenzitet i frekvencija šuma sigurni su pokazatelji kvaliteta mašina i mehanizama, a naročito prenosnika snage. Ocenjuju se prema zvučnom pritisku i nivou šuma. Ovo ocenjivanje omogućavaju merači intenziteta šuma, analizatori i spektrometri zvučnih frekvencija i drugi uređaji. Da bi se kvalitetno izvršila kontrola ovim metodom, neophodno je ispitivanu mašinu ili mehanizam postaviti u betonsku zvučnoizolacionu komoru i učvrstiti je na gumenim podmetačima. Tako, na primer, pojačana šumnost u radu zupčastog prenosnika siguran je pokazatelj nepravilnosti sprežanja ili oštećenja zupčanika koji se nalaze u sprezi. Ovim metodom često se ocenjuje stanje kliznih ležajeva, zglobnih prenosnika i drugih elemenata. Šumovi su najčešće nečujni za ljudsko uho, po se koriste tzv. tehnički elektronski stetoscopi. Šumovi niskog intenziteta mogu se pojačati radi lakšeg otkrivanja, a neželjeni zvuci mogu se utišati održavanjem zvuka do jedva čujnih tonova.

Vibracije se registruju analognim putem — pretvaranjem mehaničkih pomeranja u analogne električne signale.

Fizički metodi defektoskopije

Niz unutrašnjih oštećenja mašinskih elemenata ne može se otkriti posredstvom tehničkog merenja niti pomoću navedenih indirektnih metoda ocene tehničkog stanja mašina i mehanizama u sklopu. Zbog toga široku primenu imaju vizuelni i fizički metodi defektoskopije. Metodi defektoskopije (kontrole bez razaranja) zasnivaju se na fizičkim karakteristikama materijala koji se ispituje, a uključuju razradu tehnologije defekcije grešaka i procene uticaja grešaka na kva-

litet materijala elemenata mašinskih sistema. Pri korišćenju ovih metoda ne zahteva se potpuno demontiranje mehanizma. To je jedan od razloga što ove metode ne treba prenebreći pri indirektnom ocenjivanju tehničkog stanja mašina i mehanizama. Konstrukcija većine savremenih mehanizama podrazumeva mogućnost vizuelnog ili sličnih metoda defektoskopije njegovih sklopova. Važnu ulogu metodi defektoskopije imaju i pri kontroli remontovanih mehanizama i njihovih elemenata.

Vizuelni metod

Vizuelni metod sastoji se u posmatranju mašinskih elemenata golim okom ili uz pomoć optičkih pribora. Pri tome posebnu pažnju treba posvetiti površinama mašinskih elemenata koje se nalaze u zonama visokih toplotnih i mehaničkih opterećenja, a i u zonama koncentracije napona. Tako se, na primer, kod cementiranih i kaljenih zupčanika (koji poseduju veliku tvrdoću, $HRC \geq 35$) proverava prisustvo pukotina i odloma zubaca, a i nedozvoljeno krunjenje površinskog sloja radnih delova zubaca. Pri defektoskopiji novih mašinskih elemenata treba obratiti posebnu pažnju na mesta koja se nalaze u zoni mogućih lunjera i nekoherentnosti (nehomogenosti) polufabrikata.

Za vizuelno posmatranje nepristupačnih mesta, bez demontaže, koriste se endoskopi (u literaturi se nazivaju još i boroskopi, fibreskopi, beriskopi i slično). Naročito su pogodni za posmatranje ozubljenja u prenosnicima, sudova pod pritiskom i slično. To su tanki, cevasti, optički instrumenti koji omogućavaju kontrolu unutrašnjosti mašinskih sistema i elemenata, naročito kada u njima vlada veliki pritisak. Postoje dve vrste endoskopa:

- kruti, koji se primenjuju kada je lak pristup ispitivanom mestu,
- fleksibilni, koji se koriste kada je prilaz ispitivanom mestu otežan.

Pukotine koje se ne mogu uočiti vizuelnom metodom mogu biti otkrivene pomoću kerozinske probe. Radi sprovođenja ove probe mašinski element, koji se proverava, potapa se u kerozin na 20 do 30 minuta. Nakon toga suši se komprimovanim vazduhom, a pukotine se otkrivaju prema pojavi kerozina iz njih.

Magnetni metodi (fero fluks)

Magnetni metodi zasnovani su na različitoj magnetnoj prodornosti u metalu na neoštećenom i oštećenom mašinskom elementu. Omogućavaju određivanje površinskih oštećenja (otkrivanje površinskih pukotina i nemetalnih uključaka) feromagnetnih materijala veličine do 0,04 mm. Pri ispitivanju mašinski element se namagnetise, posle čega se mesto koje se proverava poliva kerozinom u kome lebdi sitan železni prah (mokri postupak) ili se posipa magnetnim prahom (suvi postupak). Čestice železnog praha uglavnom se koncentrišu po krajevima pukotina, koje usled namagnetisanja elementa postaju polovi stalnog magneta. Nakon sleganja praha na površini elementa biće očigledne tamne linije čija je širina 50 do 100 puta veća od pukotine. Za uspešnu primenu metoda nanošenjem praha neophodno je da proveravani materijal mora biti feromagnetan, a moguća oštećenja se ne smeju prostirati duž magnetnih linija. Nanošenje magnetnog praha, ili kerozinske smeše, može se obavljati u prisustvu magnetnog polja (kontrola u priključenom polju), i posle prekida dejstva magnetnog polja (kontrola na zaostalom namagnetisanju). Prvi način kontrole je primenljiv pri otkrivanju unutrašnjih oštećenja elementa, i obavezan je pri nepoznatim magnetnim karakteristikama materijala elementa. Kontrola na zaostalom namagnetisanju primenjuje se za otkrivanje površinskih pukotina na manjim mašinskim elementima, izra-

đenim od visokougleničnih i legiranih čelika. U poređenju sa prvim načinom kontrole produktivniji je i podjedniji. Pri korišćenju mokrog postupka moguće je i potapanje elementa na nekoliko sekundi u kadu sa kerozinskom smešom.

Za otkrivanje pukotina (oštećenja) različitog smera (poprečnih, uzdužnih ili pod uglom) primenjuju se različiti metodi namagnetisavanja defektiranog mašinskog elementa. Najčešće se koristi polarno, cirkulaciono i kombinovano namagnetisavanje.

Pri polarnom namagnetisavanju ispitivani element ima ulogu jezgra, koje se postavlja unutar omotača, kroz koji se propušta jednosmerna ili naizmenična električna struja (slika 1 a i 1 b). Linije magnetnih sila usmerene su duž elemenata i omogućavaju otkrivanje poprečnih i kosih pukotina.

Pri cirkulacionom namagnetisavanju jednosmerna ili naizmenična električna struja velike jačine (2000 do 3000 A) propušta se neposredno kroz ispitivani elemenat (slika 1 c i 1 d). Pri tom nastaju kružne, koncentrične linije sila, koje omogućavaju uočavanje svih pukotina, izuzev upravno rasprostranjenih. Pri ovom metodu u ispitivanom elementu ne nastaju jasno izraženi magnetni polovi i ne treba ga razmagnetisati posle defektacije. Pri cirkulacionom namagnetisavanju struja se određuje približno iz sledećih odnosa:

— pri kontroli u magnetnom polju:

$$I = (6 \text{ do } 8) D,$$

— pri kontroli na zaostalom namagnetisanju:

$$I = (17 \text{ do } 20) D,$$

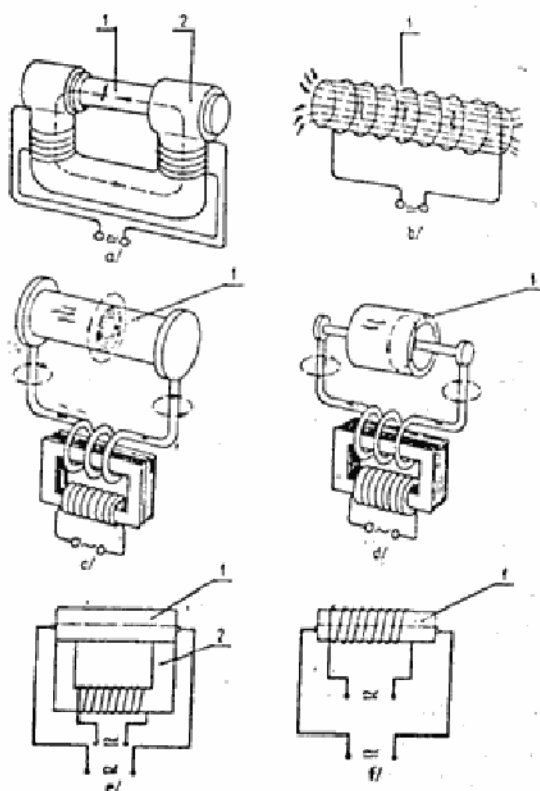
gde je:

I — struja koja stvara odgovarajući intenzitet magnetnog polja (A),

D — prečnik ispitivanog elementa (mm).

Kombinovano namagnetisavanje elemenata postiže se istovremenom primenom polarnog i cirkulacionog postupka. Pri tome, kao rezultat slaganja dva magnetna polja, magnetne linije rezultujućeg polja imaće smer po spirali (slika 1 e i 1 f). Ono omogućava otkrivanje oštećenja bilo kog smera.

Najčešće se koristi elektromagnet sa otvorenim jezgrom, čije bazno rastojanje odgovara konstrukcionim dimenzijama ispitivanog elementa ili ispitivanog dela površine elementa. Posle defektacije elemenat treba obavetiti da se razmagnetise da ne bi privlačio male metalne čestice. Razmagnetisavanje se obavlja postepenim smanjenjem parametara magnetnog polja i promenom polariteta jedno-



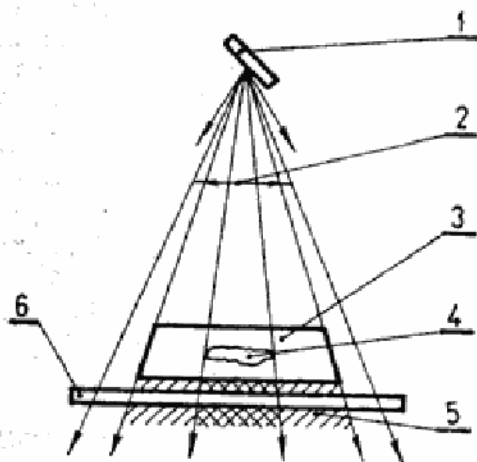
Sl. 1 — Šema namagnetisavanja elemenata
a, b — polarno, c, d — cirkulaciono, e, f — kombinovano, 1 — ispitivani elemenat koji se magnetise, 2 — elektromagnet

smerne struje uz obaveznu proveru feromagnetnim prahom. U remontnim preduzećima za ovaj metod defektoskopije najčešće se koriste univerzalni magnetni defektoskopi.

Magnetni metod može se koristiti pri defektaciji velikih konstrukcija koje se ne moraju demontirati. Prednost ovog metoda je u osetljivosti i jednostavnoj primeni, a nedostatak je što se koristi samo za defektaciju elemenata od feromagnetnih materijala (čelik, liveno gvožđe). Za defektaciju mašinskih elemenata, izrađenih od obojenih metala, primenjuju se drugi metodi.

Metod prosvetljivanja (radioskopije)

Metod prosvetljivanja zasnovan je na karakteristici rendgenskih i γ -zraka da prolaze kroz neprozračno telo. Pri prolasku kroz metal zraci neznatno gube na intenzitetu ako na svom putu nailaze na praznine kontrolisanog elementa u vidu pukotina, lunkera i šupljina, a gube svoj intenzitet ukoliko na svom putu ne nailaze na ta oštećenja. Na slici 2 šematski je prikazan metod rendgenodefektoskopije prosvetljivanjem ispitivanog elementa rendgenskim zracima.



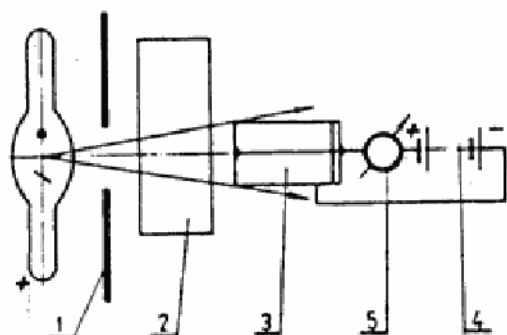
Sl. 2 — Metod prosvetljivanja rendgenskim zracima

Ukoliko se, na primer, kroz zavareni šav propusti snop rendgenskih zraka, a sa druge strane postavi fotografska ploča, na njoj će se jasno pokazati sva unutrašnja oštećenja šava u vidu crnih tačaka i mrlja (uključci) i traka (pukotine, nezavarenost). To se objašnjava time što gasni uključci, šljaka, pukotine i nezavareni spojevi slabije apsorbuju rendgenske zrake. Rendgenskim zracima moguće je otkriti oštećenja čije dimenzije u smeru rasprostiranja zraka čine više od 1,5% debljine prosvetljenog elementa.

Metod radioskopije γ -zracima (gamagrafija) danas ima veliku primenu. Ampula sa radioaktivnim izotopom postavlja se prema šemi rendgeno-prosvetljivanja, a intenzitet zraka, koji prolaze kroz ispitivani element, fiksira se na fototraci. Za razliku od rendgenskih zraka γ -zranci se odlikuju većom prodornošću. To im omogućava primenu za prosvetljivanje metala znatno veće debljine (preko 300 mm). Gama zračenje, za razliku od rendgenskog, nastaje spontanom radijacionom emisijom posebnih materijala: prirodnih (radijum, radon, mezotorijum) ili veštačkih (veštački radioizotopi). U industrijskoj gamagrafiji najveću primenu su našli sledeći izotopi: iridijum (Ir 192) — za prozračivanje tankih uzoraka, debljine do 20 mm; cezijum (Cz 137) i kobalt (Co 60) — za prozračivanje debelih uzoraka. Ovi elementi emituju γ -zrake stalne talasne dužine, koji su karakteristični za svaki radioelement. Veštački radioizotopi, zbog svoje niske cene, omogućavaju masovnu primenu u defektoskopiji. Radioskopskom metodom γ -zracima mogu se otkriti oštećenja u smeru rasprostiranja zraka, čije dimenzije čine više od 5% debljine prosvetljenog metala u smeru upravnom na zrake. Najjasnije se, pri tom, otkrivaju oštećenja čije su dimenzije veće od 0,4 mm. Za skraćivanje vremena prosvetljivanja velikih elemenata primenjuju se pojačivački ekрани.

Jonizacioni metod defektoskopije prosvetljivanjem zasnovan je na jonizaciji gasa pri njegovom prolasku kroz rendgenske zrake. Ukoliko se na putu zraka ka jonizacionoj komori postavi kontrolisani elemenat u zavisnosti od gustine materijala, odnosno od postojanja oštećenja u njemu, promeniće se i energija zračenja, a zatim i intenzitet jonizacione struje. Na slici 3 data je šema uređaja za defektaciju jonizacionim metodom. Snop zraka na rendgenske cevi pada na ispiti-vani element kroz otvor u membrani 1 i dalje na jonizacionu komoru 3. Napajanje komore vrši se sa izvora elektroenergije 4, a intenzitet jonizacione struje meri se ampermetrom 5.

Primena ovog metoda daje tačnije rezultate nego korišćenje fotograf-skog ili vizuelnog metoda. Pored toga, kod ovog metoda ne troše se fotograf-ski materijali i moguća je automati-zacija kontrole. Nedostatak metoda je nepreglednost, jer isti električni efekat može biti dobijen od različitih faktora. Osim toga, potrebno je mnogo vremena za »obilaženje« velikih elemenata malom jonizacionom komo-rom.



Sl. 3 — Jonizacioni metod defektoskopije

Luminiscentni metod

Luminiscentni metod defektosko-pije zasniva se na pojavi kapilarnog prodiranja tečnosti u uske pukotine i procepe (penetracija) i fluoroscenci-ji. Ispitivani elemenat se prvo pota-

pa u kadu sa benzinom radi čišćenja površina, a elementi velikih gabarita se prebrišu benzinom ili acetonom. Za-tim se elementi potapaju u luminofor koji se obično zagreva do temperatu-re od 80°C. Na velike delove lumino-for nanosi se četkom. Posle toga ele-menat se drži na vazduhu 10 do 15 minuta da bi luminofor mogao popu-niti oštećenja na površini, uključuju-ći i mikropukotine. Zatim se, trlja-njem ili pranjem, uklanja sa površine elementa i svih neravnina (uključuju-ći i ogrebotine), ali ostaje u pukotina-ma zbog kapilarnih sila. Ako je vi-šak fluorescentnog luminofora opran vodom elemenat se suši na struji va-zduha zagrejanog 50 do 60°C. Ta-kvo zagrevanje, pored uklanjanja vode, pogoduje izlasku luminofora iz pukotina na površinu elementa i nje-govom delimičnom rasprostiranjju po krajevima pukotine. Elemenat pripremljen na taj način posmatra se u za-tamnjenoj prostoriji, osvetljen ultra-violetnim zracima. Jarko žutozeleno ili zelenoplavo svetlo daje jasnu svetlos-nu sliku položaja pukotina na tamnoj površini elementa.

Luminiscentni metod omogućava određivanje i dubine oštećenja. Ona se orijentaciono određuje prema ši-rini fluorescentne zone, koja je pribli-žno 10 puta veća od dubine. Za otkri-vanje prolaznih pukotina, fluorescent-nim materijalom se prekriva unutrašnja površina elementa, a on se osve-tljava pobudnim svetlom sa spoljne strane. Za spravljanje luminiscentnih materijala mogu se primeniti desti-lovana voda, kerozin, transformator-sko ulje i drugo. Od njih se zahteva rastvorljivost u tečnosti, velika moć natapanja (sposobnost prodiranja u kapilare), mogućnost ispiranja i ja-ka luminiscencija. Za dobijanje pobu-dnog ultravioletnog zračenja najčešće se koriste živino-kvarcne lampe.

Prednost ovog metoda je u mogu-ćnosti kontrole elemenata bilo kog oblika i konfiguracije, izrađenih od bi-lo kog materijala. Pri tom nije bitan

položaj površinskih oštećenja (nije moguće otkriti unutrašnja oštećenja). Ovim metodom moguće je kontrolisati instrumente čiji su elementi izrađeni od poroznih i plastičnih materijala. Efektivnost luminiscentnog metoda zavisi od vrste primenjenog luminafora, debljine njegovog sloja, sposobnosti prodiranja u šupljinu oštećenja, vrste i snage izvora zračenja.

Ultrazvučni metod

Ultrazvučni talasi javljaju se kao posledica elastičnih oscilacija prouzrokovanih naizmeničnim električnim poljem (piezoelektrični efekat), a zbog malih talasnih dužina prostiru se pravolinijski i podređeni su osnovnim zakonima optike. Oni mogu imati veliku dubinu prodiranja (do 10 metara) i veliku brzinu (do 6000 m/s), a odbijaju se od različitih nehomogenosti. Ultrazvučna defektoskopija može se ostvariti metodom zvučne senke i impulsnim eho-metodom.

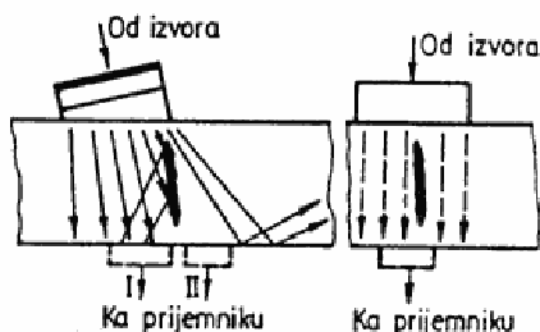
Kod metoda zvučne senke izvor zračenja upućuje ultrazvučne oscilacije na ispitivani elemenat (slika 4). Pri nepostojanju oštećenja ultrazvuk prolazi kroz ispitivani elemenat, a registruje ga prijemni uređaj. Ukoliko se na putu ultrazvučnih oscilacija pojave oštećenja (šupljine, lunke, pukotine i slično), to se kod prijemnog uređaja javlja zvučna »senka«. Prema ra-

spostiranju zvučne senke određuje se veličina i položaj defekta. Odsustvo ili znatno slabljenje signala na prijemnom uređaju znak je da u elementu postoji oštećenje. Na mogućnost defektacije ovim metodom znatno utiču veličina oštećenja, dužina ultrazvučnih talasa i raspored oštećenja u odnosu na smer talasa. Ukoliko se prijemnik nalazi u položaju I, talasi padaju na njega i na indikatoru se pojavljuje signal. Međutim, ukoliko je u položaju II (u senci), na indikatoru neće biti signala.

Impulsni eho-metod češće se primenjuje a njegov princip prikazan je na slici 5. Generator visokofrekventnih impulsa 1 kratkovremeno napada predajnu ploču 12, koja emituje ultrazvučne talase. Talasi odbijeni od oštećenja 14 ispitivanog elementa 11, padaju na prijemnu ploču 13, a zatim na pojačivač 2 i na ekran oscilografa 8, gde nastaje signal oštećenja. Na ekranu 8, uz pomoć ispitnog uređaja 10 i otklonskih elektroda 5 i 3 stvara se pogodnost za kontrolu i opisivanje talasa: donjeg 7, početnog 4 i impulsa od oštećenja 6. Defektoskop se napaja iz bloka 9.

Početni signal (A), na ekranu oscilografa impulsnog defektoskopa, obrazuje se pri odbijanju ultrazvučnih talasa od gornje površine ispitivanog elementa. Deo ultrazvučnih talasa, koji prodiru kroz kontrolisani element i odbijaju se od njegove suprotne strane, padaju na prijemnu ploču, izazivajući pojavu donjeg signala (B). Oštećenje izaziva signal (C). U zavisnosti od elementa ili sklopa koji se kontroliše, ultrazvučni talasi mogu se usmeriti upravno na površinu kontrolisanog elementa ili pod ostrim uglom.

Za remontne potrebe koriste se usavršeni ultrazvučni defektoskopi koji omogućavaju kontrolu elemenata metodom impulsnih signala i »prozvučivanja« (zvučne senke). Maksimalna dubina prozvučivanja za čelične elemente je 2600 mm za ravne prijemne ploče, i 1300 mm za prizmatične elemente.



SL. 4 — Šema metoda senke ultrazvučne defektoskopije

Metod defektoskopije mašinskih elemenata korišćenjem ultrazvuka primenjuje se pri defektaciji vratila, zupčanika, zavarenih spojeva, varova na cevovodima i sudovima pod pritiskom, za merenje debljine zidova podložnih koroziji i drugo.

Ultrazvučna defektoskopija ima sledeće prednosti: ispitivani element se ne razara, ultrazvuk ne utiče na karakteristike materijala, ne zahteva se prethodna priprema elementa koji se kontroliše, jednostavno je otkrivanje i zapisivanje neispravnosti, ne zahteva se strogo pridržavanje složenih mera zaštite kao pri rendgenografiji i γ -zračenju.

Nedostatak ultrazvučnih metoda defektoskopije jeste što površina elementa na mestu postavljanja ispitne glave mora biti visokokvalitetno obrađena. U protivnom neće biti dovoljno akustičnog kontakta između površina ispitne glave i ispitivanog mašinskog elementa.

menta (naročito primenom jednosmerne struje), a ispitivanja se mogu brže sprovesti nego drugim metodima. To se posebno odnosi na duža vrtila, cevi i šine.

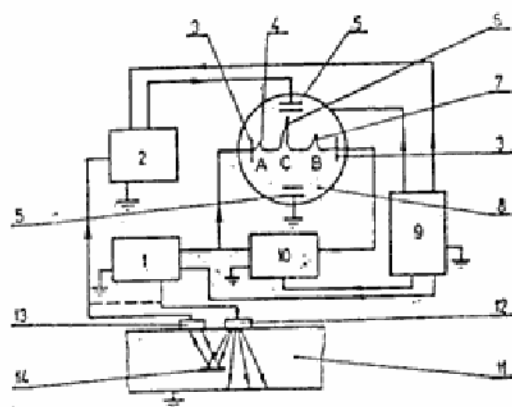
Defektacija tehničkim merenjima

Tehnička merenja mašinskih elemenata i sklopova obavljaju se radi određivanja pravilnosti njihovog geometrijskog oblika, odstupanja dimenzija od dozvoljenih, veličine habanja i odstupanja od zahtevanih mehaničkih karakteristika.

Za defektaciju ovim metodom koriste se merni i kontrolni instrumenti, pribori i uređaji. Oni omogućavaju određivanje dimenzija elemenata i odstupanja ili ukazuju na postojanje grešaka u dimenzijama i obliku elemenata, ali ne omogućavaju određivanje njihove apsolutne veličine.

Metodi merenja, prema načinu obavljanja merenja i odnosa mernog instrumenta i predmeta merenja mogu biti:

- direktni, kod kojih se dobija vrednost veličine koja se meri bez potrebe dopunskog preračunavanja,
- indirektni, kod kojih se vrednost merene veličine dobija merenjem direktnim metodom drugih veličina, koje su sa veličinom koju treba izmeriti povezane određenom relacijom,
- kombinovani, kod kojih se vrednost merene veličine dobija rešavanjem sistema odgovarajućih jednačina, dobijenog iz rezultata direktnih ili indirektnih merenja različitih konstrukcija,
- komparativni, koji se zasniva na upoređenju vrednosti veličine koju treba meriti sa poznatom vrednošću iste veličine,
- diferencijalni, koji se zasniva na upoređenju veličine koju treba izmeriti sa veličinom koja je poznata i koja je bliska vrednosti merene veličine. Merenjem se utvrđuje razlika tih dveju veličina. Na ovom principu ra-



Sl. 5 — Principijelna šema impulsnog metoda ultrazvučne defektoskopije

Električni metod

Kod električnog metoda, pukotine na elementima otkrivaju se promenom provodljivosti ili električnog otpora pri propuštanju struje (jednosmerne ili naizmenične) kroz ispitivani mašinski element. Ovim metodom moguće je otkriti oštećenja ispod površine ele-

de komparatori. Iz diferencijalnog metoda proizašli su metod koincidencije i nulti metod.

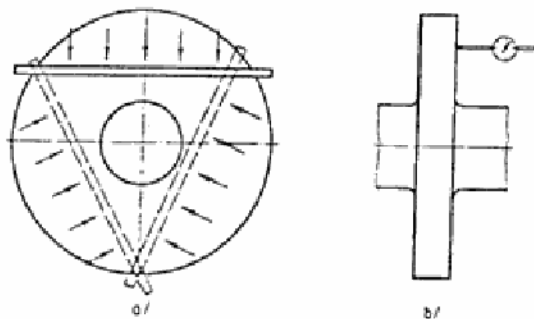
Kontrolno-merna sredstva i metodi biraju se uzimajući u obzir tačnost merenja i konstrukcione karakteristike defektiranog elementa, vrednost mernog sredstva i njegovu trajnost do remonta, gubitke vremena za podešavanje pribora (instrumentata) i proces merenja, kao i neophodnu kvalifikaciju defektatora, i drugo. Pravilan izbor mernih sredstava, u zavisnosti od tačnosti elementa koji se kontroliše, ima veliki praktični značaj. Izbor metoda merenja bez uzimanja u obzir ovog faktora često dovodi do neželjenih rezultata. Pri izboru metoda i sredstava merenja neophodno je odrediti dozvoljenu grešku merenja, i grešku koja može biti dobijena primenom odgovarajućih sredstava.

Tehnički zasnovana razrada normativa granično dopuštenog habanja i optimalnog vremena rada mašinskih elemenata i sklopova može biti ostvarena pri velikom broju merenja. Rezultati ovih merenja moraju biti pouzdani i komparativni.

Provera hrapavosti površina može se izvesti pomoću kontrolne pločice — bojenjem kontrolne ploče, kontrolnog lenjira i mernih listića. Pri određivanju hrapavosti pomoću pločice i boje kontrolna pločica se premaže tankim slojem boje, i na nju se postavi kontrolisani element, tako da se površina koja se proverava okrene ka boji i nekoliko puta pomeri po pločici. Prema broju mrlja boje, koje su ostale na ispitivanoj površini elementa, ocenjuje se njena hrapavost; što je više mrlja (tragova boje) kvalitet površine je bolji. Veličina oštećenja u apsolutnim merama na taj način ne može biti određena. Merenje veličine oštećenja obavlja se tako što se na proveravanu površinu postavi kontrolni lenjir, a mernim listićima se meri zazor. Za tačnije merenje veličine zazora kontrola se obavlja pomoću kompleta mernih listića. Ukoliko se primenjuje lenjir

duži od 1 m neophodno je uzeti u obzir ugib lenjira pod dejstvom sopstvene težine. Radi smanjenja ugiba lenjir se postavlja tako da njegovi krajevi prelaze oslonce za veličinu koja iznosi 0,233 od ukupne dužine lenjira. Pri svakom postavljanju lenjira meri se površina u jednom smeru. Pri proverbi hrapavosti velike površine operacija se ponavlja nekoliko puta sa postavljanjem lenjira u raznim smervima.

Pri proverbi radnih površina nekih mašinskih elemenata, lenjir se postavlja kao što je prikazano na slici 6a. Strelicama su pokazana mesta merenja zazora između lenjira i površine pomoću mernih listića. U nekim slučajevima takve površine se proveravaju pomoću indikatora (komparatora). Pipak komparatora postavlja se na kontrolisanu površinu elementa, koji se okreće. Prema položaju strelice određuje se odstupanje od zadate veličine (slika 6b).



Sl. 6 — Provera hrapavosti površine
a — lenjirom, b — komparatorom

Paralelnost površine proverava se komparatorom, tako što se jedna površina dovede u paralelan položaj sa površinom kontrolne ploče, a paralelnost druge se proverava pomoću komparatora.

Udaljenost između zidova meri se mikrometrom ili pomičnim merilom pomoću kalibara i specijalnih klinova. Ovde se, prvenstveno, misli na proveru udaljenosti otvora u materijalu.

Saosnost, odnosno poklapanje osa, proverava se kada se osa jednog elementa mora nastavljati na osu drugog, sa kojim je u funkcionalnoj vezi. Provera saosnosti vrši se postavljanjem elemenata u prizme (čime se za bazu uzimaju spoljni cilindri), dok se komparator oslanja na unutrašnju površinu. Razlika između najvećeg i najmanjeg pokazivanja komparatora, za pun ugao obrtanja elementa, odgovara dvostrukom rastojanju osa spoljnog i unutrašnjeg cilindra.

Upravnost je određena pravim uglom između osa dva elementa. Provera se normalnim ugaonikom od 90° , ili ubacivanjem posrednih elemenata u defektirane otvore i kontrolom pomoću komparatora.

Kod obrtnih elemenata uglavnom se proveravaju odstupanja od cilindričnosti, kao što su: ovalnost poprečnog preseka, ispupčenost, ugnutost, sedlastost, izvijenost i konusnost u osnim presecima elemenata. Prilikom ove provere obrtni elementi se postavljaju između šiljaka, a na defektiranu površinu oslanja se pipak komparatora.

Za određivanje tačne veličine habanja mašinskih elemenata i raspodele habanja na površinama trenja, koriste se metod veštačkih baza. Prvo se na površinu, čije habanje se kontroliše, urežu udubljenja tačnog geometrijskog oblika i tačnih dimenzija, pa se posle određenog broja radnih časova mere dimenzije tih udubljenja. Najčešće se meri dubina udubljenja. Na osnovu razlika mera određuje se veličina habanja površine na mestu udubljenja.

Pribori, koji se nazivaju makroprofilografima, zasnovani na principu poluznih, optičkih i elektronskih pojačivačkih mehanizama, omogućavaju dobijanje potpunije slike o makrogeometriji površina, a i cilindričnosti površina. Pored defektacije oni se primenjuju i za kontrolu kvaliteta površinske obrade.

Pri defektaciji veoma se često proveravaju mehaničke karakteristike mašinskih elemenata. Najviše se primenjuje merenje tvrdoće, pri čemu se koriste statički (po Rokvelu, Brinelu, Vikersu, Gercu, Auzbahu) i dinamički (udarnog otiska, po mineraloškoj skali i po Martensu) metodi.

Zaključak

Defektacija mašinskih elemenata, sklopova i mehanizama veoma je važna aktivnost u remontu mašinskog sistema. Samo pravilno i potpuno defektirani mašinski elementi i sklopovi, i mere sprovedene na osnovu rezultata defektacije, mogu obezbediti ispravnu i pouzdanu eksploataciju remontovanih mašinskih sistema.

Defektacija obuhvata niz tehnoloških operacija koje se izvode po tačno određenom redosledu i sa potrebnom opremom i mernim sredstvima.

Za otkrivanje curenja usled postojanja pukotina i šupljina koriste se hidraulički i pneumatski metodi. Pomoću vibroakustičnog metoda proverava se pravilnost sprežanja, ispravnost sklapanja i funkcije obrtnih elemenata, ekscentričnost, labavost veza i slično. Procena stanja površina, konstrukcije, izolacije, zadori, rupe, uvijenost, savijenost, narušenost kvaliteta obrade radnih površina, krunjenje zubaca zupčanika, žlebova i navoja obavlja se vizuelnim metodom. Procena unutrašnjeg stanja mašinskih elemenata i sistema obavlja se endoskopskim metodom. Magnetnim metodom otkrivaju se površinska oštećenja, pukotine i nemetalni uključci feromagnetnih materijala. Luminiscentnim metodom (penetracijom boje) otkrivaju se položaj i dubina površinskih pukotina. Za otkrivanje dubinskih pukotina i unutrašnjih šupljina, lunkera, nemetalnih uključaka, korozije, taloga, skrame i proveru kvaliteta zavarenih spojeva ko-

riste se radioskopski (rendgenografi-ja, gamagrafija i jonizacija) i ultrazvučni (impulsni eho i metod zvučne senke) metodi. Električni metod koristi se za otkrivanje pukotina, šupljina i nemetalnih uključaka na elementima većih dimenzija. Za određivanje pravilnosti geometrijskih oblika, odstupa-nja dimenzija, veličine habanja i sta-

nja mehaničkih karakteristika (mere-njem tvrdoće) mašinskih elemenata primenjuje se defektacija tehničkim merenjima.

Na osnovu rezultata defektacije donosi se odluka o tome da li je mašinski elemenat ispravan, da li zahte-va opravku ili regeneraciju, ili se od-bacuje.

Literatura:

- [1] Adamović, Z.: Tehnička dijagnostika u mašinstvu, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
- [2] Alatničar, stručno informativni časopis, broj 6, Čačak, 1987.
- [3] Arhangorodskij, L. A., Tartakovskij, M. A., Jacević, V. A.: Remont i montaž oborudova-nija predprijetij po hraneniju i prerabotke zerna, Kolos, Moskva, 1967.
- [4] Ašeko, S. M., Klauz, P. L., Sokolov, K. A.: Remont stroiteljnih, putevih i pogruzočno-razgružočnih mašin, Transport, Moskva, 1969.
- [5] Banatov, P. S.: Iznos i povišenje dolgoveč-nosti gornih mašin, Nedra, Moskva, 1970.
- [6] Elizavetin, M. A.: Povišenje nadežnosti ma-šin, Mašinstrojenje, Moskva, 1973.
- [7] Elizavetin, M. A., Satelj, E. A.: Tehnologičeskiye sposobi povišenija dolgovečnosti ma-šin, Mašinstrojenje, Moskva, 1969.
- [8] Kamberović, B.: Postupci ispitivanja — kon-trole bez razaranja i provera geometrijske i radne tačnosti, LESI — seminar: Pouzdanost i dijagnostika Industrijskih sistema, Čačak, 1991.
- [9] Koh, P. I.: Remont eskavatorov, Nedra, Mos-kva, 1967.
- [10] Kuzmin, R. V.: Defektacija sudovih mehaniz-mov, Transport, Moskva, 1967.
- [11] Nantaev, G. G.: Tehničkoje obsluživanje i remont avtomobiljnih kranov, Transport, Mo-skva, 1966.
- [12] Nikolić, S.: Tehnička kontrola proizvoda, Za-vod za izdavanje udžbenika, Novi Sad — Beograd, 1989.
- [13] Paunić, Z.: Tehnička kontrola, Viša tehnič-ka škola, Novi Sad, 1971.
- [14] Petrov, J. N. i dr.: Osnovi remonta mašin, Kolos, Moskva, 1972.
- [15] Forrest, P. G.: Fatigue of metals, Pergamon press, Oxford-London-New York-Paris, 1962.



prikazi iz inostranih časopisa

NOVA GENERACIJA AUTOMATSKIH PUŠAKA KALAŠNJKOV*

Automatska puška AK-74M poslednja je i najusavršenija verzija poznata

te familije pešadijskog naoružanja koje je stvorio Mihail Kalašnjikov. U tu familiju spada ceo osnovni kompleks automatskih pušaka AK-74.

Sklapajući plastični kundak sačuvao je prednosti koje pruža drveni fik-



Sl. 1 — Puška AK-74 sa noćnim nišanom

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart—april 1995.

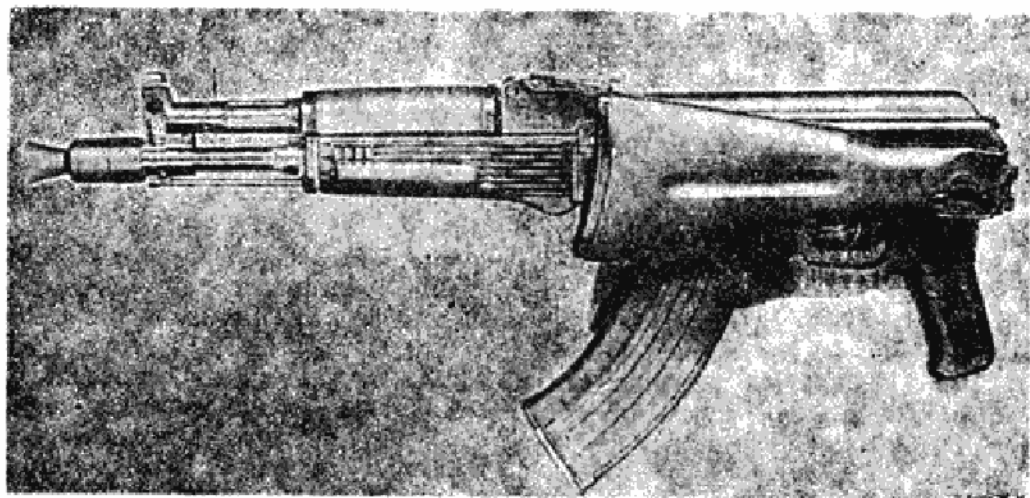


Sl. 2 — Puška AK274M sa bacačem bombi

sni kundak u pogledu lakoće nišanje-
nja i pri borbi prsa u prsa, i obezbe-
đuje spretnost primene oružja.

Verzije automatske puške predvi-
đene su za standardni NATO metak
5,56 mm koji se proizvodi u svim zem-
ljama koje imaju oružje tog kalibra.
Puška se izrađuje u dve varijante: AK-
101 sa dužinom cevi koja odgovara
verziji AK-74M, i AK-102 koja odgova-

ra verziji AK-105. Njihove konstrukcio-
ne karakteristike odgovaraju dosadaš-
njem stilu oružja Kalašnjikova — vi-
soki stepen borbene efikasnosti, lakoća
održavanja i upotrebe, izvanredna iz-
držljivost delova i sklopova i nepreva-
ziđena pouzdanost. Tu spada i neko-
liko dostignuća u oblasti korišćenja sa-
vremenih materijala, koji još više po-
boljšavaju izdržljivost oružja i smanju-
ju njegovu masu.



Sl. 3 — Puška AK-105 sa sklopljenim kundakom

	AK-74M	AK-105	AK-101	AK-102
Metak	5,45 x 39	5,45 x 39	5,56 x 45	5,56 x 45
Masa zrna (g)	3,42	3,42	4,0	4,0
Masa metka (g)	10,2	10,2	12,48	12,48
Sila trzanja (N)	4,8	4,8	5,9	5,9
Kalibar (mm)	5,45	5,45	5,56	5,56
Nišanski domet (m)	1000	500	1000	500
Početna brzina (m/s)	900	840	910	850
Energija zrna (kJ)	1,382	1,176	1,626	1,411
Masa puške bez okvira (kg)	3,4	3,0	3,4	3,0
Masa okvira (kg)	0,23	0,23	0,23	0,23
Kapacitet okvira (metaka)	30	30	30	30
Dužina puške (mm):				
— u borbenom položaju	943	824	943	824
— u marševskom položaju	700	586	700	586
Dužina cevi (mm)	415	314	415	314
Zadnji nišan	otvoren sa prerezom			
Mogućnost postavljanja optičkog nišana	da	da	da	da
Brzina gađanja (metaka/min)	600	600	600	600
Efikasna brzina gađanja (metaka/min.)				
— poluautomatska	40	40	40	40
— automatska	100	100	100	100

P. Marjanović

SISTEM ZA UPRAVLJANJE ARTILJERIJSKOM VATROM KAPUSTNIK*

Mesto i uloga artiljerije u savremenim borbenim dejstvima bitno se povećala, čak i kada se uporedi sa nedavnom prošlošću — vremenom hladnog rata, kada je konfrontacija zemalja NATO i Varšavskog pakta, u krajnjem slučaju, bila uslovljena njihovom moći u nuklearno-raketnom naoružanju.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, januar—februar 1995.

Mada se pretpostavlja da je opasnost od nuklearnog rata prošla, lokalna ratna žarišta se umnožavaju. U tim uslovima artiljerija ima najefikasniju ulogu u aktivnoj odbrani i neutralisanju protivnika, a često obezbeđuje prevlast u borbenim operacijama.

Maksimalna efikasnost artiljerije u savremenim borbenim uslovima ne zasniva se na pojedinačnoj efikasnosti topa, minobacača ili višecevnog raketnog bacača, već umnogome zavisi od efikasnosti sistema za upravljanje vatrom koji predstavlja mozak i nervni sistem artiljerije. Od ovih sistema zavise osnovne karakteristike artiljerije, kao što su vreme reagovanja, preciz-

nost, brzina preciznog gađanja, manevarske osobine, autonomnost u borbenim dejstvima i verovatnoća opstanka na bojištu.

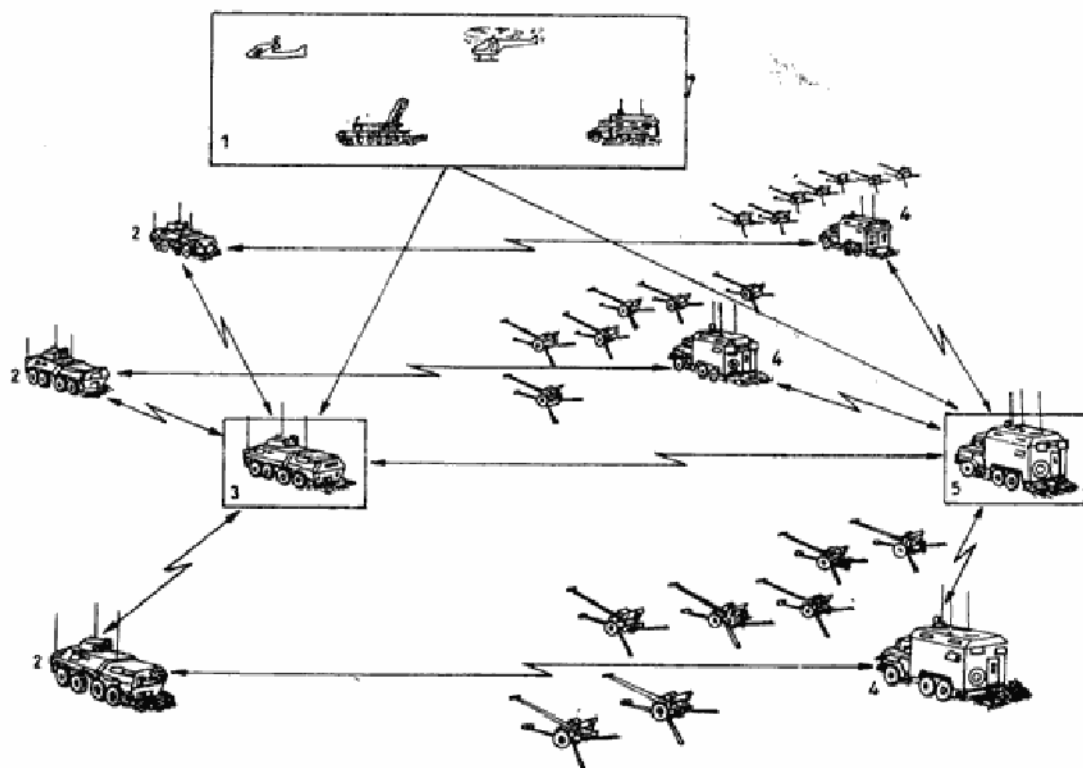
Smatra se da je borbena efikasnost artiljerije povećana 3 do 5 puta zahvaljujući kompleksnoj automatizaciji upravljanja vatrom, uključujući i troškove za potrebnu opremu.

Poznati američki sistem za upravljanje vatrom TACFIRE sastoji se od računarskih modula, koji obavljaju informaciono-računarske operacije za potrebe sistema. Ruski sistem za upravljanje vatrom zasnovan je na kompleksnom prilazu gde svim operacijama upravljanja, uključujući razmeštaj manjih artiljerijskih jedinica, akviziciju i označavanje cilja, nišanje, navođenje oruđa i otvaranje vatre, obavlja uopšteni algoritam preko pripadajućih sistema upravljanja (modula). Ovaj kon-

cept prvi su koristili ruski kompleksni računari, kao što su MAŠINA (1970) i FALSET (1980), a i savremeni automatizovani sistem za upravljanje vatrom KAPUSTNIK-B, koji je konstruisan 1993. godine.

Sistem za upravljanje vatrom sadrži podsisteme za izviđanje, polaznu orijentaciju, osmatranje, meteorološku i balističku podršku, vezu i prenos podataka. Svi ovi podsistemi zasnivaju se na unificiranom informaciono-računarskom sistemu. Sistem za upravljanje vatrom automatski je spojen sa spoljašnjim izviđačkim sredstvima (radarima, bespilotnim letelicama, zvukometrijskim sredstvima, izviđačkim helikopterima, itd.), a i sa višim nivoima automatizovanog sistema za komandovanje.

Terminali vatrenih sredstava sačinjavaju krajnje karike koje obezbeđu-



Sl. 1 — Sema automatskog sistema za upravljanje vatrom

1 — sredstva za radarsko, zvučno i vazdušno izviđanje, 2 — komandir baterije, 3 — komandant divizion, 4 — pomoćnik komandira baterije, 5 — pomoćnik komandanta divizion

ju spajanje sa sistemom za upravljanje vatrom topa, i komandne opreme za korekciju i vođenje artiljerijskih projektila.

Podsistemi sistema za upravljanje vatrom raspoređeni su na pokretnim komandnim stanicama, kao što su:

- unificirana komandno-osmatračka vozila, za komandante diviziona (komandira baterije),

- unificirana komandno-štabna vozila, za zamenika komandanta diviziona (komandira baterije).

Artiljerijski divizion sastoji se od:

- jednog vozila za komandanta divizionu,

- tri do četiri vozila za komandire baterija,

- jednog vozila za zamenika komandanta divizionu,

- tri do četiri vozila za zamenike komandira baterija.

Sistem za upravljanje vatrom KAPUSTNIK-B može da radi u sledećim režimima:

- nezavisno (autonomno),

- preko spoljašnjih izviđačkih sredstava,

- pod komandom višeg nivoa komandovanja.

Kada radi u autonomnom režimu, sistem za upravljanje vatrom obezbeđuje automatsko upravljanje vatrom artiljerijskog divizionu, sastavljenog od 3 do 4 baterije sa oko 32 artiljerijska oruđa, koristeći sopstvena izviđačka sredstva. U tom slučaju razmeštaj komandnih stanica i vatrenih sredstava, pripremu za otvaranje vatre, akviziciju cilja, planiranje vatre, artiljerijsku pripremu i početne elemente za gađanje određuju organski podsistemi komandovanja, kao što je prikazano na slici 1.

Artiljerijski divizion u ovom režimu dejstvuje kao autonomni automatski sistem za upravljanje vatrom artiljerije. Autonomni automatski sistem za upravljanje vatrom baterije dejstvuje na sličan način.

Kada sadejstvuje sa spoljnim sredstvima za izviđanje (na primer, radarom ZOOPARK), koji određuju tačne koordinate protivničke baterije, artiljerijski divizion, opremljen sistemom za upravljanje vatrom KAPUSTNIK-B, u automatskom režimu uspešno obavlja zadatke kontrabatiranja. U tom slučaju sasvim je moguće formiranje sistema za izviđanje i gađanje divizionu (baterije), zasnovanog na komandnim vozilima, radaru i artiljerijskim oruđima.

Kada dejstvuje pod komandom višeg nivoa, sistem za upravljanje vatrom KAPUSTNIK-B automatski snabdeva vatrena sredstva podacima o označavanju cilja, preko opreme komandno-štabnih vozila zamenika komandira baterija.

Organska izviđačka sredstva, ugrađena u komandno-izviđačko vozilo komandanta divizionu (komandira baterije) u ovom slučaju se koriste za dostavljanje izviđačkih podataka višem pretpostavljenom starešini. Automatski sistem za komandovanje može se koristiti za formiranje artiljerijskih grupa i drugih formacija, na bazi sistema KAPUSTNIK-B, dejstvujući u intenzivnom automatskom režimu.

Savremena automatska sredstva i »ad-hoc« softver obezbeđuju visoke performanse sistema. Za ove potrebe izvestan broj uređaja je razvijen ili modernizovan. To su laserski daljinomer sa »osvetljavanjem« cilja, uređaj za noćno osmatranje, žiroskop pravca, precizni žiroskop, laserski uređaj za praćenje i merenje daljine radi razmeštaja oruđa u borbene formacije, automatizovana meteorološka stanica malih dimenzija, automatizovana balistička stanica i brojni drugi specifični uređaji. Svi ovi uređaji automatski uvode podatke u informaciono-računarske sisteme vozila za komandovanje i upravljanje.

Vozila za komandovanje i upravljanje imaju autonomne izvore napajanja.

janja električnom energijom za potrebe obezbeđenja neprekidnih borbenih operacija kada nisu u pokretu.

Oklopni transporter poboljšanih karakteristika BTR-80 služi kao osnova za komandno-osmatračka vozila komandanata diviziona (komandira baterija).

Kamion URAL-373, sa nadgradnjom 43203, služi kao komandno-štabno vozilo zamenika komandanta diviziona (komandira baterije).

U završenoj fazi je modernizacija sličnih vozila na osnovi borbenog vozila pešadije BMP-3, za sistem KAPUSTNIK-S.

Ispitivanja sistema za upravljanje vatrom KAPUSTNIK-B u operativnim uslovima, obavljena 1993. i 1994. godine, potvrdila su njegov visok kvalitet. Prema raspoloživim podacima on je bolji od sličnih sistema u pogledu vremena reagovanja artiljerijskog divizion na gađanje neplaniranih ciljeva (30 do 40 s u odnosu na 120 do 130 s), samostalne borbene upotrebe, pokretljivosti i verovatnoće opstanka na bojištu.

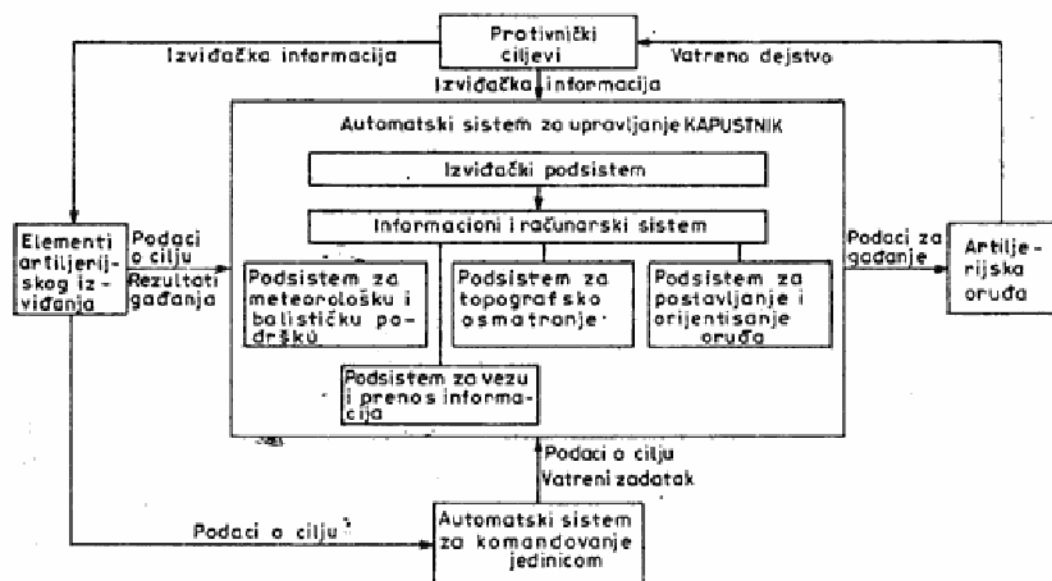
Sistem ima ogromne funkcionalne mogućnosti. Prelagodljiv je novim vrstama artiljerijskih oruđa i municije, verovatnoća opstanka na bojištu je povećana zahvaljujući uzajamnoj zamenjivosti vozila za komandovanje i upravljanje, ukoliko je neko od njih onesposobljeno, a mogu ga koristiti različite organizacione strukture (baterije, divizion, grupe, izviđačko-vatreni kompleksi).

Komandni algoritam i »ad-hoc« softver obezbeđuju, uprkos umerenim mogućnostima računara, ostvarivanje svih vatrenih zadataka artiljerije za nekoliko sekundi.

Smatra se da vozila i moduli uređaja sistema za upravljanje vatrom KAPUSTNIK-B i KAPUSTNIK-S, mogu uspešno da se koriste u artiljerijskom divizionu (bateriji) i višim formacijama (puku, brigadi). Takođe, mogu se koristiti za upravljanje borbom motorizovanih i tenkovskih formacija KoV, kao i vazdušnodesantnih jedinica.

Blok šema funkcionisanja automatskog sistema za upravljanje vatrom artiljerije KAPUSTNIK, prikazana je na slici 2.

P. Marjanović



Sl. 2 — Šema rada automatskog sistema za upravljanje vatrom KAPUSTNIK

RAKETNI SISTEM PVO OSA - AKM*

Prvi eksperimentalni prototip sistema 9K33 — OSA (NATO klasifikacija SA-8A) testiran je u leto 1965. godine. Prvi testovi nisu mnogo obećavali, pa je bilo neophodno da se konstrukcija sistema suštinski poboljša. Pošto je dizajn pojedinih komponenata sistema i navigacione opreme originalan, može da posada osmatra prostor čak i u pokretu i da gađa izabrane ciljeve sa kratkih zastanaka. Nakon operativnog razvoja i usavršavanja sistem je uveden u operativnu upotrebu 1973, a modernizovana verzija sistema, poznata kao 9K33M OSA-AK, 1980. godine. Za razliku od prethodnih, novim sistemom je bilo moguće gađati manje ciljeve, kao što su helikopteri. Štaviše, takvi ciljevi mogu da budu gađani i pri sletanju, ili kada su spremni za poletanje, tj. na nultoj visini.

Iako su borbene mogućnosti tog sistema bile visoke, njegova modernizacija je i dalje bila aktuelna, tako da se sredinom osamdesetih godina u porodici OSA pojavila nova, modifikovana verzija PVO raketnog sistema, nazvana 9K33M3, OSA-AKM. Namenjen je za zaštitu motorizovanih jedinica i tenkova od napada protivničkih avio-sredstava. Njime mogu da se gađaju ciljevi u vazдушnom prostoru na malim visinama, kao što su avioni, helikopteri i daljinski upravljane letelice.

Sistem se sastoji od lansirnog oruđa, transportera sa punjačem, uređaja za održavanje i mobilne stanice za proveru i podešavanje. Lansirno oruđe sistema OSA-AKM opremljeno je uređajima koji omogućavaju posadi da detektuje, identifikuje i prati pokretni ili stacionarni cilj u vazдушnom prostoru, gađa navedene ciljeve jednom ili sa dve rakete, lansirane u intervalu od četiri sekunde, i uređajima za navigaciju i komunikaciju. Zahvaljujući usa-



Raketni sistem PVO OSA — AKM

* Prema podacima iz časopisa **MILITARY PARADE**, septembar—oktobar 1995.

vršenoj elektronskoj opremi, sistem može da se koristi individualno ili kao element centralizovanog PVO sistema koncipiranog prema očekivanim ciljevima.

Lansirno oruđe sastoji se od raketnog lansera 9P35M2, akvizicijskog radara, pratećeg radara, zemaljskog radio-sistema za identifikaciju cilja, dvokanalnog nišanskog radara, radara za prenos komandi i televizijsko-optičkog nišana. Da bi se omogućilo traženje i identifikacija ciljeva za vreme kretanja lansirnog oruđa, platforma na kojoj se nalazi akvizicijski radar i antene za identifikaciju stabilizovana je u odnosu na horizont. Cilj se traži radarom za akviziciju podataka o cilju preko panoramskog skeniranja prostora na daljini od 20 do 30 km. Detektovani cilj može da se gađa jednom ili sa dve rakete, koje se navode komandnom metodom nišanske linije. Vreme potrebno za premeštanje sistema iznosi 4 minuta. Lansirno oruđe nosi šest lansirno-transportnih kontejnera sa vođenim raketama. Da bi se raketa mogla lansirati, kontejneri su opremljeni vođicama, bravama, električnim konektorima i poklopcima koji se otvaraju nakon aktiviranja komande za lansiranje.

U sastav tela rakete 9M33M3 ulazi HE-bojeva glava sa fragmentacionim dejstvom. Upravljački blok rakete je smešten u prednjem nosnom delu tela rakete. Krila rakete su izvedena kao slobodne aerodinamičke površine koje rotiraju oko uzdužne ose radi smanjenja brzine rotacije tela rakete prouzrokovane efektom odvajanja aerodinamičkih strujnica od tela rakete u toku leta. Raketa se vodi do cilja pomoću radio-komandi. Ona ima visoke manevarske sposobnosti, koje joj omogućavaju da pogodi cilj koji manevriše sa značajnim faktorom bočnog preopterećenja, leti velikom brzinom na malim visinama, ima male dimenzije i zaštićen je oklopom. Isporučuje se kao kompletno sredstvo za borbenu upotrebu, pa ne zahteva posebno održa-

vanje u dužem periodu. Raketa na lansere se postavlja pomoću vozila za transport i punjenje.

Trajektorija leta rakete sastoji se iz dva dela. U prvom delu trajektorije leta raketa je nevođena. Kada joj nišanski radar odredi elevaciju i daljinu, let rakete se upravlja u dve uzajamno normalne ravnine uz pomoć radio-komandi, koje dolaze sa radara za prenos komandi. Autopilot obavlja zadane komande postavljanjem upravljačkih organa u željeni položaj. Kada raketa dostigne cilj aktivira se radio-upaljač, koji prenosi signal za aktiviranje bojne glave. Ako se to iz bilo kojeg razloga ne desi, raketa se samouništava nakon 25 do 28 sekundi leta signalom koji generiše satni mehanizam.

Raketni sistem OSA-AKM postavljen je na šasijsku terenskog vozila (6x6), koje pokreće dizel-motor sa visokim brojem obrtaja tipa BD20K300, snage 200,6 kW (300 KS). Pneumatici širokog

Karakteristike sistema

Zona uništenja ciljeva koji lete brzinom od 1100 km/h (m):	
— po visini	25 do 5000
— po daljini	1500 do 10000
— tačnost kursa u parametru	6000
Zona uništenja ciljeva koji lete brzinom od 1800 km/h (m):	
— po visini	100 do 5000
— po daljini	1500 do 10000
— tačnost kursa u parametru	4000
Zona uništenja ciljeva koji lete brzinom od 0 do 360 km/h uz upotrebu televizijskog optičkog nišana (m):	
— po visini	10 do 25
— po daljini	2000 do 6500
Verovatnoća uništenja nemanevrišućih ciljeva u zoni uništenja jednom raketom	0,4 do 0,96

Karakteristike rakete

Dužina (mm)	3158
Prečnik tela rakete (mm)	209,6
Raspon krila (mm)	650
Dužina kontejnera (mm)	3235
Težina rakete bez kontejnera (kg)	126,3
Težina lansirno-transportnog kontejnera (kg)	35

profila imaju uređaj za centralnu regulaciju pritiska. Najveća brzina kretanja vozila na putevima iznosi 80 km/h, a po vodenim površinama vozilo može da se kreće brzinom od 8 km/h uz pomoć dva hidropogona.

Navigacioni sistem, s mogućnošću topografskog praćenja i orijentacije, automatski određuje koordinate lansirnog oruđa, obeležava njegov kurs kretanja i daje ostale karakteristike prostora sa tačnošću koju zahteva sistem za praćenje situacije u vazдушnom prostoru. Za održavanje borbene gotovosti sistema OSA-AKM, kao i za ocenu stanja uređaja, ugrađen je i sistem za automatsko funkcionalno testiranje. Uređaji PVO raketnog sistema projektovani su i proizvedeni na osnovu najnovijih konstrukcionih rešenja i imaju dobro razrađene sisteme za funkcionalno testiranje, koji obezbeđuju visoku operativnu spremnost. Posadu autonomnog samohodnog lansirnog oruđa čine komandir, tri operatora, i to za pretraživanje ciljeva, određivanje ugao-nih koordinata cilja i daljine do cilja, i vozač — mehaničar.

Uređaj napaja energijom gasna turbina, tipa 9I120, kada je oruđe u stacionarnom režimu rada. Kada je oruđe u pokretu, napaja ga generator, koji pokreće pogonski motor vozila. Posada je zaštićena od NHB uticaja, a uslovi rada u kupoli u kojoj je smeštena posada održavaju se pomoću specijalne opreme. Lansirno oruđe je opremljeno i naoružanjem za blisku borbu.

Raketni sistem PVO, OSA-AKM radi tako što antena akvizicijskog radara

rotira konstantnom brzinom od 33 o/min i obezbeđuje pretraživanje prostora u označenom sektoru i pod određenom elevacijom korak po korak. Ista antena prima i signale reflektovane od cilja, koji se, zatim, konvertuju i prenose na panoramski pokazivač. Istovremeno, ciljevi se identifikuju uz pomoć zemaljskog sistema za identifikaciju, koji je kombinovan s akvizicijskim radarom. Antena radara za praćenje cilja usmerava se signalom s akvizicijskog radara, koji dovoljno tačno određuje koordinate cilja po azimutu i grubo po elevaciji.

Operator za pretraživanje ciljeva postavlja marker cilja na panoramskom pokazivaču i aktivira komandu za označavanje cilja. Za to vreme, računar generiše signal za usmeravanje antene. Operator ugao-nih koordinata i operator daljine zahvataju cilj i uključuju automatsko praćenje cilja, dok računar, koji je smešten na raketi, generiše precizne koordinate cilja i priprema sistem za lansiranje rakete. Šest sekundi pre nego što cilj uđe u zonu uništenja aktiviraju se indikatori SPREMAN, a zatim i CILJ U ZONI. Raketa se ispaljuje na određenu komandu. Nakon izvesnog vremena, raketu zahvata široki snop nišanskog radara i započinje automatsko praćenje cilja. Komanda za armiranje radio-upaljača na raketi šalje se u trenutku kada se ona nalazi 350 m od cilja. Kada se u radio-upaljaču sakupi dovoljan broj impulsa, on aktivira bojnu glavu, čija parčad pogađaju cilj sa dovoljnim stepenom efikasnosti.

Sistem je u operativnoj upotrebi u oružanim snagama Rusije, ali je izvezen i u brojne zemlje Evrope, Azije, Afrike i Latinske Amerike. Efikasno je upotrebljavan u lokalnim konfliktima, što potvrđuje broj oborenih aviona. Zahvaljujući jednostavnoj konstrukciji osnovnih uređaja, funkcionalnoj pogodnosti i pouzdanosti, kombinovanim s visokom borbenom efikasnošću sistem je veoma cenjen među vojnim ekspertima.

M. Savanović

RAZVOJ OKLOPA ZA BORBENA VOZILA*

U toku razvoja oklopa za borbena vozila nastala su i različita imena za oblike koje ti oklopi imaju, kao što su »kompozitni«, »kompound« ili »specijalni«.

U principu, vrste oklopa koje su razvijene u posljednje vreme mogu se smatrati kompozitnim, pošto se radi o kombinaciji dve različite elementarne komponente. Jedna od njih je osnovni oklop ili konstrukcija borbenog vozila (tenka), dok se druga sastoji od dodatnih elemenata, namenjenih da maksimalno smanje probojne mogućnosti ubojnih sredstava pre nego što ona ispolje dejstvo na osnovnom oklopu.

Različiti su načini za smanjivanje probojnih mogućnosti protivoklopnih ubojnih sredstava. U stvari, postoje tri osnovne različite metode da se to postigne. One određuju osobine kompozitnih oklopa i dele ih na tri posebne kategorije.

Jedna kategorija oklopa smanjuje probojnu moć ugradnjom u njegov sastav sloja materijala koji je mnogo tvrdi nego osnovni aluminijumski ili čelični oklop vozila. Druga kategorija smanjuje probojnu moć geometrijom svojih komponenata, dok treća kategorija koristi metalne »sendviče« sa međuslojem inertnog ili aktivnog materijala.

Prva kategorija, koja bi se mogla nazvati *tvrdoslojni oklopi*, potiče iz prvog razvojnog perioda tenka. Da bi se poboljšala zaštita od zrna, oklopne ploče tenkova izrađivane su tako da im je tvrdoća bila preko 600 HB, što je iznosilo duplo više nego kod običnih čeličnih ploča. Ploče su bile toliko tvrde da su ozbiljno oštećivale zrna i time smanjivale njihovu probojnu moć. Istovremeno te ploče su bile krte i sklone stvaranju pukotina. Zbog toga one nisu bile pogodne za korišćenje, ali su dovele, u periodu dvadesetih i tri-

desetih godina, do povećanja tvrdoće čelone strane oklopa. Površinski sloj ploča bio je tvrdi, a unutrašnjost žilava, tako da su bile sposobne da apsorbuju kinetičku energiju projektila bez stvaranja pukotina.

Primena oklopa ojačanog sa prednje strane svojevremeno je bila napuštena zbog proizvodnih i drugih razloga, ali je prilaz rešenju, koje je on predstavljao, kulminirao u razvoju oklopa dvojne tvrdoće. Ovaj sklop sastoji se od slojeva različitih čelika koji su međusobno spojeni. Čelik spoljašnjeg sloja imao je tvrdoću preko 600 HB, dok je unutrašnji sloj ostao mekši i elastičniji. Moglo bi se smatrati da je to bila najstarija vrsta kompozitnog oklopa za borbena vozila.

Oklop dvojne tvrdoće pokazao se kao vrlo efikasan protiv pancirnih zrna, ali je njegovo korišćenje bilo ograničeno uglavnom zbog cene. U stvari, mada se ovaj oklop pojavio u Velikoj Britaniji tridesetih godina, kao »Hadfield Duplex« oklop, njegova primena bila je ograničena na 2000 oklopnih automobila CASCABEL i oklopnih transportera točkaša URUTU, izrađenih u Brazilu tokom sedamdesetih i početkom osamdesetih godina.

U međuvremenu vršene su probe na tenkovima sa drugim kombinacijama čelika, različite tvrdoće i veće debljine od originalnog oklopa dvojne tvrdoće. Prvi oklopi imali su oblik *apliqué* ploča koje su sa čelone strane imale tvrdoću oko 400 HB i bile su korišćene na nekim nemačkim tenkovima u toku Drugog svetskog rata. Početkom sedamdesetih godina na američko-nemačkom tenku MBT-70 pokušana je kombinacija debljeg spoljašnjeg sloja, ovog puta tvrdoće 500 HB, sa unutrašnjom konstrukcijom od normalnog čeličnog oklopa. Prilaz rešenju ovog oklopa bio je revidiran osamdesetih godina kada su na izvesnom broju tenkova naknadno postavljani debeli štitovi od čeličnog oklopa na prednjim stranama kupola. Tu spadaju britanski tenkovi CHIEFTA-

* Prema podacima iz časopisa INTERNATIONAL DEFENSE REVIEW, 6/1993.

IN na kojima je naknadno ugrađivan takozvani »stillbrew« oklop i sovjetski T-55M, T-62M1 i T-72B sa naknadno ugrađenim oklopom nazvanim »potkovi-ca«.

Rešenja za poboljšanje oklopne zaštite navedenih tenkova nisu primenjena u projektovanju novih tenkova. Međutim, druge kombinacije tvrdog materijala sa prednje strane i unutrašnjeg sloja od mekšeg metala i dalje su bile predmet istraživanja.

Jedna od tih kombinacija bila je usko povezana sa korišćenjem aluminijumskog oklopa, koji je u početku bio prihvaćen za lakooklopljena vozila zbog njegove efikasnosti u apsorbovanju kinetičke energije parčadi granata male brzine, a, takođe, i kao materijal za izradu noseće konstrukcije. Međutim, aluminijumski oklop nije toliko otporan na udare pancirnih zrna kao čelični oklop velike tvrdoće (500 HB) koji se pojavio šezdesetih godina u izradi lakih oklopnih vozila. Da bi se to kompenziralo, vozilima sa aluminijumskim oklopom dodavane su dodatne ploče od čelika velike tvrdoće. Dobijena kombinacija pokazala se boljom ne samo od originalnog aluminijumskog oklopa tipa 5083, koji ima tvrdoću od samo 75 HB, već i od standardnog oklopa od valjanog homogenog čelika sa tvrdoćom oko 300 HB.

Praksa dodavanja spoljašnjih ploča od čelika velike tvrdoće osnovnom sklopu od aluminijumskog oklopa počela je u SAD 1967. godine u firmi FMC (sada UNITED DEFENSE) sa eksperimentalnim vozilom XM765 koje je bilo varijanta oklopnog transportera na gusenicama M113, što je nastavljeno da se primenjuje u modifikovanom obliku. Noviji ovakvi primeri su verzija M2A2 američkog borbenog vozila pešadije BRADLEY, i nemačko-italijanski oklopni transporter na gusenicama AV-90.

U stvari, kombinacija osnovnog oklopa od legure aluminijuma sa spoljašnjim pločama od čelika smatra se najboljim oblikom balističke zaštite

lakših oklopnih vozila, i ima izgleda da bude prihvaćena za većinu takvih vozila, uključujući, možda, i ona koja će se razvijati u okviru francusko-nemačkog programa VBM/GTK.

Međutim, čelično-aluminijumski oklop ne obezbeđuje veću zaštitu u odnosu na svoju masu od oklopa čiju prednju stranu sačinjavaju još tvrdi nemetalni materijali — keramika. Razlika se može kvantifikovati pojmom efikasnosti u odnosu na masu (E_m), što je odnos mase valjanog homogenog oklopa i oklopa o kome se radi, pod uslovom da obezbeđuju isti stepen zaštite od istih ubojnih sredstava. Na primer, protiv zrna kalibra 7,62 mm, kombinacija čelik-aluminijum ima $E_m=1,2$ do 1,3, dok aluminijumski oklop sa prednjom stranom od aluminijumskooksidne keramike ima $E_m=2,3$ do 2,8.

Drugi keramički materijali, kao kao što su silicijum-karbid (karborundum) i titanijum-diborid, čak su efikasniji ali i skuplji. Rezultati dobijeni sa aluminijum-nitridom pokazuju $E_m\approx 3,5$ protiv dejstva pancirnih zrna 7,62 mm do pancirnih potkalibarskih zrna 25 mm. To znači da laka oklopna vozila, koja su do sada bila zaštićena uglavnom od mitraljeza 12,7 mm, mogu imati efikasnu zaštitu i od topova 25 i 30 mm, a da im se pri tome mnogo ne poveća masa.

Najnovija vrsta lakog oklopa izraelske proizvodnje, koji se sastoji od redova keramičkih lopti postavljenih između zaštitnih ploča, naziva se »fleksibilni keramički oklop« FCA (Flexible Ceramic Armour). On može da štiti od pancirnih zrna 7,62 mm sa površinskom gustinom od 38 kg/m², što govori da mu je $E_m\approx 3$.

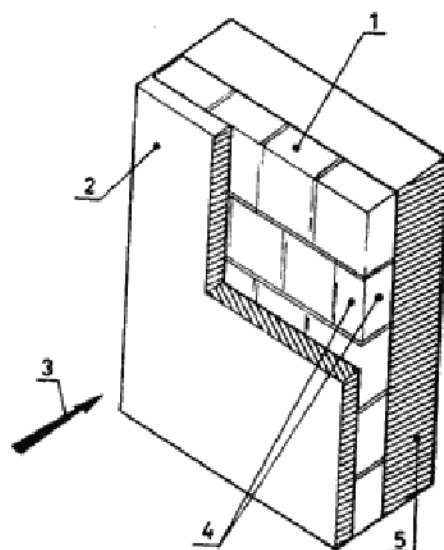
Keramički materijali obično su u obliku pravougaonih ili šestougaoih ploča, kao što je oklop LAST koji je postavljen na lako oklopno vozilo američke mornaričke pešadije. Jedna od najnovijih primena je u obliku silicijum-karbidnih ploča pričvršćenih na tanke laminate od kevlar, koji su

zavrtnjima spojeni sa aluminijumskim telom oklopnog artiljerijskog sistema XM8 (SAD).

Pored toga što je veoma efikasan protiv pancirnih zrna, oklop koji sadrži keramiku pokazao se vrlo efikasnim protiv kumulativnih protivoklopnih projektila. Pokušaji da se keramički materijali koriste protiv kumulativnih ubojnih sredstava datiraju od pedesetih godina, kada je u SAD predloženo da se ugrade blokovi istopljenog silicijum-dioksida u liveni čelični oklop. Ali, mada je E_m silicijum-dioksida protiv savremenih kumulativnih punjenja iznosio oko 3, E_m kompozitnog oklopa bio je samo 1,4. To se nije smatralo dovoljnim kako bi se opravdao dalji razvoj, pa je u SAD ideja napuštena 1958. godine. Međutim, sličan pristup prihvaćen je sa određenim uspehom kod pojedinih tenkova T-64 i T-72 koji su bili konstruisani šezdesetih godina u SSSR-u. Oba tenka imaju keramičke elemente koji su uklopljeni u njihove livene kupole.

Keramički materijali su efikasni protiv kumulativnog mlaza zbog fenomena sličnog onome koji doprinosi većoj efikasnosti čelika velike čvrstoće nego što je to slučaj kod običnog čeličnog oklopa, uprkos činjenici da hidrodinamička teorija prostiranja mlaza ignoriše čvrstoću materijala na koji deluje. Kod ovog fenomena najbitnija je činjenica da se krater, stvoren kumulativnim mlazom, u prečniku smanjuje sa čvrstoćom materijala koja ubrzava eroziju mlaza i smanjuje njegovu probojnost. Međutim, dinamička čvrstoća keramičkih materijala je znatno veća od dinamičke čvrstoće čelika, tako da su prečnici kratera u njima manji i na odgovarajući način su efikasniji, posebno kada su ograničeni prednjom i zadnjom metalnom pločom. Eksperimenti, obavljeni u Nemačkoj početkom sedamdesetih godina, sa oklopom koji sadrži sloj aluminijum-oksidnog keramičkog materijala pokazali su da je $E_m = 2,3$.

Efikasnost keramičkih blokova može da bude povećana zatvarajući ih ne samo aksijalno već i radijalno i bočno (slika 1), što dovodi do toga da udarni talasi, reflektovani od oblagajućih zidova, cepaju keramičke čestice sa stranica kratera i još više narušavaju mlaz.



Sl. 1 — Šema oklopa sa keramičkim pločama

1 — keramičke ploče, 2 — zona ploče, 3 — pravac napada, 4 — bočni držač, 5 — zadnja ploča (osnovni oklop)

Staklo se ponaša slično kao i keramički materijali sa dodatkom odbojnog efekta koji ubrzava slom kratera stvorenog kumulativnim mlazom, i tako smanjuje njegovu probojnost. Slični rezultati mogu se dobiti pomoću materijala koji ima opšti naziv »plastika ojačana staklom« — GRP — Glass Reinforced Plastics. To su, u stvari, laminati staklenih vlakana povezani gumom, koji mogu da sadrže preko 80% mase stakla ukoliko su proizvedeni namotavanjem vlakna. Dva sloja takvog laminata od staklenih vlakana ugrađeni su, pored ostalog, u prednji kosi deo oklopa tela ruskog tenka T-72, dajući mu, prema nekim izvori-

ma, ukupnu vrednost $E_m \approx 2,6$ kada se radi o kumulativnim punjenjima, i 2,2 protiv probojnih jezgara koja dejstvuju kinetičkom energijom.

Efikasnost do sada razmatranih oklopnih sistema prvenstveno zavisi od osobina ili ponašanja materijala od kojih su izrađeni, a ne od njihovog geometrijskog oblika. Nasuprot tome, efikasnost druge kategorije oklopa zavisi od geometrijskog oblika njegovih komponenata, pa bi se uslovno mogli nazvati *geometrijskim oklopima*.

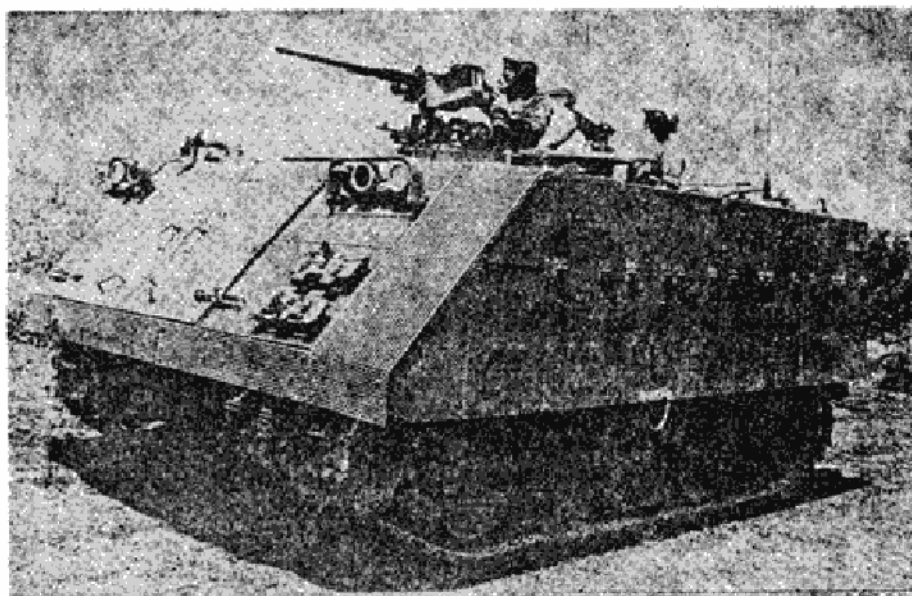
Najraniji i najjednostavniji primer korišćenja geometrijskog oblika je postavljanje kosih ploča oklopa u verovatnom pravcu dolaska projektila. Ova iskošenost dovodi do stvaranja asimetričnih sila koje deluju na projektil pri njegovom udaru u oklop i, ako ne leti vrlo velikom brzinom, skreću ga sa njegove putanje u zonu veće debljine oklopa, tako da projektil nailazi na veći otpor. U ekstremnom slučaju, kada ugao nagiba oklopne ploče prelazi 65° , može doći do rikošeta projektila.

Skretanje projektila zbog udara u oklop koji je pod nagibom, takođe se

postigne postavljanjem relativno tanjih ploča na određenom rastojanju ispred osnovnog oklopa. To je, pored ostalog, urađeno i sa oklopom sa »razmaknutim slojem« kao kod vozila AIFV i borbenog vozila pešadije IFV M2 gde su dodatne ploče od čelika velike tvrdoće postavljene na određenom rastojanju ispred osnovnog aluminijumskog oklopa umesto da su za njega pričvršćene zavrtnjima.

Tamo gde se dodatne ploče ne mogu postaviti pod nagibom ili gde nema verovatnoće da će biti pogođene pod kosim uglom, projektili, takođe, mogu da budu skrenuti sa putanje pomoću ploča od čelika velike tvrdoće koje su sitno perforirane i postavljene na izvesnom rastojanju ispred osnovnog oklopa. Takve ploče menjaju pravac udara zrna čak i kada su pogođene pod pravim uglom.

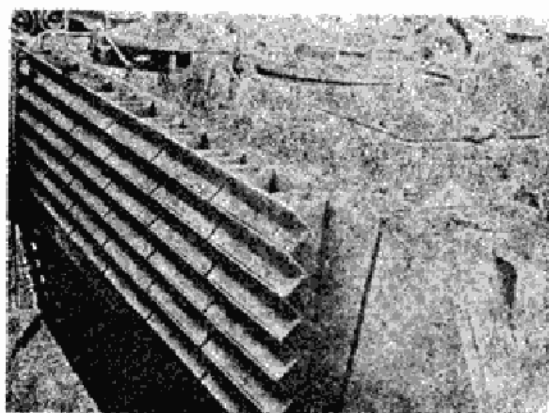
Perforirane ploče prvi put su bile korišćene u okviru izraelskog dodatnog oklopa »Toga«, koji su kasnije prihvatili u Francuskoj za poboljšanje zaštite oklopnih transportera M113, i u SAD kao deo garniture *appliqué* oklopa P-900.



Sl. 2 — Oklopni transporter M113 sa oklopom »Toga«

Korišćenje kompleta u čijem se sastavu nalaze perforirane ploče omogućilo je podizanje nivoa zaštite oklopnih transportera M113 od puščane municije 7,62 mm do zaštite od municije mitraljeza 14,5 mm, uz ukupno povećanje mase od 700 do 900 kg. Tipične perforirane ploče imaju površinsku gustinu od 40 kg/m² i u kombinaciji sa aluminijumskim oklopom pružaju zaštitu sa E_m od oko 1,6 za pancirnu municiju 12,7 mm. Slični rezultati mogu se dobiti sa oklopom od ekspaniranog čelika, koji je u SAD primenjen kao ekonomična alternativa za perforirane ploče. Ugrađen je na bočnim stranama motorskog odeljenja oklopnog artiljerijskog sistema XM8.

Zrna se mogu prinuditi da udare pod kosim uglom u oklop i kada oklopne ploče ne mogu biti postavljene pod kosim uglom zbog nedostatka prostora, što je slučaj kod oklopnih transportera. To se postiže kada se ploča dodatnog oklopa uradi u obliku »harmonike« (slika 3) sa kratkim površinama pod pozitivnim i negativnim uglom. Ovakav način zaštite primenjen je na bočnim stranama vozila opremljenih izraelskim kompletom poboljšanog *appliqué* oklopa EAAK (Enhanced Applique Armor Kit). To je nedavno učinjeno kod amfibijskih vozila AAV7A1 američke mornaričke pešadije, a i kod oklopnih transportera M113.



Sl. 3 — Oklopni transporter M113 sa oklopom EAAK

Komplet EAAK na bočnim stranama vozila sastoji se od redova pravouglanih čeličnih segmenata pričvršćenih na malom rastojanju od glavnog oklopa tela vozila. Segmenti nisu homogeni već su izrađeni od slojeva čelika sa nemetalnim međuslojem, tako da deluju kao »sendvič-oklop« sa inertnim međuslojem. Na taj način povećana je efikasnost zaštite protiv kumulativnih punjenja oružja kao što je RPG-7.

Kada je oklop vozila već postavljen pod velikim nagibnim uglom, kao što je to slučaj na prednjim stranama oklopnog tela vozila, projektili se mogu skrenuti sa putanje i prinuditi da udare pod manje pogodnijim uglovima zavarivanjem kratkih rebara na oklopu. Jedini upečatljiv primer ovakvog rešavanja problema zaštite je švedski S-tenk, izrađen u toku šezdesetih godina.

Pre nego što su korišćene za skretanje projektila, tanke čelične ploče pričvršćivane su na izvesnom rastojanju od bočnog oklopa tenkova radi poboljšanja zaštite od kumulativnih projektila, aktivirajući ih pre nego što stignu do osnovnog oklopa. Takve ploče prvi put su se pojavile na nemačkim tenkovima u toku Drugog svetskog rata, a njihova primena nastavljena je i kasnije. Uglavnom su bile namenjene za zaštitu od pešadijskog naoružanja i bile su efikasne samo ako je probojnost kumulativnog mlaza bila ograničena na dva ili tri prečnika konusa, i brzo je opadala sa povećanjem daljine aktiviranja (»stand-off« distance) kumulativnog punjenja. Međutim, kako su se performanse kumulativnih punjenja poboljšavale, ovakav način zaštite postajao je manje efikasan, jer rastojanje na kojem bi one trebalo da budu pričvršćene nije dovoljno povećalo i »stand-off« rastojanje kako bi se smanjila probojnost kumulativnih bojnih glava.

Sovjetski konstruktori su se trudili da povećaju »stand-off« rastojanje korišćenjem, tankih zglobno pričvršćenih ploča na bočnim stranama ten-

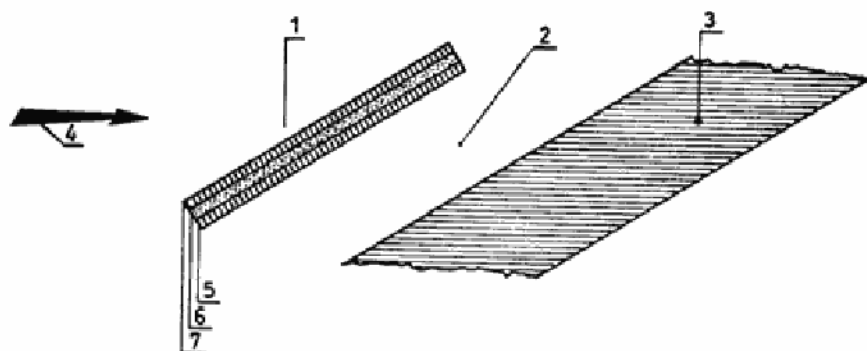
kova. Takav način zaštite pojavio se početkom sedamdesetih godina na tenkovima T-64 i T-72, ali nije bio primenjen kod kasnijih verzija tih tenkova, što govori o tome da se nije pokazao efikasnim.

Na švedskom S-tenku bez kupole bilo je usvojeno drugo rešenje za povećanje »stand-off« rastojanja, ali je dugo čuvano u tajnosti. Sastoji se od zaštitne barijere, izrađene od čeličnih šipki koje su postavljene na ivicu prednje nagibne ploče, a ovakvo rešenje posebno je bilo pogodno za primenu na S-tenku, pošto on ima top koji se ne pokreće po pravcu, dok se to rešenje nije moglo koristiti kod tenkova sa obrtnom kupolom.

Pored postavljanja dopunskih ploča radi povećavanja »stand-off« rastojanja, takođe su vršeni pokušaji smanjivanja prodornosti kumulativnih punjenja umetanjem različitog broja međusobno razdvojenih ploča. Takva rešenja sa razmaknutim pločama bila su primenjena 1972. godine u nekim projektima koji su doveli do sadašnjih tenkova M1, ali je to kasnije bilo napušteno. Govoreći uopšteno, efikasnost zaštite povećavala se sa nagibom, brojem ploča i rastojanjem između njih, ali u praksi postoje velika ograničenja i ostvareni E_m protiv savremenih kumulativnih punjenja nije veći od 1,25.

Do pojave dugih probojnih jezgara, razmaknute ploče su smatrane manje efikasnim protiv projektila koji dejstvuju kinetičkom energijom. Međutim, ukošena rešetka razmaknutih ploča pokazala se efikasnijom protiv dugih probojnih jezgara. Asimetrija njihovog otpora na probijanje dovodi do savijanja probojnih jezgara, njihovog loma i skretanja, tako da udaraju u oklop kada su već i sama oštećena i manje efikasna. Ipak, ostvareni E_m protiv probojnih sredstava koja dejstvuju kinetičkom energijom, oklopnih sistema koji imaju razmaknute ploče iznosi samo oko 1,25.

Mnogo bolji rezultati dobijeni su sa trećom kategorijom oklopa koji sadrže više slojeva metalnih ploča sa inertnim ili aktivnim međuslojevima, i uslovno se mogu nazvati »sendvič« oklopi. Oni deluju na bazi distorzije i pomeranja »sendvič« ploča, do čega dolazi kada na njih deluje kumulativni mlaz ili probojno jezgro koje ispoljava svoje dejstvo kinetičkom energijom. Međutim, da bi ploče efikasno delovale, one moraju biti ukošene u odnosu na smer delovanja projektila, i na određenom rastojanju od glavnog oklopa, kao što je prikazano na slici 4. Na taj način obezbeđuje se prostor za pomeranje zadnje »sendvič« ploče, i



Sl. 4 — Šema ukošenog razdvojenog »sendvič« oklopa

- 1 — »sendvič« ukošen u odnosu na pravac napada, 2 — vazdušni razor, 3 — osnovni oklop vozila, 4 — pravac napada, 5 — metalna ploča, 6 — inertni ili aktivni međusloj, 7 — metalna ploča

za razbijanje kumulativnog mlaza ili probojnog jezgra.

Najpoznatiji »sendvič« oklop je eksplozivni reaktivni oklop (ERO), kod kojeg međusloj predstavlja eksploziv. Eksplozija, inicirana dejstvom kumulativnog mlaza, razdvaja »sendvič« ploče primoravajući ih da se kreću kroz putanju kumulativnog mlaza slabeći ga, čime se uveliko smanjuje njegova moć probijanja osnovnog oklopa vozila.

Debljina »sendvič« ploča je mala i obično iznosi 2 do 3 mm. Zbog toga je površinska gustina eksplozivnog oklopa, ukošenog, na primer, pod uglom od 60° , samo 100 kg/m^2 . Ovakvi oklopni sistemi imaju E_m , čija se vrednost teško može izraziti jednom brojkom, jer zavisi od nekoliko faktora, uključujući vrstu i kvalitet kumulativnog punjenja, kao i ugao nagiba »sendvič« ploča. Vrednost E_m kreće se od 2,5 do 5 ili više, s tim da se veće vrednosti obično odnose na eksplozivni »sendvič«, a ne na kompletni sistem oklopa.

U svakom slučaju, eksplozivni oklop pokazao se kao vrlo efikasan protiv kumulativnih punjenja. Pronađen je i patentiran u Nemačkoj 1970. godine. Njegov razvoj nastavljen je 1974. u Izraelu, ali je primenjen tek 1982. godine, kada se pojavio na tenkovima CENTURION i M60A1 izraelskog KoV, za vreme operacija u Libanu. Posle toga razvoj je nastavljen u SSSR-u gde je 1983. godine ugrađivan na njihove tenkove. Posle 1984. godine eksplozivni oklop pojavio se i na tenkovima T-64BV, T-72B i T-80BV.

Kasnije je smanjena ekspanzija korišćenja eksplozivnog reaktivnog oklopa (ERO), prvenstveno zbog problema bezbednosti. Takođe, vredi pomenuti verziju eksplozivnog oklopa »Romor-A« britanske proizvodnje, koji je bio postavljen na prednjim delovima oklopnog tela tenkova CHALLENGER u toku zalivskog rata 1991. godine, kao i verzija koja je bila postavljena na tenkove M60A1 mornaričke pešadije. Mnogo kasnije francuska korporacija GIAT proizvela je verziju ERO »Bre-

nus« za dva bataljona tenkova AMX 30 B2 francuskih snaga za brzo reagovanje.

Nije realno očekivati da originalni tip eksplozivnog oklopa ERO sa lakim »sendvič« pločama, debljine 2 do 3 mm, može da se suprotstavi čvrstim probojnim jezgrima od volframa ili osiromašenog urana potkalibarskih projektila. Ali, kako je mehanika probijanja kumulativnog mlaza i dugačkih probojnih jezgra velike brzine u osnovi slična, »sendvič« sa debljim pločama pokazali su se efikasnijim protiv kinetičkih probojnih jezgra nego protiv kumulativnih punjenja.

To je dovelo do razvoja »teškog reaktivnog oklopa« sa prednjim »sendvič« pločama debljine 20 do 25 mm. Postavljani pod 60° , »sendviči« sa takvim prednjim pločama imaju površinsku gustinu od 500 do 600 kg/m^2 , pa je takav dodatni oklop mnogo masivniji od originalnog, odnosno »lakog eksplozivnog oklopa«. Njihova površinska gustina ne razlikuje se znatnije od čvrstog »potkovica« oklopa koji je naknadno postavljan na kupole sovjetskih tenkova, što pokazuje da se »teški reaktivni oklop« može koristiti za poboljšanje zaštite tenkova od probojnih jezgara koja deluju kinetičkom energijom. Ova vrsta reaktivnog oklopa počela je da zamenjuje originalni laki tip na sovjetskim tenkovima 1985. godine pod naznakom »kontakt-5«, što nije dovelo do većeg povećanja mase.

Originalni laki reaktivni oklop ne bi se mogao postaviti na laka vozila sa tankim osnovnim oklopom, jer bi pri razletanju parčadi razbijene zadnje »sendvič« ploče moglo doći do oštećenja osnovnog oklopa. Samo vozila koja imaju veću (srednju) masu mogu biti zaštićena od takvog oštećenja postavljanjem dodatnih oklopnih ploča između »sendvič« oklopa i osnovnog oklopa vozila. To je i urađeno kada je eksplozivni oklop »Romor-A« ugrađen 1993. godine na oklopni osmotačkaš CENTAUROS iz italijanskog kontingenta interventnih snaga u Somaliji.

Međutim, pojavila se vrsta »sendvič« oklopa koja je pogodnija za laka oklopna vozila, u obliku je lokalno reaktivnog oklopa. Kod njega se međusloj u »sendviču« sastoji od specijalnog eksploziva koji reaguje samo na mestima gde je pogođen kumulativnim mlazom. U tom slučaju »sendvič« ploče se ne razleću, pa nema ni dodatnih oštećenja.

Ovakav lokalnoreagujući oklop razara kumulativni mlaz kombinacijom pritiska stvorenog eksplozijom u međusloju, i deformisanim ivicama stvorenih otvora u »sendvič« pločama. Efikasnost oklopa, po jedinici mase, koji sadrži lokalnoreagujući oklop niža je nego sa originalnim tipom reaktivnog oklopa. U Francuskoj je izrađen komplet za zaštitu oklopnih transportera M113 od bacača RPG-7. Postavljen je u luku od 160° , ima masu od 980 kg i pokriva površinu od $3,6 \text{ m}^2$, ili 1900 kg za površinu od $6,6 \text{ m}^2$.

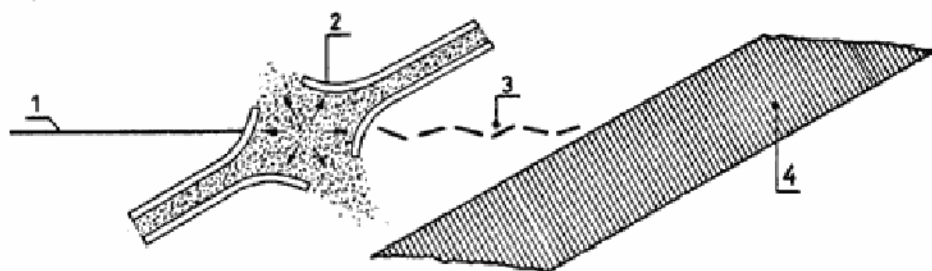
Najmanje poznati tip »sendvič« oklopa je sa inertnim međuslojem. Patentiran je u Nemačkoj 1973. godine i u SAD 1987. godine. Radovi u Izraelu i Nemačkoj otkrili su njegov način funkcionisanja i efikasnost.

U osnovi, kada kumulativni mlaz probije jedan »sendvič«, deo njegove kinetičke energije stvara visoki pritisak u okviru inertnog međusloja, što dovodi do toga da se »sendvič« ploče nadimaju ili razdvajaju. Zbog toga se ivice otvora koji su stvoreni u ploča-

ma nalaze na putanji kretanja kumulativnog mlaza (slika 5), čime se mlaz uveliko deformiše i smanjuje probojno dejstvo na osnovni oklop iza »sendviča«. Uzajamno dejstvo mlaza i »sendviča« sa inertnim međuslojem, slično je kao kod sendviča sa eksplozivnim međuslojem. U prvom slučaju kumulativni mlaz se razbija sopstvenom energijom, a u drugom energijom eksploziva, pa nema potrebe za nekim merama bezbednosti.

Efikasnost »sendviča« sa inertnim međuslojem znatno varira u zavisnosti od materijala od kojeg je međusloj izrađen. To je vrlo dobro pokazala serija ispitivanja koja su obavljena u Nemačkoj, sa savremenim kumulativnim punjenjem od 136 mm, parom »sendviča« sa pločama od 10,5 mm i međuslojevima od različitih materijala. »Sendviči« su jedan iza drugog postavljeni ispred valjanog homogenog oklopa. Ako se međusloj sastoji od elastomera ili plastičnog materijala ojačanog vlaknima, tada E_m oklopnog sistema iznosi oko 2,4 a za drugi međusloj 3. Kada se međusloj u »sendviču« sastoji od plastičnog materijala koji je specijalno izrađen u firmi »Deisenroth« (IBD), tada E_m iznosi oko 5.

Odgovarajuća površinska gustina iznosi oko 1200 kg/m^2 , što odgovara ploči od čvrstog čelika debljine 77 mm, postavljenoj pod uglom od 60° , što je manje nego kod čeonog oklopa ruskih tenkova T-54 ili T-62.



Sl. 5 — Sema uzajamnog dejstva kumulativnog mlaza i »sendviča« sa inertnim međuslojem

1 — kumulativni mlaz, 2 — »sendvič«, 3 — razoren kumulativni mlaz, 4 — osnovni oklop

Za teže tenkove koji imaju površinsku gustinu od 3000 kg/m², ekstrapoliranje pokazuje, bar teorijski, da oni mogu ostvariti takvu zaštitu od kumulativnih punjenja koja će biti ekvivalentna čeličnom oklopu debljine 1900 mm. Kada se uzme u obzir i masa konstrukcionih elemenata koji su potrebni za pričvršćivanje »sendviča«, ove vrednosti pokazuju visoke nivoe zaštite koje obezbeđuju metalni »sendvič« sa inertnim slojevima.

P. Marjanović

ORUŽJA ZA SPECIJALNE NAMENE*

Specijalne jedinice vojske, policije i snage bezbednosti ne mogu izvršavati postavljene zadatke bez upotrebe specijalnog naoružanja.

Automatska puška AS (VAL) i snajperska puška VSS (VINTOREZ) obezbeđuju nečujno gađanje bez bleska na ustima cevi korišćenjem specijalnog metka 9 mm. Zaštitni prsluci ne mogu da se suprotstave njihovoj probojnoj moći. Uspešno probijaju zaštitnu odeću I, II i III nivoa, koja odgovara standardima NILECJ-STD 0101.01 i MIL-C44050. Takođe, mogu se uspešno upotrebljavati protiv neoklopljenih motornih vozila na daljinama 400 do 500 m.

Velika preciznost gađanja može se povećati korišćenjem optičkog ili noćnog nišana koji može biti pričvršćen na odgovarajući držač. Osnovni sklopovi automatske i snajperske puške su unificirani a pošto se razlikuju po nameni, i konstrukcija im je različita. Na primer, automatska puška ima metalni kundak koji se sklapa u levu stranu, a snajperska fiksni drveni kundak. Pored toga, snajperska puška može se rastaviti u nekoliko delova i zapakovati u torbu dimenzija 450 x

x 370 x 140 mm. Za sklapanje snajperske puške i pripremu za gađanje potrebno je 30 do 60 sekundi.

Jedinstvena konstrukciona rešenja, primenjena kod puške i metka, smanjuju intenzitet pucnja na nivo zvuka koji se dobija, na primer, pljeskom dlanova. Na taj način, prasak puške se teško može izdvojiti iz uobičajene buke okoline.

U pogledu pouzdanosti i efikasnosti, automatska i snajperska puška nisu ispod nivoa puške AKM.

Jedinstveno nečujno oružje kratke cevi je pištolj PSS 7,62 mm. Namenjen je za nečujno gađanje bez bleska na ustima cevi na daljinama do 50 m. Visoki stepen prigušivanja pucnja postignut je specifičnom konstrukcijom metka. Nivo buke pri dejstvu ne prevazilazi nivo pucnja vazdušne puške. Karakteristika oružja je da zrno nakon probijanja čelične ploče, debljine 2 mm, i dalje zadržava svoju ubojitost.

Bez svake sumnje, Rusija je među vodećim u svetu po proizvodnji oružja za podvodne diverzante. Podvodni pištolj SPP-1 i podvodna automatska puška APS jedinstveni su u svetu. Puška se može koristiti, kako ispod vode, tako i za borbu na kopnu. Municiju predstavlja metak sa izduženim zrnom, praktično čelična strela, koja se pri kretanju kroz vodu stabilizuje stvaranjem kavitacione oblasti oko zrna.

Pištolj SPP-1 ima blok od 4 glatke cevi i samozapinjući mehanizam za okidanje. Meci se sukcesivno ispaljuju iz svake cevi, pri čemu se udarač svaki put zaokrene za 90°. Pištolj se puni pomoću okvira sa četiri metka, koji se postavlja nakon obrtanja bloka cevi oko čivije (osovnice) koja se nalazi na zadnjaku. Masa pištolja je 0,95 kg, a dimenzije 244 x 138 x 23 mm.

Automatska podvodna puška APS funkcioniše na principu pozajmice barutnih gasova, i iz nje se može gađati kratkim rafalom (3 do 5 metaka) ili dugim rafalom (do 10 metaka), kao i jedinačno. Za olakšavanje nišanja puška ima čelični kundak koji se može

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, mart-april 1995.

Tehnički podaci za bežumni pištolj 7,62 mm PSS

Kalibar (mm)	7,62
Masa praznog pištolja (kg)	0,7
Masa metka (g)	24
Dužina pištolja (mm)	165
Dužina metka (mm)	42
Kapacitet okvira (metaka)	6
Nišanski domet (m)	50

Tehnički podaci za bežumnu snajpersku pušku VVS

Kalibar (mm)	9,0
Masa prazne puške (kg)	2,6
Masa metka (g)	23
Masa optičkog nišana (kg)	0,58
Masa noćnog nišana sa izvorom napajanja (kg)	2,1
Dužina puške (mm)	894
Dužina metka (mm)	56
Dužina optičkog nišana bez štitnika oka, i zaštitnika od sunca (mm)	375
Dužina noćnog nišana sa dijafragmom (mm)	340
Kapacitet okvira (metaka)	10/20
Nišanski domet (m):	
— sa otvorenim i optičkim nišanom	400
— sa noćnim nišanom	300
Vrsta gađanja	jedinačno/auto-matski

Tehnički podaci za podvodni pištolj SPP-1

Kalibar (mm)	4,5
Ubojni domet (m):	
— na dubini od 5 m	17
— na dubini od 20 m	11
— na dubini od 40 m	6
Kapacitet okvira (metaka)	4

uvući u sanduk puške. Masa puške, zajedno sa okvirom sa 26 metaka, iznosi 3,4 kg, a dužina joj je 614 cm.

Tehnički podaci za podvodnu automatsku pušku ABS

Kalibar (mm)	5,56
Ubojni domet (m):	
— na dubini od 5 m	30
— na dubini od 20 m	20
— na dubini od 40 m	11
Kapacitet okvira (metaka)	26

Tehnički podaci za bežumnu automatsku pušku AS

Kalibar (mm)	9
Masa prazne puške (kg)	2,5
Masa metka (g)	23
Dužina puške (mm):	
— sa rasklopljenim kundakom	875
— sa sklopljenim kundakom	615
Kapacitet okvira (metaka)	20
Nišanski domet (m)	400
Vrsta gađanja	jedinačno/auto-matski

P. Marjanović

NOVI TRENAŽNI AVION MiG-AT*

U toku poslednje dve decenije lovačka avijacija vodećih svetskih sila opremljena je novom generacijom lovačkih aviona, na primer MiG-29, Su-27 (Rusija), F-14, F-15, F-16, F-18 (SAD), MIRAGE 2000 (Francuska). Poboljšane verzije ovih aviona, kao i novi avioni pete generacije, na putu su uvođenja u naoružanje.

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj—jun 1995.

Ovi avioni imaju velike manevarske sposobnosti i izvanrednu elektronsku opremu koja omogućava dijalog-komunikaciju sa pilotom, kao i elektronski daljinski sistem upravljanja.

Istovremeno, nisu preduzete nikakve promene za generacije trenažnih aviona izrađenih, uglavnom, na osnovi aviona HAWK (V. Britanija), L-29 i L-39 (Čehoslovačka) koji potiču iz šezdesetih godina, pa čak i T-37 i T-38 (SAD) koji su se pojavili pedesetih godina. Ovakvo stanje dovelo je do znatnog povećanja troškova letenja u dvosednim trenažnim verzijama osnovnih borbinih aviona.

U Rusiji je zahtev za zamenu trenažnog aviona bio aktuelniji zbog prestanka postojanja Varšavskog pakta i SEV-a, pošto su trenažni avioni L-29 i L-39 i rezervni delovi za njih izrađivani uglavnom u Čehoslovačkoj. Pored toga, avioni L-29 i L-39 su jednomotorni i kao većina aviona te klase, imaju niski odnos potiska i mase (raspoloživost potisnom silom), što može biti uzrok pada u kovit u uslovima intenzivnog manevrisanja i velikog g-opterećenja. Mali razmak između točkova glavnog stajnog trapa ne obezbeđuje bezbedno slentanje pri udarima bočnog vetra, a ostakljenje ovih aviona nedovoljno je čvrsto

to da izdrži sudar sa pticama. Takođe, postoje određena ograničenja u bezbednom izbacivanju pilota iz aviona. Ta činjenica, zajedno sa specifičnom prirodom upotrebe, uzrok je stopi udeša koja je 3 do 5 puta veća nego kod drugih jednomotornih aviona.

Konstruktori trenažnog aviona MiG-AT (slika 1) trudili su se da bitno smanje troškove i vreme obuke pilota, poboljšaju bezbednost letenja i pojednostave i olakšaju korišćenje aviona. Trenažni avion MiG-AT može se koristiti kako za prvi let učenika-pilota, tako i u završnoj fazi obuke.

U početnim fazama projektovanja aviona MiG-AT planirano je da se pored trenažnog aviona i pripadajućih sredstava za održavanje, izrade simulatori, kompjuterizovane učionice, sredstva za registrovanje podataka o stanju materijala i kvalitetu pilotiranja radi analize leta i softveri za pripremu letačkog zadatka.

Za poboljšanje bezbednosti na raspolaganju je i dodatna oprema, kao što je:

— *sistem vidljivosti*, koji imitira teške vremenske i noćne uslove za učenika-pilota, dok instruktor radi u stvarnim (vidljivim) vremenskim uslovima,



Sl. 1 — Trenažni avion MiG-AT

— *ekspertni sistemi*, za pomoć posadi u donošenju odgovarajućih odluka u posebnim situacijama,

— sistem za ocenjivanje fiziološkog stanja svakog člana posade,

— sistem za prenos podataka od aviona u vazдушnom prostoru, preko radio-veze, na zemlju do pulta za kojim se nalazi iskusni instruktor koji može da pošalje potrebne preporuke (simulacije) avionu u realnom vremenu.

Održavanje aviona planirano je sa dužnom pažnjom u odnosu na savremene trendove i specifičnosti procesa obuke pilota, kao što je: održavanje prema stanju, mogućnost obavljanja nekoliko letova bez dopunjavanja goriva, postojanje ugrađenog avionskog sistema za kontrolu kome nije potrebno dodatno vreme za analizu, mali intenzitet radova na održavanju aviona, jednostavna priprema za prvi i naredne letove, ograničeni broj sredstava za održavanje i njihovo jednostavno korišćenje, i ograničena potrošna oprema.

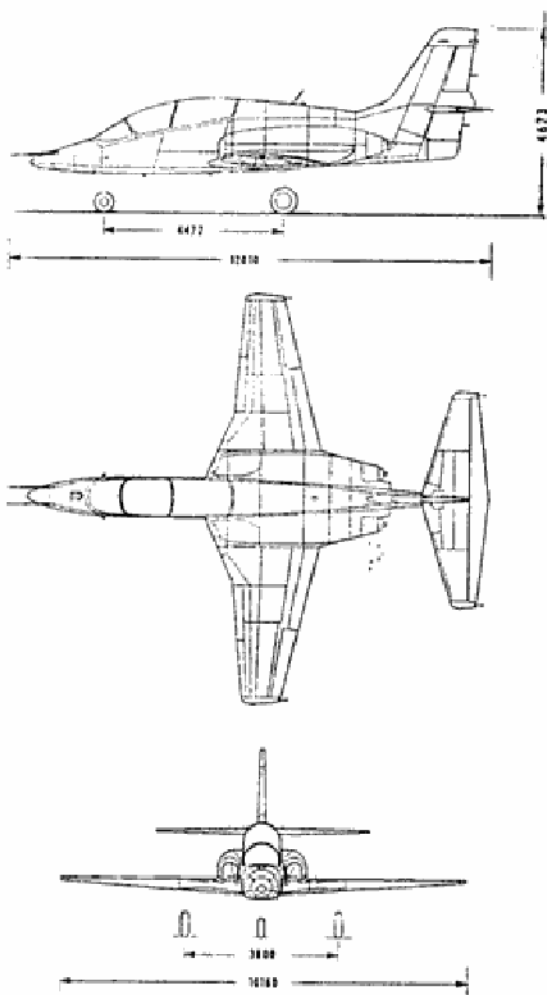
Sve to govori da se radi o razvoju trenajnog aviona nove generacije.

Kada je razmatran aerodinamički oblik letelice, odabran je oblik krila bez strele zbog znatnih prednosti koje se odražavaju na ukupnu masu letelice, efikasnost i bezbednost letenja.

Konstrukcija aviona privukla je pažnju stručnjaka, pre svih francuskih, a firma TURBOMECA ponudila je motor LARZAC 04R20 (koji bi se izrađivao u Rusiji po licenci) i avionski elektronski sistem SEXTANT.

Konstrukcija aviona MiG-AT je klasičnog oblika sa nisko postavljenim krilom bez strele, sa znatnim istupom na napadnoj ivici krila i krilca-zakrilca, višepoložajnim zakrilcima i pretkrilcima koji obezbeđuju bolji uzgon. Kinematika glavnog stajnog trapa je takva da se on uvlači u krilne odeljke. Odeljak za opremu i odeljak za točak prednjeg stajnog trapa nalaze se u nosu aviona. Prednji točak se uvlači una-

pred. Dvosedna (tandem) pilotska kabina je sa sedištem za učenika napred, a za instruktora pozadi i na nešto višem nivou. Pilotska kabina je pod pritiskom i ima sistem za napajanje vazduhom, a do nje se dolazi preko nogostupa ugrađenih u zmaju aviona. Piloti mogu da podešavaju temperaturu u kabini. Oba sedišta su izbacujuća. Gondole motora su pričvršćene sa strane trupa iznad krila, što omogućava ugradnju i drugih tipova motora. Vertikalni stabilizator sa kormilom pravca i horizontalni stabilizator sa kormilom visine i donjim stabilizatorom nalaze se u repnom delu aviona.



Sl. 2 — Dimenzije aviona MiG-AT

U konstrukciji aviona korišćene su legure duraluminijuma, kompozitni materijali, nemetali i čelici. Na trupu postoji više otvora sa poklopcima, radi olakšavanja pristupa svim uređajima i sistemima aviona.

Avion ima pomoćni generator električne energije koji znatno pojednostavljuje njegovo korišćenje. Rezerve komprimiranog vazduha i kiseonika dovoljne su za rad u toku letačkog dana bez dopunjavanja. Navigacijski sistem aviona je modernizovan u odnosu na satelitski navigacijski sistem. Avion, takođe, ima radio-navigaciju, radio-ve-

zu i sistem za registrovanje podataka o letu, radio-visinomer i transpondere za upravljanje vazдушnim saobraćajem i izbegavanje sudara u vazдушnom prostoru. Rad svih sistema kontroliše ugrađeni moćni digitalni računar. Postoji mogućnost korišćenja videozapisi- vanja, snimanja podataka o letu, in- puta letačkog zadatka i sistema simu- latora i simulatora neispravnosti.

Avion MiG-AT može biti modifikovan i prilagođen za efikasno izvršava- nje određenih borbenih ili drugih spe- cifičnih zadataka. U toku je razmatra- nje nekoliko verzija naoružanja avio-

Osnovne taktičko-tehničke karakteristike aviona MiG-AT

Pogonska grupa	2TRD-LARZAC 04R20
Maksimalni statički potisak (kN)	2 x 14,12
Površina krila (m ²)	17,67
Poletna masa (kg)	4610
Kapacitet goriva (normalno/ukupno) (kg)	850/1680
Raspoloživost potisnom snagom (odnos po- tiska i mase aviona)	0,625
Brzina u poletanju (km/h)	180
Dužina poletanja/sletanja (m)	450/570
Maksimalna brzina na nivou zemlje (km/h)	850
Praktični vrhunac leta (m)	15500
Maksimalno g-opterećenje	+8,0 do -3,0
Stabilno g-opterećenje u zaokretu na H=4 km i pri 0,7 Maha	5,5
Maksimalno dozvoljeni napadni ugao	>25°
Dolet (H=6 km, M=0,5) (km)	1200
Daljina preletanja (km)	2400
Brzina sletanja (km/h)	175
Specifično radno opterećenje (radni čas/čas letenja)	Cw=2,22
Vreme letenja po jednom udesu zbog kon- strukciono-proizvodnih razloga (hiljada ča- sova)	>150
Prosečno vreme letenja između otkaza i oš- tećenja otkrivenog u vazduhu i na zemlji (h)	Ta=16,5
Verovatnoća bezotkaznog rada pri izvršava- nju zadataka (h)	Pfm=0,9902
Eksploatacioni vek aviona (časova letenja)	15000
Resurs rada aviona (godina)	30

na, a u najjednostavnijoj varijanti predviđeno je korišćenje nevođenih raketa i projektila vazduh-vazduh sa IC glavama za samonavođenje. Moguća je i ugradnja dnevno-noćne nišanske opreme, koja obezbeđuje korišćenje ubojnih sredstava velike preciznosti i nevođenih ubojnih sredstava, avionskih radara, uključujući i one koji obezbeđuju korišćenje vođenih projektila vazduh-vazduh RVV-AE, kao i sredstava za protivielektronska dejstva.

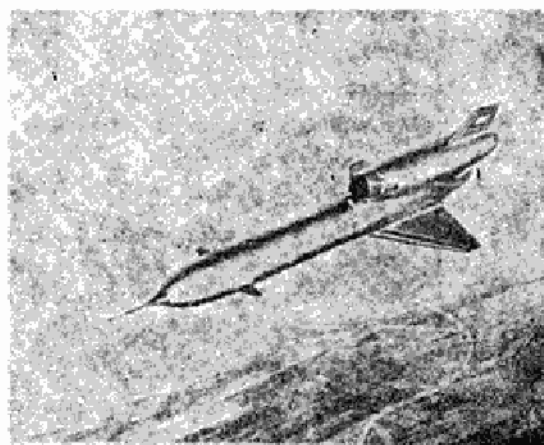
Avion MiG-AT pokazuje maksimalnu efikasnost u borbi protiv ciljeva malih brzina, kao što su helikopteri i sportski avioni sa klipnim motorom. Istovremeno, avion može da uništava ciljeve na zemlji, uključujući i pokretne ciljeve na moru na dovoljno velikoj daljini, i različite ciljeve u vazдушnom prostoru, koristeći vođene protivoklopne projekteile.

Ideja o postojanju flote koja bi se sastojala od borbenih i trenažnih verzija ovog aviona, kao i mogućnost adaptiranja trenažne verzije za izvršavanje borbenih zadataka, privukla je pažnju mnogih zemalja.

Planirano je da prvi avioni MiG-AT budu u operativnoj upotrebi u ruskom RV, a izvoz je predviđen za 1996. godinu.

P. Marjanović

potpuno napustio rad. Godine 1959. dobio je nalog za razvoj bespilotnog izviđačkog kompleksa dugog doleta DRB-1 JASTREB. Za razliku od aviona, ovaj kompleks trebalo je da zadovolji nekoliko nestandardnih uslova, kao što su potpuna nezavisnost u radu, poboljšana pokretljivost, sposobnost da bude prebaziran sopstvenim pogonom na velike daljine i da dejstvuje sa nepripremljenih položaja. Okosnica kompleksa bila je izviđačka bespilotna letelica sa sledećim karakteristikama: brzina do 2700 km/h, visina leta od 1800 do 20000 m, dolet 3800 km. Od korisnog tereta ova bespilotna letelica nosila je fotografsku izviđačku opremu (tri kamere sa velikim fokusnim rastojanjem, koje mogu da pokriju širinu, u jednom preletu, od 60 km i površinu od 100000 km²), kao i elektronsku izviđačku opremu sa bočnom zonom dejstva do 3090 km i mogućnošću određivanja azimuta bilo koje radio-stanice koja je u režimu emitovanja.



Bespilotna izviđačka letelica REIS-D

BESPILOTNE IZVIĐAČKE LETELICE TUPOLJEV*

Konstruktorski biro »Tupoljev« započeo je razvoj bespilotnih letelica 1956. godine. Razvijane su i izrađivane bespilotne letelice koje su mogle da nose i ubojna sredstva. Bili su izrađeni prototipovi letelice Tu-121, ali je 1958. godine okončan projekat pošto je odlučeno da se prednost da operativnim i strateškim vođenim projektilima.

Uprkos obustavljanju projekta bespilotnih letelica, Biro »Tupoljev« nije

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj-jun 1993.

Razvoj izviđačke bespilotne letelice nametnuo je rešavanje kompleksnih tehničkih problema, kao i razvoj samohodnog lansera, novih motora i druge opreme.

Ključni problemi bili su: stabilizacija bespilotne letelice u toku polentanja i na putanji ka cilju, dinamička i toplotna opterećenja tela bespilotne le-

telice i opreme, visoki zahtevi za mogućnosti navigacije i stabilnost u toku izvršavanja zadataka sa fotografisanjem, odvajanje i prizemljenje kontejnera, smeštenog u nosu letelice, sa podacima izviđanja. Prvi put realizovan je jedinstveni buster-motor na čvrsto gorivo koji je stvarao potisak od 735,7 kN, (bespilotna letelica imala je 2 buster-motora) i turbomotor od 98,1 kN koji je u toku izvršavanja zadatka kratkotrajno radio u režimu naknadnog sagorevanja.

Kamere za izviđanje iz vazdušnog prostora, koje se aktiviraju na visini od 20000 m i pri brzini 2700 km/h, imale su visoku rezoluciju, tako da su se na snimku jasno mogli videti pruge železničkih šina.

Kompleks bespilotne izviđačke letelice DBR-1 JASTREB, posle uspešnih ispitivanja 1964. godine, uveden je u upotrebu, a serijski je izrađivan i nalazio se u vazduhoplovnim jedinicama do 1979. godine.

Projekat bespilotne letelice DBR-1 JASTREB smatra se fundamentalnim za nastavak ovakvih radova i relevantnim za rešavanje automatskog upravljanja, konstrukcije i proizvodnje specifičnih elemenata opreme, prvenstveno sistema za navigaciju i upravljanje letom, njihovo ispitivanje i kompletiranje.

Kada je rad na razvoju ove letelice završen, preduzeti su naponi za njenu modernizaciju radi poboljšanja prizemljenja nakon obavljenog leta, kako bi se mogla koristiti više puta.

Nakon toga izrađeni su prototipovi bespilotne letelice JASTREB-2 koja se mogla koristiti više puta, a nosila je oznaku Tu-139. Prva ispitivanja u vazdušnom prostoru potvrdila su da ova bespilotna letelica, dužine 28 m, mase 13,5 t i razmaha krila 8 m, može da se prizemli. Ovaj projekat nikada nije bio završen, ali su njegovi rezultati korišteni u razvoju bespilotnih letelica za višestruku upotrebu koje bi mogle da izdrže 10 lansiranja i sletanja na nepripremljene terene.

Razvoj DRB-1 JAGTREB i poboljšane verzije Tu-139 predstavljao je završetak početne faze izrade nadzvučnih bespilotnih letelica, opreme za lansiranje i pripadajućih sredstava za prevoz i održavanje.

Sredinom šezdesetih godina postavljani su zahtevi za razvoj nove familije bespilotnih letelica, koje će biti u stanju da izvršavaju taktičke i operativne izviđačke zadatke. Posebno je zahtevano da poboljšana bespilotna letelica bude upotrebljiva više puta i sposobna da leti na malim i velikim visinama (50 do 5000 m), kao i u planinskim predelima. Posebno je naglašena slaba radarska uočljivost letelice u vazdušnom prostoru. Najstroži zahtevi bili su postavljeni navigacijskom sistemu koji treba da obezbedi dovoljno precizan prilaz letelice do određene zone, i sletanje na površinu dimenzija 500 x 500 m.

Posle pažljivih procena i razmatranja tehničkih zahteva, započet je razvoj taktičke izviđačke bespilotne letelice REIS sa oznakom Tu-143.

Sistem REIS konstruisan je i ispitivan vrlo brzo (1976. godine), uspešno je prošao zvanična ispitivanja i prihvaćen je. Ukupno je izrađeno oko 1000 ovih izviđačkih bespilotnih letelica.

Integrirani sistem leta i navigacije garantuje da letelica REIS tačnije pride zoni cilja nego letelica kojom upravlja pilot, što je indikativno za kvalitet izvršavanja postavljenih zadataka.

Odgovarajuća stabilizacija letelice u toku izviđačkog leta i potrebna temperatura u odeljku za izviđačku opremu obezbeđuju maksimalno kvalitetne izviđačke informacije. Zahvaljujući avionskoj kameri koju nosi letelica REIS, na snimku se mogu razlikovati predmeti veličine 20 cm sa visine od 500 m i pri brzini od 950 km/h. Prilikom letova iznad planinskog zemljišta ova letelica bila je praktično nepovrediva.

Nekoliko zemalja Evrope i Bliskog Istoka kupilo je bespilotnu letelicu REIS, i ona se u dužem vremenskom periodu pokazala vrlo efikasnom. Takođe, ona služi kao osnova za bespilotnu metu, uspešno je prošla ispitivanja i pokazala dobre sposobnosti u imitiranju nekih tipova aviona. Izvršeno je nekoliko modifikacija letelice REIS radi poboljšavanja performansi, osavremenjivanja izviđačke opreme, smanjivanja broja tehničkih sredstava i ispunjavanja zahteva kupaca. Rezultat modifikacija jeste da su poboljšane mogućnosti bespilotne letelice REIS-D za 2,5 puta. S obzirom na svoju autonomnost i sposobnost prebaziranja sopstvenim pogonom na velike daljine, na sposobnost rada u određenim uslovima zemljišta danju i noću, i na mogućnost davanja najkvalitetnije slike velikih površina zemlje u realnom vremenu (u toku jednog zadatka preko 2100 km²), sistem bespilotne letelice REIS-D ima široke mogućnosti korišćenja.

Sada je u Konstruktorskom birou »Tupoljev« u toku razvoj treće generacije bespilotnih letelica koji se zasniva na poboljšavanju mogućnosti prethodnih letelica.

Taktičko-tehničke karakteristike bespilotne izviđačke letelice REIS-D

Dužina (m)	8,315
Razmah krila (m)	2,250
Visina	1,546
Poletna masa (kg)	1400
Tip motora	TR-3-117
Potisak na nivou zemlje (kN)	6,270
Brzina leta (km/h)	850 do 940
Visina leta (m)	50 do 5000
Dolet (km)	360
Efektivno pokrivanje u jednom letu (km ²)	2100
Izviđačka oprema	foto +TV ili foto +IC

P. Marjanović

SAVREMENA SREDSTVA ZA MASKIRANJE I OBMANJIVANJE*

Pojava savremenih višenamenskih izviđačkih i efikasnih veoma preciznih ubojnih sredstava zahteva razvoj novih sredstava za maskiranje i obmanjivanje protivnika. Smatra se da je maskiranje na bojištu jako važno za borbeni bezbednost jedinica. Važnost maskiranja za opstanak jedinica i operativno iznenađenje njihovog dejstva potvrđena je i u ratu u Persijskom zalivu tokom izvođenja »vazdušne faze« borbenih dejstava. Masovno korišćenje standardne maskirne opreme, maskirno bojenje borbenih sredstava i korišćenje maketa omogućilo je da se verovatnoća opstanka iračkih snaga poveća za 25 do 30%.

Osnovni trendovi u maskiranju i obmanjivanju na bojištu su: eliminisanje ili snižavanje demaskirajućih znakova koji otkrivaju aktivnost jedinica i vojnih ciljeva i primena specijalnih postupaka radi obmanjivanja protivnika o aktivnosti jedinica, navodeći ih na pogrešne odluke zasnovane na lažnim informacijama.

Za maskiranje aktivnosti jedinica i vojnih ciljeva uveliko se koriste sledeća sredstva: individualna maskirna oprema (ogrtači, kabanice, odela, maskirna odeća, sredstva za bojenje lica, paste), maskirni pokrivač i mreže, penaste obloge, aerosoli i drugo.

Maskiranje naoružanja, vojne opreme i objekata, radi sprečavanja otkrivanja vizuelnim sredstvima, obavlja se pomoću standardnih maskirnih kompleta, izrađenih od sintetičkih materijala, tipa MKS, MKT-2L(P), i pamučnih materijala tipa MKT-T(S).

Maskirni kompleti MKS izrađuju se u dva tipa: MKS-2M za maskiranje, kada je u pozadini zelena vegetacija i ogolelo zemljište i MKS-2P za maskiranje na pustinjском, peskovitom i stepskom zemljištu. Osnovne komponente

* Prema podacima iz časopisa MILITARY PARADE, maj—jun 1995.

maskirnog kompleta su maskirni pokrivači sa pričvršćivačima za tlo. Dimenzije maskirnog pokrivača su 9 x 12 m, a sastoji se od šest standardnih zamjenjivih elemenata dimenzija 3 x 6 m. Ovi pokrivači su spojeni pomoću brzootvarajućih spojeva i užadi, što omogućava dobijanje maskirnih pokrivača različitih oblika.

Osnovu pokrivača predstavlja mreža od kaprona sa okcima dimenzija 9 x 9 cm, i PVC folija. Pokrivači su obojeni sa obe strane.

Materijal pokrivača MKS-2M obojen je svetlozeleno. Lice pokrivača ima crnozelenе mrlje i koristi se za maskiranje kada je pozadina zelena vegetacija. Naličje pokrivača ima sivo-braon i sivo-žute mrlje, i pogodno je za maskiranje na ogolelom zemljištu.

Lice pokrivača kompleta MKS-2P je sivožute boje, a na naličju se nalaze sivo-zelene i sivo-braon mrlje. Pokrivač je pogodan za maskiranje na peskovitom pustinjском i stepskom zemljištu.

Maskirni komplet MKS zapakovan je u dva paketa od po 60 kg. Posluga ga postavlja za 10 do 15 minuta.

Maskirni komplet MKT-2L(P) je sličan kompletu MKS, ali ima izvesna oreimućstva. Na primer, masa MKT je prepolovljena (60 kg), radni vek je produžen 1,5 puta i otporan je na niske temperature (do -40°C).

Maskirni komplet MRPK za maskiranje oružja i vojne opreme od optičkog i radarskog izviđanja usvojen je 1988. godine. Smatra se da je taj komplet vrlo efikasno sredstvo protiv radarskog izviđanja i sistema vođenja.

Za maskiranje borbenih sredstava velikih dimenzija (vođenih projektila, aviona, protivavionskih sistema) od optičkog izviđanja koriste se maskirni pokrivači tipa ŠATJOR (šator) UMK, ZONT-1 (kišobran) i BRM. Masa ovih pokrivača kreće se u granicama od 250 do 1500 kg, a vreme za koje ih posluga od 8 ljudi postavlja iznosi 0,3 do 6 časova.

Obmanjivanje protivnika u pogledu raspoređivanja jedinica i njihovih aktivnosti može ga dovesti u zabludu, što može uticati na smanjenje gubitaka. Na primer, simuliranje konvencionalnih aktivnosti korpusa KoV SAD pokazalo je da simuliranje 10% borbenih objekata smanjuje gubitke žive sile za 13%, a materijalnih sredstava za 16 do 20%.

Razvijanje i proizvodnja lažnih objekata i maketa praktično se primenjuje širom sveta. U SAD je izrađena familija maketa koje simuliraju tenkove M-1A1 ABRAMS, M60-A3, borbeno vozilo pešadije M-2, borbeno izviđačko vozilo M3 BRADLEY i druga. Ove makete izrađene su od sklopivih kostura, lakih prekrivača i minijaturnih generatora električne energije za grejanje određenih delova pokrivača kako bi maketa izgledala što realnije. Makete aviona F-15, F-16, A-10 i drugih tipova takođe su razvijene. Sastoje se od metalnog kostura, elastičnog pokrivača i kolica. Pneumatske lažne mete koje imitiraju različita borbena sredstva, uključujući i sredstva ruske proizvodnje, masovno se koriste u Engleskoj za borbenu obuku jedinica.

Razvoj i proizvodnja lažnih meta primenjuje se i u ruskim oružanim snagama. Da bi lažni predmet dobio realne demaskirajuće znakove, koriste se specijalni katalitički grejači na mestima koja su najtoplija na pravoj opremi. Ovakva sredstva imitiraju oružja i druga borbena sredstva u optičkom, IC i radarskom talasnom području, ali imaju znatnu masu i dimenzije i potrebno je dosta vremena za njihovo postavljanje.

Drugi trend odnosi se na stvaranje sredstava za imitiranje koja se sastoje od pneumatskog nosećeg kostura pokrivenog tekstilnim materijalom sposobnim da odbije radarsko zračenje, sa pojedinim elementima od poroznog elastičnog materijala. Površina ovakvog imitacionog sredstva obojena je maskirno. Da bi sredstvo dobilo realne demaskirajuće znakove, postavljeni su

katalitični grejači na određena mesta. Maketa borbenog vozila pešadije BMP-2 izrađena je na tom principu. Masa makete je oko 150 kg, a za postavljanje je potrebno 60 minuta. Korišćenjem sličnih konstrukcija moguće je napraviti makete i drugih borbenih sredstava.

U Rusiji je konstruisana pokretna višenamenska stanica za izradu maketa na bojištu. Postavljena na kamion KamAZ-4310, ova stanica je snabdevena opremom za maskirno bojenje sredstava na bojištu i izradu maketa od poliuretanske pene. Tako izrađene makete su vrlo realistične. Za izradu makete tenka ili borbenog vozila pešadije, na ovakav način, potrebno je manje od jednog časa.

Lažni ciljevi koriste se kao efikasne protivmere za ubojna sredstva sa veoma preciznim vođenjem u obliku toplotnih mamaca, imitatora, različitih odbijača (reflektora) i za deformaciju radarskih i IC odraza zemljišta u zonama koncentracije jedinica. Za te po-

trebe ruske oružane snage opremljene su radarskim reflektorima OMU, SFERA, UGOL, PIRAMIDA i katalitičkim grejačima KFP-1-180.

Može se zaključiti da su, s obzirom na razvoj izviđačkih sredstava i sistema za vođenje ubojnih sredstava velike preciznosti, odabrani sledeći trendovi u razvoju sredstava za maskiranje i imitiranje:

- razvoj maskirnih kompleta za protivdejstvo izviđačkim sredstvima (optičkim, IV, radarskim);

- razvoj premaza koji apsorbuju širokopojasno radarsko zračenje radi maskiranja sredstava i objekata od savremenih izviđačkih sredstava;

- proizvodnja maketa osnovnih tipova naoružanja i materijalnih sredstava, od termoplastičnih materijala i izrada pneumatskih maketa;

- razvoj imitatora koji funkcionišu u širokim područjima elektromagnetskih talasa.

P. Marjanović

NOVINSKO-IZDAVAČKA USTANOVA »VOJSKA«
REDAKCIJA IZDAVAČKE DELATNOSTI »VOJNA KNJIGA«

ZA VAŠU BIBLIOTEKU

1. Aleksandar Radić
BORBENI AVIONI
Format 14×20. Strana 96.
Povez broširan. Cirilica.
Cena 25 dinara.
2. Čedomir Višekruna
**VAZDUHOPLOVNI POGONSKI
MATERIJALI, I deo GORIVA**
Format 17×24. Strana 216.
Tvrd povez. Latinica.
Cena 15 dinara.
3. Predrag Pejčić
VOJNI HELIKOPTERI
Format 17×24. Strana 466.
Tvrd povez. Latinica.
Cena 40 dinara.
4. Metodija Hristovski
**EKSPLOZIVNE MATERIJE
— rečnik**
Format 17×24. Strana 320.
Povez broširan. Latinica.
Cena 70 dinara.
5. Dušan Banjac
ELEKTRONSKA BORBA U PVO
Format 14×20. Strana 292.
Povez platno. Latinica.
Cena 10 dinara.
6. Aleksander Razingar
**ELEKTRONSKO IZVIDANJE
I MASKIRANJE**
Format 13×21. Strana 419.
Tvrd povez. Latinica.
Cena 15 dinara.
7. Milan Jovanović
**ZASTITA LJUDI OD JONIZUJU-
ĆEG ZRAČENJA HEMIJSKIM
SREDSTVIMA**
Format 14×20. Strana 350.
Tvrd povez. Latinica.
Cena 10 dinara.
8. Milan M. Šunjevarić
RADIO-GONIOMETRIJA
Format 17×25. Strana 608.
Povez platno. Latinica.
Cena 20 dinara.
9. Zlatko Rendulić
**RATOVODSTVO I
NAUČNO-TEHNIČKI POGRES**
Format 17×24. Strana 298.
Tvrd povez. Latinica.
Cena 15 dinara.
10. Nikola Vujanović
**TEORIJA PUOZDANOSTI
TEHNIČKIH SISTEMA**
Format 17×24. Strana 592.
Tvrd povez. Latinica.
Cena 25 dinara.

NARUDŽBENICA

NIU »Vojska«, Birčaninova 5, 11000 Beograd

Telefon: (011) 645-020, telefax: (011) 644-042

Žiro-račun: 40823-849-0-2393

Naručujem(o) knjige broj/primeraka

Naručene knjige plaćam(o):

a) odjednom — plaćanje unapred.

b) u mesečnih rata (najviše tri rate) po dinara
(najmanji iznos rate je 50,00 dinara).

Prilikom kupovine na kredit priložiti potpisanu i pečatom overenu narudžbenicu i dokaz o uplati prve rate, a penzioneri prilažu odrezak čeka na kome se nalazi broj predmeta. Ostale rate uplaćuju se na 30 dana administrativnom zabranom.

Reklamacije za neuručene knjige primamo u roku od 30 dana.

U slučaju spora nadležan je Drugi opštinski sud u Beogradu.

Kupac

Matični broj

Ulica i broj Telefon

Mesto i broj pošte

Dana

Potpis naručioca

.....
Ovim se potvrđuje da je naručilac knjiga zaposlen u

.....

M.P.

Overava:

NIU »VOJSKA«, 11002 Beograd, Birčaninova 5
Telefoni: 645-020 i 656-122, lokal: 22-584
Telefax: 644-042, žiro-račun: 40823-849-0-2393

NARUDŽBENICA

Pretplaćujem(o) se na časopise za 1996. godinu, i to:

primeraka

1. VOJNOTEHNIČKI GLASNIK (stručni i naučni časopis VJ) izlazi dvomesečno. Godišnja pretplata 50,00 dinara, polugodišnja pretplata 25,00 dinara;
2. NOVI GLASNIK (vojnostručni intervidovski časopis VJ), izlazi dvomesečno, u koloru, sa posebnim dodatkom uz svaki broj. Godišnja pretplata 100,00 dinara, polugodišnja pretplata 60,00 dinara.
3. VOJNO DELO (opštevojni teorijski časopis) izlazi dvomesečno. Godišnja pretplata 60,00 dinara, polugodišnja pretplata 30,00 dinara.

Broj primeraka časopisa koji se naručuje upisati u narudžbenicu i poslati na adresu: NIU »VOJSKA«, Birčaninova 5, 11002 Beograd.

Za pretplate fizičkih lica ne dostavljamo fakture. Poručioци uplaćuju iznos pretplate na žiro-račun NIU »VOJSKA«: 40823-849-0-2393 (sa naznakom za koji časopis) i šalju primerak uplatnice uz narudžbenicu.

U slučaju spora nadležan je Drugi opštinski sud u Beogradu.

Časopise slati na adresu:

Kupac
(prezime i ime, naziv ustanove i broj telefona)

Mesto ul. br.

Dana: 199..... god.

M.P.

.....
Potpis naručioca

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 doteran, 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

Dobrila Miletić, prof

KORICE

Mirojko Milinković

KOREKTOR

Bojana Uzelac

Cena: 10,00 dinara

Tiraž: 1500 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.
