Dr Milan Novaković,
dipl. inž.
naučni saradnik
Vojnotehničkog instituta VJ,
Beograd

EFIKASNOST PROTIVPEŠADIJSKIH MINSKO-EKSPLOZIVNIH PREPREKA PARČADNOG DEJSTVA

UDC: 623.454.36.016

Rezime:

U radu je prikazan opšti matematički model efikasnosti ubojnih sredstava sa podvarijantama za nuklearna ubojna sredstva i projektele parčadnog i kumulativnog dejstva. Izveden je i opšti matematički model efikasnosti minsko-eksplozivnih prepreka parčadnog dejstva i partikularne varijante matematičkih modela efikasnosti minsko-eksplozivnih prepreka izrađenih od jedne protivpešadijske (PP) mine parčadnog dejstva, zatim od jednog reda PP mina parčadnog dejstva i minsko polje od dva i više redova PP mina parčadnog dejstva. Tabelarno su prikazani komparativni računski dobijeni rezultati za tri karakteristične PP mine parčadnog dejstva.

Ključne reči: kopnene mine, protivpešadijske mine, rasprskavajuće mine, minsko polje.

EFFICIENCY OF ANTIPERSONNEL FRAGMENTATION-TYPE MINE OBSTACLES

Summary:

The paper presents the general mathematical model of the efficiency of explosives (especially types for nuclear weapons and projectiles with fragmentation and hollow charge effects). The general mathematical model of the efficiency of fragmentation-type mine obstacles (consisting of one antipersonnel fragmentation-type mine, then consisting of one row of antipersonnel fragmentation-type mines and finally of a mine field with two or more rows of antipersonnel fragmentation-type mines) is also derived. The calculated results for three characteristic antipersonnel fragmentation-type mines are compared and presented in a tabular way.

Key words: land mines, antipersonnel mines, fragmentation-type mines, mine field.

Uvod

Prema osnovnim taktičko-tehničkim karakteristikama minsko-eksplozivne prepreke mogu biti protivpešadijske, protivoklopne, protivtransportne i prepreke protiv plovniha objekata i desantnih sredstava. Najčešće se izrađuju u obliku minskih (fugasnih) polja, grupa mina (fugasna), pojedinačnih mina (fugasna) i mina iznenađenja.

Protivpešadijskim minsko-eksplozivnim i drugim preprekama neposred-

no se štite jedinice, objekti i druga materijalna sredstva, od dejstva protivničke pešadije i diverzanata, a nanose se efektivni gubici pri pokušaju prelaska preko prepreka bez izrade prolaza. Načelno, koriste se na zemljištu na kome je otežana upotreba oklopnih jedinica ili se kombinuju sa protivoklopnim preprekama.

Pod nagaznim protivpešadijskim minsko-eksplozivnim preprekama podrazumevaju se minsko polje, grupe mina i prepreke izrađene od pojedinačnih

protivpešadijskih mina koje se aktiviraju na pritisak (nagaz), tj. minsko-eksplozivne prepreke izrađene od nagaznih protivpešadijskih mina.

Pod protivpešadijskim minsko-eksplozivnim preprekama parčadnog dejstva podrazumevaju se minska polja, grupe mina i prepreke izrađene od pojedinačnih protivpešadijskih rasprskavajućih mina (mina parčadnog dejstva). U literaturi do sada nije teorijski definisana efikasnost protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka, već je samo opisno predstavljena kao zaprečna vrednost, bez jasnih kvantitativnih kriterijuma i merila. Kod nas je u [1] teorijski kvantitativno definisana zaprečna vrednost protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka (nagaznih i parčadnog dejstva), kao verovatnoća uništenja pešaka pri napadu preko prepreka bez izrade prolaza. U [2] je teorijski definisana efikasnost nagaznih minsko-eksplozivnih prepreka preko dva međusobno različita kriterijuma: verovatnoće uništenja pešaka i zaprečne vrednosti. U [3, 4 i 5] u potpunosti su teorijski definisani osnovni parametri efikasnosti protivpešadijskih mina parčadnog dejstva.

Prema opštoj klasifikaciji ratnih materijalnih sredstava, minsko-eksplozivna sredstva (MES) i minsko-eksplozivne prepreke (MEP) spadaju u ubojna sredstva (UbS), što se mora uvažavati i pri definisanju i matematičkom modeliranju efikasnosti protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka parčadnog dejstva.

Srednja verovatnoća uništenja pojedinačnih i grupnih objekata pri dejstvu bilo koje vrste UbS, zavisi od karaktera i jačine UbS, karakteristika tla, lokacije objekata i njihove otpornosti prema dejstvu pojedinih UbS, i ima opšti matematički oblik [2, 4]:

$$M(P(x, y)) = P_{sr}^u = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, y) f(x, y) dx dy \quad (1)$$

gde je:

- $M(P(x, y))$ — matematičko očekivanje verovatnoće uništenja objekata, jednako srednjoj verovatnoći uništenja P_{sr}^u ,
 $P(x, y)$ — koordinatni zakon uništenja objekata pri dejstvu UbS,
 $f(x, y)$ — gustina raspodele objekata u ravni Oxy.

Poznato je da neka UbS mogu istovremeno ispoljiti različite oblike (efekte) dejstva (fizičke, hemijske i sl.), a time imati i različite zakone uništenja $P(x, y)$ koji se mogu superponirati. Tako, na primer, kod nuklearnih UbS postoje sledeći oblici dejstva sa različitim zakonima uništenja objekata $P(x, y)$:

- rušeće dejstvo $P_1(x, y)$,
 - toplotno dejstvo $P_2(x, y)$,
 - radioaktivno dejstvo $P_3(x, y)$,
- a superponirano dejstvo iznosi:

$$P(x, y) = P_1 + P_2 + P_3 - P_1P_2 - P_1P_3 - P_2P_3 - P_1P_2P_3 \quad (2)$$

Kod UbS kumulativnog i parčadnog dejstva redovno se, pored osnovnog dejstva $P_1(x, y)$, javlja i dejstvo vazdušnog udarnog talasa (blast) $P_2(x, y)$, pa za njih zakon uništenja ima oblik:

$$P(x, y) = P_1 + P_2 - P_1P_2 \quad (3)$$

Opšti matematički model efikasnosti protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka parčadnog dejstva

Minsko-eksplozivne prepreke načelno se postavljaju ispred prednjeg kraja prvog i narednih položaja odbrane, a pri neposrednom dodiru između jurišnog položaja protivničke pešadije i prve linije sopstvenih rovova.

Iz načelnih taktičko-tehničkih pretpostavki izvođenja napada pešadije i rasporeda protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka, može se definisati taktičko-tehnički model napad streljačkog stroja pešadije sa jurišnog položaja na prednji kraj odbrane preko minsko-eksplozivnih prepreka (slika 1), koji omogućava uspostavljanje dinamičke veze između borbenog stroja (b/s) i MEP, i matematičku interpretaciju njihovog uzajamnog dejstva.

Sl. 1 — Taktičko-tehnički model napada b/s pešadije preko MEP parčadnog dejstva

Matematička veza između b/s pešaka, definisanog gustom raspodele $f(x, y)$ u ravni Oxy i minsko-eksplozivne prepreke, postavljene u istoj ravni, uspostavlja se preko koordinatnog sistema Oxy.

Kada streljački vodovi izvode juriš streljačkim odeljenjima u streljačkom stroju (najčešći oblik b/s) nastoji se da streljački stroj bude u jednoj liniji, sa rastojanjem između pešaka 5 do 6 m, kako bi što veći broj pešaka istovremeno upao u protivnikove rove i međusobno sadejstvovao. U praksi, međutim, može doći do većeg ili manjeg poremećaja pri kretanju pešaka, tako da se oni više ne kreću u liniji već su u većoj ili manjoj meri razasuti po nekoj površini. Do poremećaja u streljačkom stroju dolazi, uglavnom, po dubini, duž y-ose, dok je u pravcu x-ose približno ravnomerno raspodeljen. To znači da su gustine raspodele pešaka duž x-ose $f(x)$ i duž y-ose $f(y)$ nezavisne, pa je

$$f(x, y) = f(x) f(y) = \frac{1}{x_2 - x_1} f(y) \neq \text{const.} \quad (4)$$

Poznato je da sa rastojanjem r od mesta eksplozije projektila ili PP mine parčadnog dejstva istovremeno opadaju gustina i kinetička energija parčadi, a time i verovatnoća uništenja $P(x, y)$, pa je $P(x, y) \neq \text{const.}$ i $f(x, y) \neq \text{const.}$ U takvim uslovima srednja verovatnoća uništenja pešaka pri prelasku preko MEP bez izrade prolaza definisana je izrazom (1).

Izraz (1) predstavlja opšti matematički model efikasnosti MEP parčadnog dejstva, ali ne predstavlja opšti matematički model nagaznih MEP, jer je kod njih $P(x, y) = \text{const.}$ [2], što daje:

$$P_{sr}^u = P(x, y) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dx dy = \\ = P(x, y) = \text{const.}$$

jer je po definiciji $\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dx dy = 1, 0$

Pri definisanju efikasnosti projektila parčadnog dejstva uzima se da su živi ciljevi ravnomerno raspodeljeni u celoj ravni Oxy i da je $f(x, y) = \text{const.}$ Kada se ta vrednost $f(x, y)$ uvrsti u (1) dobija se:

$$P_{sr}^u = \frac{1}{D} \int_D \int_D P(x, y) dx dy = \frac{V}{D}$$

gde je:

D — posmatrani domen ravni Oxy,

V — zapremina ispod površine u prostoru $P(x, y)$.

U teoriji efikasnosti projektila parčadnog dejstva kao mera efikasnosti uzima se površina efikasnosti A_E , koja je brojčano jednaka zapremini ispod površine u prostoru $P(x, y)$:

$$A_E = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, y) dx dy = V = D P_{sr}^u \quad (5)$$

Zaprečna vrednost protivpešadijskih MEP predstavlja proizvod između veličine zaprečene površine A i srednje verovatnoće uništenja P_{sr}^u pešaka koji se nalaze na površini A [2, 4, 5]:

$$Z_v = A P_{sr}^u \quad (6)$$

Zaprečna vrednost MEP izrađene od jedne PP mine parčadnog dejstva brojčano je jednaka površini efikasnosti mine definisanoj po metodama za projektele parčadnog dejstva:

$$Z_v = A P_{sr}^u = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, y) dx dy = V = A_E \quad (7)$$

Zaprečna vrednost, kao i površina efikasnosti A_E , predstavlja potencijalnu efikasnost, definisanu pod pretpostavkom da su živi ciljevi ravnomerno raspoređeni u celoj ravni Oxy . Streljački stroj, međutim, nije u ravni Oxy raspoređen ravnomerno već neravnomerno prema izrazu (4).

Matematički model efikasnosti minsko-eksplozivne prepreke izrađene od jedne PP mine parčadnog dejstva

Savremene PP mine parčadnog dejstva mogu se podeliti na dve osnovne vrste:

— mine kružnog dejstva, čiji ugao dejstva iznosi 360° kao kod projektila parčadnog dejstva;

— mine usmerenog dejstva čiji je ugao dejstva manji od 360° .

Prema uslovima aktiviranja, PP mine parčadnog dejstva mogu biti:

— statičke, koje detoniraju u statičkim uslovima,

— odskočne, koje detoniraju u dinamičkim uslovima.

Statičke mine se ne ukopavaju već se postavljaju na kolac ili nožice na unapred određenu visinu H i na toj vi-

sini se aktiviraju. Odskočne mine se, u principu, ukopavaju u zemlju i aktiviraju u dve faze:

— u prvoj fazi se preko osnovnog upaljača aktivira izbacno (barutno) punjenje koje minu izbacuje vertikalno u vis;

— u drugoj fazi se na visini H , ili posle određenog vremena usporenja, aktivira donji upaljač koji aktivira eksplozivno punjenje.

Sl. 2 — Aktiviranje statičke i odskočne mine
a) statička mina, b) odskočna mina;

1 — mina, 2 — osnovni upaljač, 3 — donji upaljač, 4 — kolac

Košuljice statičkih PP mina parčadnog dejstva najčešće se izrađuju od sivog ili nodularnog liva. Mine usmerenog dejstva umesto košuljice imaju samo fragmentacionu oblogu na prednjem kraju, izrađenu od čeličnih kuglica ulivenih u plastičnu masu. Košuljice odskočnih mina najčešće se izrađuju kovanjem.

Eksplozivna punjenja statičkih PP mina najčešće su od presovanog ili livenog trotila, a punjenja odskočnih PP mina od heksolita.

Upaljači statičkih PP mina mogu biti mehanički i potezni, a upaljači odskočnih PP mina mehanički nagazno-potezni ili elektronski sa prekidnim bifilarnim kablom. PP mine usmerenog parčadnog dejstva kompletirane su, najčeš-

će, ručnim induktorima za dirigovano aktiviranje električnim putem i sa standardnim mehaničkim poteznim upaljačima.

Efikasnost ručnih bombi i MES parčadnog dejstva ispituje se po standardu SNO 5565/85 rasprskavanjem u oboru, izrađenom od rezane jelove-smrčove građe, debljine 25 mm. Obor se, načelno, sastoji od 4 sektora, uglovne širine 90° , postavljenih na propisanom rastojanju od centra u koji se postavlja mina ili ručna bomba (tabela 1). Rasprskavanje se vrši u realnim uslovima: statičke PP mine u statičkim uslovima, a odskočne u dinamičkim uslovima.

Tabela 1

R(m)	5	10	15	20	30	40
1	I	II	III	IV	—	—
2		I	II	III	IV	—
3			I	II	III	IV

Varijanta 1 iz tabele odnosi se na ručne bombe, a varijante 2 i 3 na PP mine parčadnog dejstva.

Gustina proboja mete (broj proboja po jedinici površine mete) po sektorima izračunava se po formuli:

$$n_i = N_i / G_i A_i \quad (\text{proboja/m}^2) \quad (8)$$

gde je:

N_i — broj proboja po sektoru,

A_i — površina sektora (m^2),

G_i — broj ispitanih mina (bombi).

Gustina proboja n_i prikazuje se dijagramom (slika 3) u funkciji rastojanja R iz tabele 1 i određuje radijus efikasnog dejstva (mine, bombe) R_e koji odgovara rastojanju R na kome je gustina proboja $n_i = 1$ proboj/ m^2 , ako u TTZ nije drugačije definisano.

Ako je raspodela parčadi pri razletanju Poasonova (bez grupisanja pro-

boja po parovima ili trojkama), tada je verovatnoća da će bar jedno parče probiti standardnu metu površine S na

Sl. 3 — Dijagram zavisnosti gustoće proboja od rastojanja

rastojanju $r = (x^2 + y^2)^{0,5}$ (u koordinatnom sistemu Oxy):

$$P(x, y) = P(r(x, y)) = 1 - e^{-n_i(r)S} = 1 - e^{-n_i(r)} \quad (9)$$

jer je, prema navedenom standardu, $S = 1 \text{ m}^2$.

Rastojanje na kome je gustina proboja $n_i = 0$ predstavlja maksimalni domet efikasne parčadi (parčadi koja probijaju standardnu metu) R_m , koji nije definisan standardom, što znači da standard ne omogućuje potpuno definisanje zakona uništenja živih ciljeva $P(x, y)$ prema izrazu (9).

Izraz (9), kao podintegralna funkcija izraza (1), nije pogodan za integraciju, pa se mora pribeci iznalaženju pogodne aproksimacije. U [4] je pokazano da je za PP mine parčadnog dejstva pogodna aproksimacija:

$$P(r(x, y)) = 1 - e^{-n_i(r)} = 1 - \left(\frac{r}{R_m} \right)^z \quad (10)$$

gde je:

$z = \text{const.}$ — parametar koji definiše srednju gustinu efikasne parčadi.

Parametar z može se približno odrediti metodom najmanjih kvadrata, a brzo i manje tačno (ali dovoljno u najvećem broju slučajeva) pomoću izraza (10), odakle je:

$$z = \frac{n_i}{1_n \frac{r}{R_m}}$$

Pošto je pri $r = R_e$, $n_i = 1,0$, to je za određenu konstrukciju mine

$$z = \frac{-1}{1_n \frac{R_e}{R_m}} = \text{const.} \quad (11)$$

Verovatnoća uništenja $P(x, y)$ u izrazu (1) u principu obuhvata i dejstvo vazdušnog udarnog talasa. Eksplozivno punjenje kod PP mina parčadnog dejstva ima relativno malu masu, 100 do 600 g, osim mina usmerenog dejstva kod kojih masa eksplozivnog punjenja iznosi 800 do 1000 g. Većina PP mina kružnog parčadnog dejstva ima relativno masivne košuljice, pa se veliki deo energije detonacije troši na rasprskavanje i transformiše u kinetičku energiju parčadi. Ako se tome doda da pritisak u vazdušnom udarnom talasu opada srazmerno trećem stepenu rastojanja od tačke eksplozije, verovatnoća uništenja živih ciljeva usled dejstva vazdušnog udarnog talasa mnogo je manja od verovatnoće uništenja usled parčadnog dejstva. Tako je, na primer, kod mina usmerenog parčadnog dejstva, čija masa eksplozivnog punjenja iznosi oko 0,8 kg, verovatnoća uništenja živih ciljeva usled dejstva vazdušnog udarnog talasa na rastojanju $r = 15$ m od tačke eksplozije približno nula, dok verovatnoća uništenja parčadnim dejstvom iznosi 0,99. Kod PP mina kružnog parčadnog dejstva verovatnoća uni-

štenja parčadnim dejstvom iznosi na rastojanjima oko 5 m od tačke eksplozije $P(r(x, y)) > 0,95$, a na rastojanjima oko 10 m približno $P(r(x, y)) = 0,9$, dok je verovatnoća uništenja usled dejstva vazdušnog udarnog talasa na tim rastojanjima približno $P(r(x, y)) = 0,3$ i $P(r(x, y)) < 0,1$ respektivno.

Energija vazdušnog udarnog talasa veoma malo doprinosi povećanju verovatnoće uništenja živih ciljeva $P(r(x, y))$ u realnim uslovima primene PP mine parčadnog dejstva, pa se može zanemariti. Stoga, izraz (10) za verovatnoću uništenja parčadnim dejstvom predstavlja konačan matematički model.

Ako su poznate vrednosti parametara R_e i R_m lako se može, pomoću izraza (10) i (11), definisati verovatnoća uništenja $P(r, z)$ za svaku vrednost rastojanja $r(x, y)$ od tačke eksplozije mine, čiji je dijagram prikazan na slici 4.

Sl. 4 — Dijagram verovatnoće uništenja $P(r(x, y)) = P(r, z)$
1 — $P(r(x, y)) = 1 - e^{-n_i}$, 2 — $P(r, z) = 1 - (r/R_m)^z$

Pomoću izraza (10) može se za određenu vrednost parametra z (konstrukciju mine) odrediti zaprečna vrednost Z_v i srednja verovatnoća uništenja P_{sr}^u ravnomerno raspodeljenih živih ciljeva u ravni Oxy. Kako je

$$\begin{aligned} Z_v &= V = \int_0^{R_m} P(r, z) dA = \\ &= \bar{u} \int_0^{R_m} (1 - (r/R_m)^z) r dr, \end{aligned}$$

posle integracije u datim granicama dobija se:

$$Z_v = V = \bar{u} R_m^2 \left(1 - \frac{2}{z+2} \right) = A P_{sr}^u \quad (12)$$

U tabeli 2 prikazani su komparativni računski podaci za PP mine kružnog parčadnog dejstva PMR-3, PROM-1 i PROM-2. Mina PMR-3 je statička mina sa košuljicom od sivog ili nodularnog liva i eksplozivnim punjenjem od live-nog TNT ili heksolita. Mina PROM-1 je odskočna mina sa košuljicom od kovanog granatnog čelika i eksplozivnim punjenjem od heksolita. Mina PROM-2 je

malnom raspodelom može definisati raspodela slučajnih veličina sa veoma malom (streljački stroj u liniji) i veoma velikom disperzijom (streljački stroj razasut po dubini), tako da se približava ravnomernoj raspodeli kada je disperzija veoma velika. Tako, na primer, pri disperziji $D=0,5$ streljački stroj se kreće skoro u liniji (dubina 3 do 4 km), a pri disperziji $D=40$ razasut je po dubini od nekoliko desetina metara i veoma blizak ravnomernoj raspodeli.

U teoriji verovatnoće gustina normalne raspodele slučajne veličine Y definisana je izrazom:

Tabela 2

Mina	Masa mine (kg)	Masa punjenja (kg)	R_m (m)	R_e (m)	z	A (m ²)	P_{sr}^u	Z_v
PMR-3	3,0	0,6	31	19	2	3020	0,5	1510
PROM-1	2,8	0,5	30	18	2	2827	0,5	1414
PROM-2	1,4	0,35	50	35	3	7854	0,6	4712

odskočna mina sa prefragmentisanom košuljicom i eksplozivnim punjenjem od presovanog TNT. Inicijacija detonacije punjenja se kod mina PMR-3 i PROM-1 vrši u jednoj tački, a kod mine PROM-2 pomoću posebno konstruisanog detonačionog procesora [4], [6].

Iz tabele 2 se vidi da PP mina PROM-2 ima dva puta manju ukupnu masu, za preko 40% manju masu znatno jeftinijeg i tehnološki pogodnijeg presovanog eksploziva (TNT), i više od tri puta veću zaprečnu vrednost (potencijalnu efikasnost) od PP mina PMR-3 i PROM-2.

Pošto pešaci nisu ravnomerno raspodeljeni u streljačkom stroju, za kvantitativnu ocenu efikasnosti PP mina parčadnog dejstva i MEP izrađenih od njih neophodno je definisati raspodelu duž y -ose u izrazu (4). Iz teorije verovatnoće je poznato da se sa tzv. nor-

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (13)$$

gde je:

m_y — matematičko očekivanje slučajne veličine Y ,

$\sigma_y = (D_y)^{0,5}$ — standardna devijacija,

D_y — disperzija slučajne veličine Y .

Pri normalnoj raspodeli slučajne veličine Y , u intervalu $m_y = \pm 3\sigma_y$, obuhvaćeno je 99,86% svih mogućih vrednosti (pešaka u b/s), pa se može uzeti da dubina b/s iznosi:

$$d = 6 \sigma_y \quad (14)$$

Uvrštavanjem relacije (14) u izraz (13) i (4) dobija se konačan matematič-

ki model gustine raspodele pešaka u b/s:

$$f(x, y) = f(x) f(y) = \frac{2,39}{d(x_2 - x_1)} \exp \left(- \frac{18(y - m_y)^2}{d^2} \right) \quad (15)$$

Ako se sa c obeleži rastojanje čela b/s od postavljene mine (x-ose) u praksi mogu nastati sledeći slučajevi:

— kada streljački stroj napada bez podrške tenkova ili se kreće ispred tenkova (BVP, OT), pešaci aktiviraju mine, pa je $c=0$ i $m_y=d/2$;

— kada se streljački stroj kreće iza tenkova (BVP, OT), tenkovi (BVP, OT) aktiviraju mine, pa je $c>0$ i $m_y=c+d/2$;

— kada se mine aktiviraju dirigovano u najpovoljnijem trenutku $c=-d/2$ i $m_y=0$.

Kada se streljački stroj kreće iza tenkova (BVP, OT) rastojanje čela stroja od tenkova (BVP, OT) najčešće je veće od maksimalnog dometa efikasne parčadi ($c>R_m$), tako da u trenutku kada tenkovi aktiviraju mine streljački stroj još nije ušao u zonu efikasnog

dejstva mina (MEP), usled čega je srednja verovatnoća uništenja b/s $P_{sr}^u=0$. Na slici 5 ilustrovan je uticaj načina aktiviranja mina u minsko-eksplozivnim preprekama na verovatnoću uništenja b/s.

U tabeli 3 prikazani su komparativni računski rezultati verovatnoće uništenja P_{sr}^u i matematičko očekivanje broja uništenih pešaka $M(N^u)$ iz sastava b/s streljačkog odeljenja pri prelasku preko MEP izrađenih od pojedinačnih PP mina PROM-1 i PROM-2, iz koje se, takođe, jasno vidi uticaj načina aktiviranja na realnu efikasnost MEP.

Može se uočiti da povećanje matematičkog očekivanja broja uništenih pešaka iznosi 20% do 50% pri dirigovanom aktiviranju mina PROM-1 i 10% do 35% pri dirigovanom aktiviranju mina PROM-2. Iz tabele, takođe, sledi da je pri istim uslovima aktiviranja matematičko očekivanje broja uništenih pešaka kod MEP izrađene od jedne PP mine PROM-2 veće 2 do 2,5 puta pri dejstvu protiv plitkih b/s, a 5 do 5,7 puta kod dubokih b/s nego kod MEP izrađena od jedne mine PROM-1.

Jedna mina PROM-2 može da zapreči front širine 100 m sa verovatnoćom uništenja 0,54 do 0,851, a mina

Sl. 5 — Uticaj načina aktiviranja mina na verovatnoću P_{sr}^u uništenja b/s:

a) pri dirigovanom aktiviranju, b) pri aktiviranju od strane pešaka iz b/s, c) pri aktiviranju mina tenkovima (OT, BVP)

Tabela 3

Mina	$R_m(m)$	$d(m)$	$m_y(m)$	z	N	P_{sr}^u	$M(N^u)$
PROM-1	30	30	15	2	6	0,455	2,73
"	"	30	0	"	"	0,633	3,80
"	"	18	9	"	"	0,560	3,36
"	"	18	0	"	"	0,680	4,08
"	"	48	24	"	"	0,162	0,97
"	"	48	0	"	"	0,243	1,46
PROM-2	50	30	15	3	10	0,680	6,80
"	"	30	0	"	"	0,750	7,50
"	"	18	9	"	"	0,721	7,21
"	"	18	0	"	"	0,851	8,51
"	"	48	24	"	"	0,540	5,40
"	"	48	0	"	"	0,730	7,30

PROM-1 front širine 60 m sa verovatnoćom uništenja 0,162 do 0,68.

Konačan matematički model efikasnosti MEP izrađene od jedne PP mine parčadnog dejstva glasi:

$$P_{sr}^u(1m) = \frac{2,39}{d(x_2 - x_1)} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left(1 - \left(\frac{r}{R_m} \right)^z \right) \exp \left(- \frac{18(y - m_y)^2}{d^2} \right) dx dy \quad (16)$$

Integral (16) ne može se rešiti analitički već numerički za određene vrednosti promenljivih u podintegralnoj funkciji. Rezultati, prikazani u tabeli 3, dobijeni su metodom Monte Karlo.

Matematički model efikasnosti minsko-eksplozivne prepreke od jednog reda PP mina parčadnog dejstva

Na slici 6 prikazana je šema nailaska streljačkog stroja na minsko polje od dva reda PP mina parčadnog dejstva, sa parametrima efikasnosti.

Može se uočiti da streljački stroj prvo nailazi na prvi red mina u minskom polju, a zatim ostatak streljačkog

stroja (ako produži napad) nailazi na drugi red mina. To znači da se nailazak streljačkog stroja na prvi red mina može posmatrati i kao nailazak na MEP izrađenu od jednog reda PP mina parčadnog dejstva.

Mine se u svakom redu postavljaju na međusobnom rastojanju L , koje je najčešće konstantno. Zbog moguće interakcije susednih mina rastojanje L je, po pravilu, veće od maksimalnog dometa efikasne parčadi R_m , pa na bilo kog pešaka u stroju mogu delovati samo dve susedne mine, koje se u trenutku aktiviranja nalaze na rastojanjima r_1 i r_2 od bilo kog pešaka koji se nalazi u nekoj tački $C(x, y)$, kao što je prikazano na slici 7.

Iz slike 7 se vidi da je: $r_1 = (x^2 + y^2)^{0,5}$ a $r_2 = ((L - x)^2 + y^2)^{0,5}$.

Na osnovu vrednosti r_1 i r_2 određuju se, po izrazu (10), verovatnoće uništenja pešaka P_1^m (od dejstva prve mine) i P_2^m (od dejstva druge mine), a zatim ukupna verovatnoća uništenja pri prelasku preko MEP između dve susedne mine:

$$\begin{aligned} P(r(x, y)) &= P(r, z) = 1 - \\ &= (1 - P_1^m)(1 - P_2^m) = \\ &= P_1^m + P_2^m - P_1^m P_2^m \end{aligned} \quad (17)$$

Pošto su rastojanja r_1 i r_2 slučajne veličine, to je i verovatnoća uništenja pešaka $P(r(x, y)) = P(r, z)$ slučajna veli-

Kada se izvrše odgovarajuće zame-
ne u izrazima (16) i (17) dobija se dosta
složen i glomazan izraz sa podintegral-

Sl. 6 — Parametri efikasnosti minskog polja izrađenog od dva reda PP mina parčadnog dejstva

Sl. 7 — Položaj pešaka iz sastava b/s u odnosu na dve susedne mine u trenutku aktiviranja jedne ili obe mine

čina, što zahteva odgovarajući postupak pri određivanju verovatnoće uništenja P_{sr}^u .

Verovatnoća $P_1^m = 1 - \left(\frac{r_1}{R_m}\right)^z$, a ve-

rovatnoća $P_2^m = 1 - \left(\frac{r_2}{R_m}\right)^z$.

nom funkcijom koja se ne može integriti analitičkim putem.

U tabeli 4 prikazani su komparativni računski rezultati, dobijeni metodom Monte Karlo, za MEP izrađene od jednog reda PP mina PROM-1 i PROM-2. Razmaci između susednih mina L uzimani su različito za jednu i drugu minu, kako se, zbog različitih vrednosti parametara efikasnosti ne bi dobili neupotrebljivi rezultati. Samo je, radi upoređenja, za obe mine uzet razmak $L = 60$ m.

Iz tabele 4 se vidi da je u svim slučajevima zadovoljavajuća efikasnost MEP izrađene od jednog reda PP mina PROM-2, čak i sa razmakom između susednih mina $L = 100$ m $= 2R_m$, dok kod MEP izrađene od jednog reda mina PROM-1 efikasnost nije zadovoljavajuća u velikom broju slučajeva, čak ni pri minimalnom razmaku između susednih mina $L = 30$ m $= R_m$.

Tabela 4

Mina	$R_m(m)$	$d(m)$	$m_y(m)$	z	$L(m)$	$P_{sr}^u(1)$
PROM-1	30	30	15	2	60	0,455
"	"	30	0	"	60	0,633
"	"	18	9	"	60	0,560
"	"	18	0	"	60	0,682
"	"	48	24	"	30	0,310
"	"	48	0	"	30	0,381
PROM-2	50	30	15	3	60	0,930
"	"	30	15	"	100	0,680
"	"	30	0	"	100	0,751
"	"	18	9	"	100	0,721
"	"	48	24	"	100	0,540
"	"	48	0	"	100	0,730

Matematički model efikasnosti minskog polja izrađenog od PP mina parčadnog dejstva

Razmak između susednih redova mina u minskom polju je, kao i kod susednih mina u istom redu, veći od maksimalnog dometa efikasne parčadi R_m . U takvim uslovima može se smatrati da je prelazak b/s preko pojedinih redova nezavisan, pa verovatnoća uništenja b/s ne zavisi od pretrpljenih gubitaka pri prelasku preko prethodnih redova mina, već samo od karakteristika reda mina preko koga prelazi. Ako su redovi mina identični, verovatnoća uništenja P_{sr}^u jednaka je za sve redove mina u minskom polju, ali je različito matematičko očekivanje broja uništenih pešaka $M(N^u) = NP_{sr}^u$ zbog pretrpljenih gubitaka (smanjenja broja pešaka N u b/s) pri prelasku preko prethodnih redova mina. Stoga je verovatnoća uništenja b/s pri prelasku preko minskog polja od n identičnih redova PP mina parčadnog dejstva jednaka:

$$P_{sr}^u(n) = 1 - (1 - P_{sr}^u(1))^n \quad (18)$$

gde je:

$P_{sr}^u(1)$ — verovatnoća uništenja b/s pri prelasku preko prvog reda mina.

Ako redovi mina u minskom polju nisu identični (različit razmak između mina L , različit način aktiviranja ili različita vrednost m_y), verovatnoća uništenja b/s pri prelasku preko minskog polja od n redova mina iznosi:

$$P_{sr}^u(n) = 1 - (1 - P_{sr}^u(1)) (1 - P_{sr}^u(2)) \dots (1 - P_{sr}^u(n)) \quad (19)$$

Celishodno je da se prednji redovi mina u minskom polju automatski aktiviraju pri nailasku b/s, jer su udaljeniji, pa se teško kontrolišu. Takođe je celishodno da se poslednji (n -ti) red mina aktivira dirigovanim putem u najpogodnijem trenutku (kada je $m_y = 0$) i tako ostvari maksimalni efekat parčadnog dejstva.

U tabeli 5 prikazani su računski rezultati verovatnoće uništenja b/s pri prelasku preko minskog polja od dva reda PP mina parčadnog dejstva, prikazanog na slici 6, u dva različita slučaja:

— kada su oba reda identična i aktivira ih protivnik ($m_y = d/2$), a verovatnoća uništenja označena je sa $P_{sr}^u(1, 1)$;

— kada su oba reda identična, ali prvi aktivira protivnik ($m_y = d/2$), drugi

je dirigovan ($m_y=0$), a verovatnoća uništenja je označena sa P_{sr}^u (1,2).

Iz prikazanih rezultata vidi se da dirigovano aktiviranje drugog reda PP mina povećava verovatnoću uništenja

preka. Moguće je, međutim, da se u najvećem broju praktičnih situacija primene uprošćene metode određivanja efikasnosti neslučajnim postupkom, na osnovu prikupljenih podataka

Tabela 5

Mina	$R_m(m)$	$d(m)$	z	$L(m)$	$P_{sr}^u(1,1)$	$P_{sr}^u(1,2)$
PROM-1	30	30	2	60	0,703	0,800
"	"	18	"	60	0,806	0,860
"	"	48	"	30	0,524	0,573
PROM-2	50	30	3	100	0,898	0,974
"	"	18	"	100	0,922	0,943
"	"	48	"	100	0,788	0,876
"	"	30	"	60	0,995	0,999

b/s za oko 10% u odnosu na slučajno aktiviranje oba reda PP mina od strane pešaka iz sastava b/s, što znači da će pri prelasku streljačkog odeljenja preko MEP od dva reda PP mina, pri dirigovanom aktiviranju biti uništen jedan pešak više, što nije beznačajno.

Iz prikazanih rezultata se, takođe, vidi da je za izradu efikasne zaštitne MEP dovoljan jedan red PP mina PROM-2, sa rastojanjem između susednih mina $L=100$ m ili dva reda PP mina PROM-1 sa rastojanjem između mina $L=30$ m.

Uprošćene metode određivanja efikasnosti PP minsko-eksplozivnih prepreka parčadnog dejstva

Izvedeni matematički modeli efikasnosti protivpešadijskih MEP parčadnog dejstva definisani su primenom teorije verovatnoće i slučajnih procesa i predstavljaju srednju vrednost svih mogućih varijanti b/s i MEP. Oni su osnova za dalja teorijska i razvojna istraživanja, za konstruisanje novih PP mina parčadnog dejstva i definisanje pravila za izradu minsko-eksplozivnih pre-

i iskustava u izvođenju napada pešadije preko MEP.

U okviru procene situacije pretpostavljaju se moguće varijante napada protivničke pešadije i raspodele pešaka u b/s pri prelasku preko MEP, a zatim se na osnovu ostalih elemenata procene situacije odredi taktički položaj MEP i potrebni nivo efikasnosti (verovatnoće uništenja b/s ili »zaprečne vrednosti«).

Ako se, na primer, proceni da protivnik izvodi juriš sa streljačkim strojem u kome se komandir odeljenja i snajperista kreću zajedno iza ostalih pešaka i da dozvoljava da se stroj razredi po dubini, kao što je prikazano na slici 8 i u tabeli 6, lako se može odrediti verovatnoća uništenja takvog b/s pri prelasku preko bilo koje minsko-eksplozivne prepreke. Na slici 8 je za primer uzeto minsko polje od dva reda PP mina PROM-1, sa rastojanjem između mina $L=50$ m i između redova takođe $L_r=50$ m.

Kao što se vidi sa slike 8, pešak br. 8 se ne nalazi u zoni efikasnog dejstva nijedne postavljene mine, dok se samo

pešak br. 3 nalazi istovremeno u zoni efikasnog dejstva prve i druge mine, a ostali u zoni dejstva samo jedne mine.

za red mina $P_{sr}^u(r) = \sum_{i=1}^{10} P_i^u = 0,487$;
za minsko polje $P_{sr}^u(m/p) = 0,737$.

Sl. 8 — Skica napada streljačkog odeljenja preko minskog polja od dva reda mina

Tabela 6

Pešaci	x(m)	y(m)	r ₁ (m)	r ₂ (m)	r ₃ (m)	P _{m1} ^u	P _{m2} ^u	P _{m3} ^u
1	4,0	20,0	20,40	50,17	98,10	0,538	0,0	0,0
2	13,0	12,0	17,70	39,17	87,83	0,652	0,0	0,0
3	26,0	6,0	26,68	24,74	73,25	0,209	0,32	0,0
4	38,0	0,0	38,00	12,00	62,0	0,0	0,84	0,0
5	52,0	28,0	58,00	28,07	55,57	0,0	0,124	0,0
6	56,0	26,0	61,74	26,68	52,84	0,0	0,209	0,0
7	63,0	4,0	13,60	13,60	37,22	0,0	0,794	0,0
8	75,0	20,0	77,62	32,00	32,02	0,0	0,0	0,0
9	84,0	15,0	85,33	38,80	21,93	0,0	0,0	0,466
10	95,0	13,0	95,88	46,84	13,93	0,0	0,0	0,784

Verovatnoća uništenja pešaka br. 3 superponira se po formuli:

$$P_3^u = P_1^u + P_2^u - P_1^u P_2^u = 0,209 + 0,32 - 0,209 \cdot 0,32 = 0,462.$$

Srednja verovatnoća uništenja b/s je:

Srednja verovatnoća uništenja svih mogućih kombinacija normalne raspodele pešaka u b/s, pri prelasku preko minskog polja prikazanog na slici 8, određenog metodom Monte Karlo, iznosi $P_{sr}^u = 0,75$ ili 1,3% više nego u iznetom primeru.

Verovatnoća uništenja b/s, prikazanog na slici 8, pri prelasku preko jednog reda PP mina PROM-2, sa međusobnim razmakom $L=100$ m, iznosi $P_{sr}^u=0,65$, a srednja verovatnoća uništenja svih kombinacija normalno raspodeljenih pešaka u b/s, određena metodom Monte Karlo, iznosi $P_{sr}^u=0,68$ ili 3% više. U oba slučaja, dakle, razlika se nalazi u sasvim prihvatljivim granicama.

Zaključak

Kao i matematički modeli efikasnosti nagaznih minsko-eksplozivnih prepreka [2], tako i matematički modeli efikasnosti minsko-eksplozivnih prepreka parčadnog dejstva izvedeni su iz opšteg matematičkog modela efikasnosti ubojnih sredstava, čime je dokazana hipoteza da matematički modeli efikasnosti svih vrsta minsko-eksplozivnih prepreka predstavljaju partikularne varijante opšteg matematičkog modela efikasnosti ubojnih sredstava.

Izvedeni matematički modeli efikasnosti raznih tipova minsko-eksplozivnih prepreka parčadnog dejstva primenjivi su u teorijskim i razvojnim istraživanjima, kao i u rešavanju praktičnih taktičko-tehničkih problema.

Kvantitativne analize definisanih matematičkih modela pokazuju da presudan uticaj na efikasnost minsko-eksplozivnih prepreka parčadnog dejstva imaju konstrukcioni parametri mina, pre svega maksimalni domet efikasne parčadi R_m i prosečna gustina parčadi z .

Za zaprečavanje odsečka zemljišta frontalne širine 100 m, sa srednjom verovatnoćom uništenja b/s, $P_{sr}^u=0,65$ do 0,70 potrebna je jedna PP mina parčadnog dejstva PROM-2 ili četiri PP mine parčadnog dejstva PROM-1, odnosno PMR-3, ili oko 2500 nagaznih PP mina sa nagaznom površinom oko 100 cm^2 .

Za razliku od nagaznih protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka, protivpešadijskim minsko-eksplozivnim preprekama parčadnog dejstva se može, po potrebi, upravljati, što predstavlja dodatnu prednost u odnosu na nagazne protivpešadijske minsko-eksplozivne prepreke. Jedina prednost nagaznih protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka je u tome što mogu u celini biti nemetalne, pa se ne mogu detektovati minoistraživačima. Zabranom proizvodnje i upotrebe nagaznih PP mina koje se ne mogu detektovati povećava se značaj protivpešadijskih minsko-eksplozivnih prepreka i mina parčadnog dejstva.

Literatura:

- [1] Novaković, M.: Zaprečna vrednost protivpešadijskih i mešovitih minskih polja, Vojni glasnik 1/1979.
- [2] Novaković, M.: Efikasnost nagaznih protivpešadijskih minskoeksplozivnih prepreka, Vojnotehnički glasnik 3/1995.
- [3] Novaković, M.: Protivpešadijske rasprskavajuće mine, Naučno-tehnička informacija, VTI, 1974, br. 19.
- [4] Novaković, M.: Doprinos teoriji konstruisanja protivpešadijskih mina parčadnog dejstva, doktorska disertacija, VTA, 1993.
- [5] Novaković, M.: Osnovni parametri efikasnosti protivpešadijskih mina i projektila parčadnog dejstva, Naučno-tehnički pregled, 3/1995.
- [6] Novaković, M.: Funkcionalna veza između konstrukcionih parametara i parametara razletanja parčadi protivpešadijskih mina parčadnog dejstva, Zbornik radova XV simpozijum JKEM, T. Užice, 1984.
- [7] Zaprečavanje i savlađivanje prepreka, VIZ, 1976.
- [8] Inženjerijski priručnik I, VIZ, 1975.