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

VEROVATNOĆA AKTIVIRANJA NAGAZNIH PROTIVOKLOPNIH MINA

UDC: 623.36.017

Rezime:

U radu su date osnovne karakteristike borbenih i transportnih vozila od kojih zavisi aktiviranje nagaznih protivoklopnih mina, konstrukcione karakteristike sistema aktiviranja nagaznih protivoklopnih mina i fizičke karakteristike tla u suvom, vlažnom i zamrznutom stanju i iz njih izvedeni osnovni parametri koji funkcionalno povezuju vozila, mine i tlo, kao jednačine opterećenja ukopanih i neukopanih mina pri nailasku vozila. Definisane su konačne jednačine verovatnoće aktiviranja nagaznih protivoklopnih mina u zavisnosti od relevantnih konstrukcionih karakteristika borbenih i transportnih vozila, konstrukcionih karakteristika mina i fizičkih karakteristika tla.

Ključne reči: mine, protivoklopne (protivtenkovske) mine, nagazne protivoklopne (protivtenkovske) mine.

THE PROBABILITY OF THE ACTIVATION OF THE CONTACT ANTI-TANK MINES

Summary:

This article gives the basic characteristics of armored and transportation vehicles and the main types of contact anti-tank mines together with characteristics of the soil (in the dry, wet or frozen state) where mines are placed (buried or scattered) and appropriate illustrations. The basic parameters of the reactions of the vehicles are also presented, mines and soils are defined together with the conditions of the activation and the equations of the load under coming vehicles both for buried and unburied mines. Also are defined the equations of the probability of activation of mines depending on construction characteristics of vehicles, physical parameters of the soil and construction characteristics of mines.

Key words: conventional anti-tank mines, anti-tank contact mines, anti-tank pressure mines.

Uvod

Na verovatnoću aktiviranja nagaznih protivoklopnih mina utiče veći broj faktora slučajnog i neslučajnog karaktera, od kojih su najznačajniji: osnovne konstrukcione karakteristike mina i metode njihovog postavljanja; osnovne tehničke karakteristike borbenih i

transportnih vozila protiv kojih su mine namenjene i osnovne karakteristike zemljišta (tla) na koje se mine postavljaju.

S obzirom na to da se u svetu i kod nas u naoružanju još uvek nalaze i nagazne protivoklopne (PO) mine, od interesa je da se analizira verovatnoća njihovog aktiviranja.

Osnovne karakteristike borbenih i transportnih vozila

Osnovne karakteristike borbenih i transportnih vozila koje mogu uticati na aktiviranje nagaznih PO mina su: borbeni masa vozila, specifični pritisak na tlo, dužina naleganja gusenice, širina traga gusenice, konstrukcija točkova i klirens [1].

U razvijenim zemljama već duže vreme se osnovne karakteristike borbenih i transportnih vozila, značajne za vezu sa karakteristikama PO mina, definišu kao fizička polja koja se javljaju oko vozila pri njihovom kretanju. Najznačajnija su: polje sila, polje pritiska, polje vibracija, zvučno polje, magnetno polje i toplotno polje [2]. Za aktiviranje nagaznih PO mina relevantno je, pre svega, polje pritiska.

Polje pritiska se javlja ispod članka gusenica kod guseničnog vozila i ispod pneumatika kod vozila točkaša. Intenzitet polja pritiska ispod guseničnog vozila predstavlja odnos između intenziteta sile koja opterećuje članak gusenice i površine tog članka. Kod vozila točkaša intenzitet pritiska na tlo predstavlja odnos između intenziteta sile koja opterećuje točak i površine naleganja pneumatika na tlo.

Sila opterećenja članka gusenice najveća je ispod oslonog točka, a najmanja na sredini između susednih točkova. Intenzitet opterećenja članaka gusenice u statičkom položaju, na ravnom tlu, iznosi, na primer, 30 000—36 000 N za tenkove i druga teška vozila, i 10 000—15 000 N za laka oklopna vozila.

Na nagnutom tlu pritisak nije jednak pod svim oslonim točkovima, već se linearno povećava u negativnom smeru nagiba [3]. Za aktiviranje nagaznih PO mina znatno veći značaj ima poprečni nego uzdužni nagib tla u odnosu na uzdužnu osu simetrije vozila.

Kod vozila točkaša opterećenje se na ravnom tlu ravnomerno prenosi sa osovina na točkove, pa pritisak na tlo ispod točkova jedne osovine iznosi:

$$p_{sr} = \frac{F}{nA} \quad (1)$$

gde je:

F — sila opterećenja osovine,

n — broj točkova na jednoj osovini,

A — površina naleganja pneumatika na tlo.

Površina naleganja pneumatika na tlo proporcionalna je njegovom sabijanju, i obrnuto proporcionalna pritisku vazduha u pneumaticu. Najčešće se uzima da je pritisak pneumatika na tlo jednak pritisku vazduha u pneumaticu [3].

Osnovne karakteristike nagaznih protivoklopnih mina

Nagazne PO mine postavljaju se na površinu tla ili se ukopavaju u tlo i maskiraju slojem zemlje. Aktiviraju se pri nailasku gusenice ili točka na nagazni poklopac ili neposredno na upaljač mine i to u trenutku kada se sila opterećenja nagaznog poklopca (upaljača) izjednači sa silom aktiviranja mine.

Sila aktiviranja nagaznih PO mina slučajna je veličina, jer se razlikuje od mine do mine kod iste konstrukcije i iste serije izrade, zbog rasipanja vrednosti uticajnih parametara, a raspodeljena je po normalnom (Gausovom) zakonu:

$$F_a = F_a^{sr} \pm 3\sigma \quad (2)$$

gde je:

F_a^{sr} — srednja vrednost sile aktiviranja,

σ — standardna devijacija.

Kod do sada poznatih konstrukcija nagaznih PO mina sila aktiviranja kreće se u granicama 1 200—3 600 N, a izuzetno i do 5 000 N. Međutim, u određenim konstrukcijama, sila aktiviranja je u granicama koje su znatno uže, na primer 1 200—2 000 N ili 1 800—3 500 N. Kod mine TMRP-6 sa osiguravajućim prstenom i bez poluge ona iznosi do 5 000 N.

Nagazne PO mine aktiviraju se preko posebnog mehanizma (sistema) aktiviranja. Svi do sada poznati mehanizmi aktiviranja mogu se podeliti na krute, elastične i plastične.

Kruti sistemi aktiviranja

Karakteristike krutih sistema su relativno male deformacije elemenata, nastale pod dejstvom sile aktiviranja i linearnog porasta sile otpora.

Ako se aktiviranje vrši neposredno preko upaljača (kao kod mina TMA-3 i TMA-4), tada je sila aktiviranja mine jednaka sili aktiviranja upaljača ($F_a = F_u$) (slika 1a).

Ako se sistem aktiviranja sastoji od dva posebna sklopa: za prenos opterećenja i upaljača (kao što je slučaj kod mina TMA-1, TMA-2, TMA-5 i TMA-5A), tada sila opterećenja prvo deluje na sklop za prenos opterećenja, a posle savlađivanja njegovog otpora (najčešće loma) deluje na upaljač. Pošto između sklopa za prenos opterećenja i upaljača postoji izvestan zazor f_0 , dijagram opterećenje-deformacija sastoji se od dva odvojena dela, pa je sila aktiviranja jednaka sili otpora sklopa za prenos opterećenja $F_a = F_p$ (slika 1b).

a)

b)

Sl. 1 — Opšti izgled dijagrama opterećenje-deformacija krutog sistema aktiviranja: a) aktiviranje neposredno preko upaljača, b) aktiviranje preko sistema za prenos opterećenja

Kod elastičnih sistema aktiviranja nagaznih PO mina deformacija sistema aktiviranja nije trajna već elastična, pa se funkcionalni delovi po prestanku opterećenja vraćaju u prvobitni položaj, ukoliko su opterećeni silom manjom od sile aktiviranja mine.

Ako se mina aktivira neposredno preko upaljača, tada je, kao i kod krutih sistema, sila aktiviranja mine jednaka sili aktiviranja upaljača ($F_a = F^u$).

Kada se sistem aktiviranja sastoji od dva odvojena sklopa, za prenos opterećenja i upaljača sile otpora se superponiraju, pa je sila aktiviranja mine jednaka njihovom zbiru ($F_a = F_p + F^u$). Obično je sila otpora sklopa za prenos opterećenja definisana oprugom sa prednaponom $F_o = C_p f_o$, pa je sila aktiviranja definisana izrazom (slika 2):

$$F_a = F_p + F^u = C_p(f_p + f_o) + C_u f_u \quad (3)$$

gde je:

C_p — krutost opruge sklopa za prenos opterećenja,

C_u — krutost opruge upaljača.

Sl. 2 — Dijagram elastičnog sistema aktiviranja sa odvojenim sklopom za prenos opterećenja

Osnovni elementi plastičnog sistema aktiviranja nagaznih PO mina imaju relativno nisku granicu elastičnosti, pa se već pri relativno niskim opterećenjima trajno deformišu. Obično se izrađuju od tankih čeličnih limova visoke plastičnosti, kao što je to lim nagaznog poklopca PO mine TMM-1.

Plastični sistem aktiviranja najčešće se sastoji od dva odvojena sklopa: nagaznog poklopca i upaljača (kao kod mine TMM-1). Sila otpora nagaznog poklopca i sila aktiviranja upaljača se superponiraju. Tim silama često treba dodati i silu otpora sabijenog vazduha u šupljini nagaznog poklopca, pa je sila aktiviranja mine definisana izrazom (slika 3):

$$F_a = F_p + F^{vz} + F^u \quad (4)$$

gde je:

F_p — sila otpora deformaciji poklopca,

F^{vz} — sila otpora sabijanju vazduha,

F^u — sila aktiviranja upaljača.

Uprošćeni izraz za silu otpora deformaciji poklopca ima oblik:

$$p = \frac{\pi d b^2 \sigma_r}{2a} \quad (5)$$

Sl. 3 — Dijagram opterećenje-deformacija plastičnog sistema aktiviranja

gde je:

- d — prečnik krutog dela poklopca,
- b — debljina lima koji se deformiše,
- a — širina deformacionog pojasa (venca) poklopca mine,
- σ_r — napon lima na granici razvlačenja.

Ako je poklopac dobro zaptiven, sila otpora vazduha može se predstaviti izrazom:

$$F^{vz} = p_1 A_n \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{\Delta V}{V_1} \right)^k} \right] \quad (6)$$

gde je:

- p_1 — početni pritisak vazduha,
- A_n — površina krutog dela poklopca mine,
- V_1 — početna zapremina vazduha,
- ΔV — razlika između početne i konačne zapremine vazduha,
- k — eksponent adijabate.

Sila aktiviranja upaljača definisana je kao i kod drugih opisanih sistema aktiviranja.

Osnovne karakteristike zemljišta

Otpori tla prema vertikalnom opterećenju i smicanju predstavljaju osnovne faktore prohodnosti zemljišta za motorna vozila. Istovremeno, ovi faktori imaju najznačajniju ulogu u procesu aktiviranja nagaznih PO mina, prilikom prelaska motornih vozila.

Analogno obliku i karakteru osnovnih modela za ispitivanje ponašanja tla pri vertikalnim opterećenjima, koji se primenjuju u mehanici tla, lokalno opterećenje tla koje izaziva gusenično vozilo može se uzeti kao opterećenje tla preko krute pločice [4, 5].

Deformacija tla pri vertikalnom opterećenju sastoji se najčešće od sabijanja i bočnog pomeranja. Pri manjim opterećenjima deformacija tla sastoji se, uglavnom, od sabijanja, a pri većim opterećenjima sve češće poprima karakter bočnog smicanja.

Ako se pritisak članka gusenice označi sa p , a dubina prodiranja članka sa z , veza između pritiska i propadanja članka prikazana je na slici 4, a lokalna pomeranja koja se pri tome javljaju na slici 4b.

Sl. 4 — Prodiranje pločice u tlo u zavisnosti od opterećenja

Prva faza deformacije (odsečak a) sastoji se od sabijanja i kod slabo stišljivog tla predstavlja približno pravu liniju. Prodiranje pločice je u ovoj fazi relativno malo. Pri daljem povećanju opterećenja, uporedo sa sabijanjem javlja se i bočno smicanje, a usled toga i neravnomernije prodiranje pločice u tlo (odsečak b). Kada opterećenje dostigne neku kritičnu vrednost, dolazi do naglog prodiranja pločice u tlo sa istovremenim istiskivanjem dela tla u bočne strane (odsečak c). Granični pritisak p_g , pri kome prestaje otpor tla, naziva se graničnom nosećom sposobnošću tla.

Na otpor tla u velikoj meri utiče njegova poroznost. U praksi se to naj-

bolje ogleda pri višestrukom naizmeničnom opterećenju, kao i kod guseničnih vozila. Veza između koeficijenta poroznosti i spoljašnjeg pritiska može se izraziti uprošćenim izrazom:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - \frac{1}{B} \ln p \tag{7}$$

gde je:

- ε — koeficijent poroznosti pri pritisku p ,
- ε_0 — koeficijent poroznosti pri pritisku $p_0 = 1 \text{ daN/cm}^2$,
- B — bezdimenzionalni koeficijent koji karakteriše stišljivost tla i ne zavisi od opterećenja.

U tabeli 1 prikazane su eksperimentalne vrednosti parametara ε_0 i B za neke karakteristične vrste tla.

Tabela 1

Vrsta tla	ε_0	B
Krupno i srednje-zrnasti pesak	$< 0,4$	do 100
Sitnozrnasti pesak	$0,4 - 0,5$	25—75
Prašinasto tlo	$0,5 - 0,65$	10—25
Glinasto tlo srednje gustine	$> 0,65$	10—15
Peščano i glinasto tlo sa više od 50% prašine i jako stišljivo glinasto tlo sa slojevima peska	$0,7 - 0,85$	5—10
Jako stišljivo tlo	> 1	< 5

Otpor tla prema smicanju definisan je odnosom napona i spoljašnjeg pritiska, a naziva se koeficijentom smicanja:

$$f_s = \frac{\tau}{p} = \operatorname{tg} \Psi \tag{8}$$

gde je:

Ψ — ugao smicanja.

Pri praktičnom izračunavanju napona na smicanje primenjuje se linearna zavisnost:

$$\tau = p \operatorname{tg} \varphi_0 + C_0 \tag{9}$$

gde je:

- C_0 — ugao unutrašnjeg trenja između čestica tla,
- φ_0 — sila prijanjanja između čestica tla.

Na slici 5 prikazan je dijagram napona na smicanje pri različitim opterećenjima, a u tabelama 2 i 3 eksperimentalni rezultati za ugao trenja φ_0 i silu prijanjanja C_0 .

Sl. 5 — Dijagram napona na smicanje pri različitim opterećenjima

Ako se koordinatni sistem postavi na konkretnoj površini između članka gusenice i tla, a koordinate usmere kao na slici 6, tada je za aktiviranje nagaznih PO mina važna raspodela vertikalnog normalnog napona σ_z po dubini tla (u smeru z-ose) i bočno od gusenice (u smeru x-ose), dok raspodela u smeru uzdužne ose gusenice nema značaja, jer se opterećenje duž te ose prenosi kontinualno preko oslonih točkova [6].

Izraz koji dosta dobro definiše promenu pritiska sa dubinom z ima oblik:

$$p = C z^m \tag{10}$$

C i m — parametri tla, prikazani u tabelama 4 i 5.

$$p_k = \frac{p}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{y}{b}\right)^2}} \quad (11)$$

p — pritisak ispod pločice (članka),
b — širina pločice (članka),
y — rastojanje od sredine pločice do
posmatrane tačke.

Iz izraza (11) sledi da je napon na ivicama pločice beskonačno veliki. Pošto tlo ne može da izdrži tako veliki napon, blizu krajeva pločice dolazi do

Sl. 6 — Krive jednakih normalnih
napona ($\tau_x = \text{const.}$)

Pri kretanju vozila točkaša, do deformacije tla ne dolazi samo usled vertikalnog opterećenja mase vozila već i usled dejstva horizontalnih sila: vučne sile (koja deluje na slobodne točkove) i sile obrtnog momenta (koja deluje na pogonske točkove). Rezultanta tih sila odstupa od vertikale u zavisnosti od otpora kotrljanju točkova.

Veza između rezultante vertikalnog opterećenja vučne sile vozila i dubine kolotraga može se odrediti iz prikaza na slici 7.

Sl. 7 — Skica određivanje dubine kolotraga točka sa pneumatikom

Ako na elementarnu površinu oboda točka, dužine dl i širine B , deluje elementarna sila reakcije tla $q_z B dl$, tada je vertikalna komponenta te sile $q_z B \cos \alpha dl$, a ukupni otpor prodiranja točka u tlo:

$$Q = \int_0^a q_z B \cos \alpha \, dl \quad (12)$$

$q_z = C z^m$	— otpor tla na dubini z ,
B	— širina pneumatika,
α	— ugao između vertikale i pravca sile reakcije tla,
a	— horizontalna projekcija dužine kontaktnog luka dl između točka i tla.

Iz slike 7 sledi da je $a \approx \sqrt{DH}$, $z \approx H \left(1 - \frac{x^2}{DH}\right)$ Posle uvođenja smena i sređivanja dobija se ukupni otpor prodiranju točka:

$$Q = CBH^m \int_0^a \left(1 - \frac{x^2}{DH}\right)^m dx$$

Integral se ne može rešiti neposredno. Posle razvijanja u red izraza u zagradi, i uzimanja za integraciju prva dva člana, dobija se:

$$Q = CB \left(1 - \frac{m}{3}\right) H^m \sqrt{DH} \tag{13}$$

Ako se na isti način integrišu horizontalne komponente reakcije tla dobija se vučna sila vozila u funkciji dužine kolotraga:

$$Q' = CB \frac{H^{m+1}}{m+1} \tag{14}$$

U tabelama 2 i 3 dati su eksperimentalni podaci o parametrima C_0 i ϕ_0 tangencijalnog napona, a u tabelama 4 i 5 o parametrima normalnog napona C i m [4].

Tabela 2

Parametri C_0 i ϕ_0

Vrsta tla	Noseća sposobnost tla (daN/cm ²)	C_0 (daN/cm ²)	ϕ_0 (°)
Vlažnost niža od granice plastičnosti			
Laka ilovača	3,5 — 7	0,5 — 1	24 — 25
Ilovača	4,5 — 9	0,6 — 1,2	21 — 23
Glina	5 — 10 (i više)	0,75 — 1,5	15 — 20
Vlažnost jednaka granici plastičnosti			
Laka ilovača	2,5 — 5	0,35 — 0,75	21 — 22
Ilovača	3,5 — 6	0,4 — 0,8	18 — 20
Glina	3,5 — 7	0,5 — 1,0	11 — 17
Vlažnost 55—75% granice tekućeg stanja			
Laka ilovača	1 — 2,5	0,15 — 0,35	19 — 20
Ilovača	1,75 — 3	0,25 — 0,4	16 — 18
Glina	2 — 3	0,3 — 0,5	7 — 15
Vlažnost na granici tekućeg stanja			
Laka ilovača	0,7 — 0,8	0,10 — 0,12	16 — 18
Ilovača	0,6 — 0,9	0,10 — 0,15	12 — 15
Glina	0,5 — 0,9	0,10 — 0,15	3 — 11
Vlažnost iznad granice tekućeg stanja			
Laka ilovača	0,3 — 0,6	0,0 — 0,05	10 — 16
Ilovača	0,2 — 0,4	0,01 — 0,1	3 — 9
Glina	0,1 — 0,3	0,03 — 0,1	0 — 6

Tabela 3

Parametri C_0 i φ_0 za pesak

Pesak	Koefici-jent po-roznosti	C_0 (daN/ /cm ²)	$\varphi_0(^{\circ})$
Krupno-zrnasti	0,41 — 0,5	0,02	43
	0,51 — 0,6	0,01	40
	0,61 — 0,7	—	38
Srednje-zrnasti	0,41 — 0,5	0,03	40
	0,51 — 0,6	0,02	38
	0,61 — 0,7	0,01	35
Sitno-zrnasti	0,41 — 0,5	0,06	38
	0,51 — 0,6	0,04	34
	0,61 — 0,7	0,02	32
Prašinasti	0,41 — 0,5	0,08	36
	0,51 — 0,6	0,06	34
	0,61 — 0,7	0,04	40

Tabela 4

Parametar C $\left(\frac{\text{daN}}{\text{cm}^3}\right)$

Vrsta tla	Stanje tla		
	Suvo	Plastično	Tekuće
Pesak	1,5 — 5	—	—
Zemlja pe-skuša	10 — 15	2 — 6	0,5 — 1
Optimalna mešavina	10 — 15	3 — 7	0,5 — 1
Ilovača	10 — 15	1 — 5	0,5 — 1
Glina	15 — 25	1 — 2	0,5 — 1
Mešavina šljunka	15 — 25	5 — 10	—

Tabela 5

Parametar m

Vrsta tla	Vrednost parametra
Blato u tekućem stanju	0
Plastično koherentno tlo i pesak u suvom stanju	0,5
Suvo meko tlo	1,0
Rastresito sabijeno tlo i rastresiti sloj na gušćim podslojevima	1—2

Dati podaci o mehaničkim parametrima tla ne važe za zamrznuto tlo. Za njega osnovni značaj ima agregatno stanje sastavnih komponenti.

Mineralne čestice i led predstavljaju tvrdi fazu, pa se u slučaju potpunijeg zamrzavanja tlo može smatrati neprekidnom tvrdom sredinom. Zato, sve zakonitosti, zasnovane na pretpostavkama o slobodnom smanjenju i istiskivanju vode i vazduha, ne važe u slučaju zaleđivanja.

Čvrstoća zamrznutog tla zavisi od čvrstoće sastavnih komponenti — skeleta i leda, i od sila prijanjanja na kontaktnoj površini između leda i mineralnih čestica. Tokom višegodišnjih laboratorijskih ispitivanja otpornosti zamrznutog tla na pritisak (sabijanje) utvrđene su sledeće opšte zavisnosti [4]:

— otpornost zamrznutog tla na pritisak uvećava se sa sniženjem temperature;

— uvećanje procenta leda u tlu do potpune popune pora takođe uvećava otpornost zamrznutog tla na pritisak, dok uvećanje procenta leda preko ove granice ne uvećava otpornost, već je u mnogim slučajevima smanjuje;

— glinasto zamrznuto tlo ima manju otpornost na pritisak od zamrznutog peščanog tla.

Otpornost zamrznutog tla na smicanje takođe se uvećava sa sniženjem temperature. I u ovom slučaju maksimalna otpornost se javlja pri potpunoj popuni pora ledom, ali je uticaj sadržaja leda manji nego pri sabijanju.

Verovatnoća aktiviranja nagaznih PO mina

Vozila ne opterećuju ukopane nagazne PO mine neposredno već preko zaštitnog (maskirnog) sloja zemlje (snega, leda) različitih fizičkih osobina. Neukopane nagazne PO mine mogu se smatrati graničnim slučajem ukopanih mina kada debljina maskirnog sloja h teži nuli.

Iz prikazanih karakteristika mina, vozila i tla vidi se da se, u pogledu uslova aktiviranja nagaznih PO mina, gusenična vozila i vozila točkaši znatno razlikuju. Članci gusenice su međusobno zglobno povezani, pa se može smatrati da se pritisak na minu prenosi preko jednog ili dva članka i to u trenutku kada preko nje prelazi osloni točak. Pošto članci gusenice imaju veliku krutost, može se pretpostaviti da predstavljaju apsolutno krute pločice pravougaonog oblika, čija je duža strana jednaka širini gusenice b , a kraća strana širini članka a . Površina tla na koju deluje članak gusenice u ravni nagazne površine mine, ispod maskirnog sloja debljine h , iznosi:

$$A = (a + 2h \operatorname{tg} \Psi) (b + 2h \operatorname{tg} \Psi) \quad (15)$$

gde je:

$$\Psi = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(\operatorname{tg} \varphi_0 + \frac{C_0}{p} \right)$$

— ugao klizanja čestica tla,

φ_0 — ugao trenja između čestica tla,

C_0 — sila prijanjanja između čestica tla,

$p = F^v / abn$ — pritisak vozila na tlo ispod članka,

n — broj oslonih točkova.

Na slici 8 prikazan je tipičan položaj ukopane nagazne PO mine, opterećene člankom gusenice vozila preko maskirnog sloja debljine h .

Iz izraza (15) i tabele 2 sledi da se ugao klizanja čestica tla može kretati u veoma širokim granicama: od vrednosti bliske nuli kod veoma ras-kvašenih terena, do vrednosti preko 70° kod suvih terena (sa vlagom ispod granice plastičnosti), dok se na peščanim terenima kreće u veoma uskim granicama od 35° do 45° . Na zaleđe-

nim terenima ugao klizanja čestica može dostizati vrednost iznad 80° , usled čega se zaleđeni sloj često ponaša kao relativno kruta ploča.

Sl. 8 — Tipičan položaj ukopane nagazne PO mine

Sila otpora tla ispod članka gusenice, a izvan površine mine, iznosi:

$$R_t = F_z^v - F'_m = C z^m (A - A'_m) \quad (16)$$

gde je:

F_z^v — sila pritiska članka na tlo na dubini z ,

F'_m — sila pritiska na minu,

C — specifični otpor tla na pritisak (tabela 4)

m — parametar tla (tabela 5),

A — površina na koju se prenosi pritisak članka (izraz 15),

A'_m — površina mine zahvaćena opterećenjem,

z — dubina dna mine.

Ako je površina nagaznog poklopca A_m , preko koga se vrši aktiviranje mine, manja od površine vertikalne projekcije mine na tlo, tada sila opterećenja nagaznog poklopca iznosi:

$$F_p = \frac{A_p}{A'_m} F'_m = k_m z A_p \quad (17)$$

gde je:

k_m — jedinična krutost sistema aktiviranja mine.

Iz izraza (16) i (17) može se formirati konačan izraz za silu opterećenja nagaznog poklopca mine:

$$F_p = \frac{F_z^v}{\frac{A'_m}{A_p} + \frac{C(A - A'_m)}{k_m A_p}} \quad (18)$$

Sila pritiska članka F_z^v linearno opada sa dubinom propadanja z :

$$F_z^v = F^v \left(1 - \frac{z}{s}\right) = \frac{M^v g}{n} \left(1 - \frac{z}{s}\right) \quad (19)$$

gde je:

M^v — masa vozila,

n — broj oslonih točkova vozila,

s — klirens vozila,

g — ubrzanje sile Zemljine teže.

Sila reakcije tla na dno mine iznosi: $C z^m A_d$, gde je A_d — površina dna mine.

Pošto sila pritiska na minu F'_m opada sa dubinom z , a reakcija tla na dno mine raste, znači da će se na nekoj dubini z sila pritiska na minu F'_m i sila reakcije tla na dno mine izjednačiti i propadanje mine prestati. To omogućuje da se konačno definiše jedinačina aktiviranja nagaznih PO mina:

$$F_p = \frac{F^v(1 - z/a)}{\frac{A'_m}{A_p} + \frac{C(A - A'_m)}{k_m A_p}} = C z^m (A_d - A_t) \geq F_a \quad (20)$$

Na osnovu jednačine aktiviranja (20) izrađen je dijagram aktiviranja nagaznih PO mina pri nailasku guseničnih vozila, prikazan na slici 9.

Dijagram se odnosi na određenu konstrukciju nagaznih PO mina, određenu vrstu tla i određeni tip vozila. Za

različite konstrukcije mina, različite uslove njihovog postavljanja, različite vrste tla i različite tipove vozila dobijaju se familije krivih $F'_m(z, h)$, $R_d(z)$, F_z^v i $F_a = F_a^{sr} \pm 3$.

Iz dijagrama sledi da će sve mine koje su ukopane na dubinama h_1 i h_2 u tlu sa otporom R_d , biti aktivirane, jer se preseki krivih F'_m i R_d nalaze iznad maksimalne sile aktiviranja datog tipa mine F_a^{max} . Izvestan procenat mina, ukopanih na dubinu h_3 , neće biti aktiviran pod istim uslovima, jer se presek krivih F'_m i R_d nalazi ispod maksimalne vrednosti sile aktiviranja F_a^{max} . Taj procenat je srazmeran šrafiranoj površini q na slici 9, što omogućuje da se konačno definiše i verovatnoća aktiviranja nagaznih PO mina:

$$P_m^a = P(F_p \geq F_a) = 1 - q \quad (21)$$

Ako su mine ukopane u tlo male nosivosti (kriva R_d''), tada nijedna postavljena mina neće biti aktivirana, jer se svi preseki krive R_d'' sa krivom F'_m nalaze ispod minimalne vrednosti aktiviranja mina F_a^{min} .

Ako se posle postavljanja mina tlo zaledi, maskirni sloj će se ponašati kao kruta ploča, što je ravno višestrukom povećanju dubine ukopavanja mine h , pa će one biti aktivirane u nekom malom procentu ili nikako.

Ispitivanja koja su obavljena kod nas na ritskim terenima u potpunosti potvrđuju rezultate izvršene teorijske analize. Mine ukopane u suvo prohodno tlo 100% su aktivirane. Mine postavljene u isto vreme i u isto tlo bile su ispitivane posle jesenjih kiša. Nijedna mina, iz klase mina otpornih prema dejstvu vazdušnog udarnog talasa, nije aktivirana, a kod ostalih mina u sasvim nezadovoljavajućem procentu. Isti rezultat dobijen je i sa mehaničkim čistačima. Najveći broj mina je jednostavno iskakao ispod gusenica ili tonuo ispod diskova čistača.

Sl. 9 — Dijagram aktiviranja ukopanih nagaznih PO mina od strane guseničnih vozila

Granična nosivost tla je za vozila točkaše viša od granične nosivosti tla za gusenična vozila, ali je sila F^v znatno manja. Zbog toga su dijagrami aktiviranja nagaznih PO mina pod vozilima točkašima drugačiji od prikazanih dijagrama aktiviranja pod guseničnim vozilima.

Zaključak

Aktiviranje nagaznih PO mina pod gusenica i točkovima borbenih i transportnih vozila veoma je složen proces slučajnog karaktera, sa većim brojem slučajnih parametara, posebno kod ukopanih mina, pa je definisanje prak-

tično primenjivih matematičkih modela verovatnoće njihovog aktiviranja izuzetno otežano.

Matematički modeli verovatnoće aktiviranja ukopanih nagaznih PO mina, koji su definisani u ovom radu, pretežno su namenjeni za gusenična vozila, implicitnog su karaktera, ali omogućuju da se u raznim realnim slučajevima približno odredi uticaj karakteristika tla, vozila i PO mina na verovatnoću aktiviranja ukopanih PO mina.

Računske analize pokazuju da je uticaj karakteristika tla na verovatnoću aktiviranja nagaznih PO mina relativno veliki u svim uslovima njihove primene, a u nekim slučajevima i presudan.

Literatura:

- [1] Dragojević, M.: Borbena vozila, VIZ, Beograd 1991.
- [2] Ioffe, M. F.: Minno-vzryvnie zagraždenija, Voennoinžinernaja akademija V. V. Kujbišev, Moskva 1961.
- [3] Borckmann, H.: Eignung von rad-und kattenfahrzeugen zur überwindung von steigungen, ZDv 30/12, Darmstadt 1961.
- [4] Babkov, V. F., Gerbut-Gejbovič, A. B.: Osnovi gruntovedenija i mehaniki gruntov, Moskva 1956.
- [5] Najdanović, N., Obradović, R.: Mehanika tla u inženjerskoj praksi, Beograd 1981.
- [6] Hinić, M.: Analiza mehaničkih osobina zemljišta (tla, podloge) sa stanovišta prohodnosti motornih vozila, VTG 3/1975.
- [7] Citović, N.A.: Mehanika gruntov, Vysšaja škola, Moskva 1979.