

CALCULUL MOMENTULUI NECESAR ROTIRII BURGHIULUI PENTRU TRANSPORTUL PĂMÂNTULUI REZULTAT ÎN PROCESUL DE FORARE ORIZONTALĂ CU BURGHIU

Șoimușan Valentin , prof.univ.dr.ing.– Facultatea de Utilaj Tehnologic – UTCB
valentinoimusan@yahoo.com

Abstract

The present study case presents a computing method of the time required to the rotating drill process for the earth transport resulted in the horizontal drilling bit.

1. INTRODUCERE

La forarea orizontală cu burghiu, forarea are loc prin două mișcări simultane: rotirea și avansul burghiului în pământ. În timpul procesului de forare pământul se opune pătrunderii burghiului provocând apariția a două rezistențe: rezistența la rotirea burghiului și rezistența la avans.

Dacă ne referim la rezistența rezistența întâmpinată de burghiu la rotirea sa , indiferent de tipul constructiv al burghiului momentul rezistent M întâmpinat de burghiu este dat de relația :

$$M = M_1 + M_2 + M_3 \quad (1)$$

unde:

M_1 reprezintă momentul datorat rezistenței ce apare la desprinderea particulelor de pământ din masiv;

M_2 – momentul rezistent dat de forțele de frecare dintre capul de foraj și pământ;

M_3 – momentul rezistent datorat rezistențelor ce apar la transportul pământului forat.

Având în vedere că momentele rezistente M_1 și M_2 au fost studiate și prezentate în lucrări anterioare, prezenta lucrare studiază numai momentul rezistent datorat rezistențelor ce apar la transportul pământului întâmpinat de capul de foraj.

2. REZISTENȚA LA TRANSPORTUL PĂMÂNTULUI FORAT.

În timpul procesului de forare pământul dislocat de cuțitele capului de foraj este preluat de spirele burghiului și evacuat, astfel burghiul îndeplinind și funcția de transportor. La începutul forării, pământul dislocat este preluat de burghiu imprimându-se o mișcare de rotație și o mișcare de translație axială. La deplasarea pământului în tub, în interiorul tubului apar rezistențe ce se opun mișcării.

În cazul forajului orizontal, la deplasarea pământului de către burghiu apar rezistențele (figura 1) :

- forța de frecare dintre pământ și tub, F_{ft} ;
- rezistența opusă de pământ la amestecare și mărunțire, R_{am} ;
- forța de frecare dintre pământ și spirele burghiului, F_{fs} .

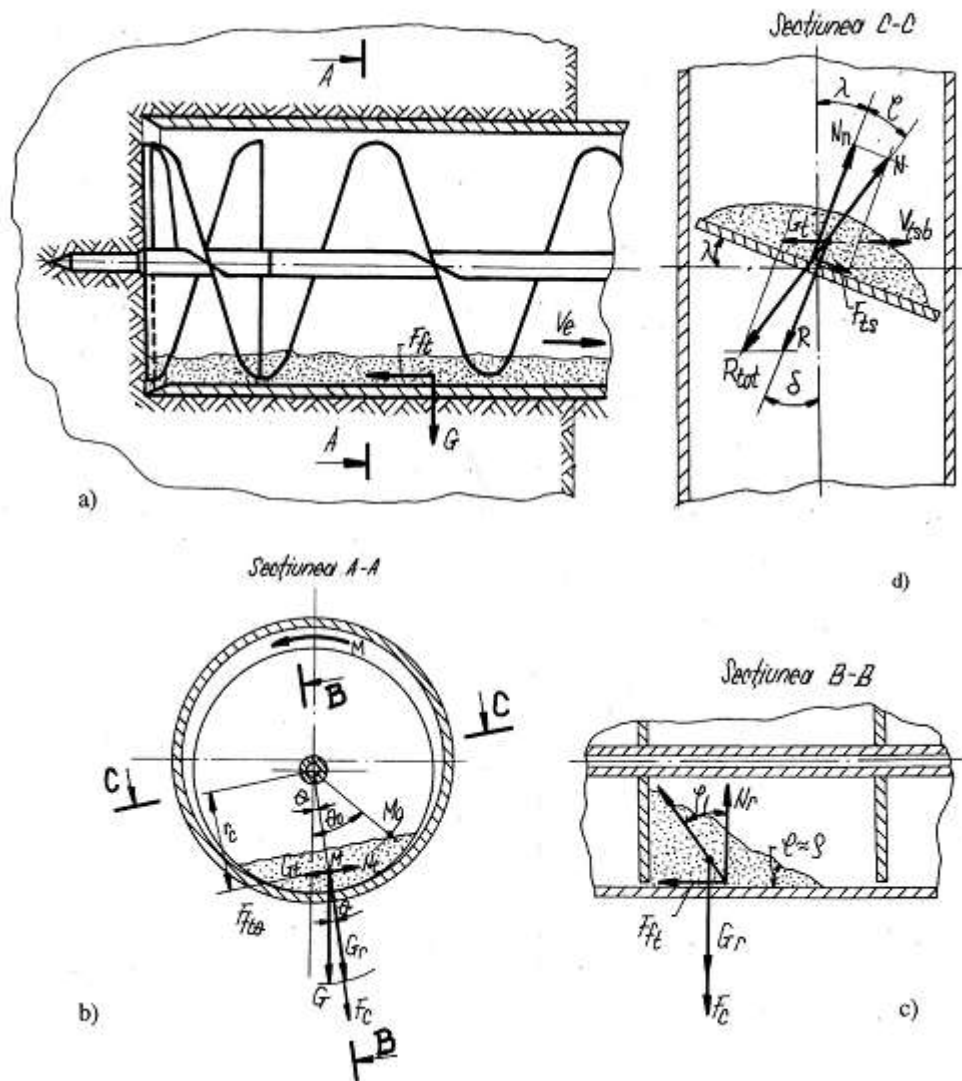


Fig.1

2.1 Forța de frecare dintre pământ și tub, F_{ft}

Forța de frecare dintre pământ și tub, F_{ft} este dată de relația :

$$F_{ft} = \mu_1 N_r = \mu_1 (G_r + F_c) \quad (1)$$

unde:

μ_1 reprezintă coeficientul de frecare dintre pământ și tub;

N_r - apăsarea radială pe tub;

G_r - componenta radială a greutateii;
 F_c - forța centrifugă

Pentru simplificarea problemei s-a făcut ipoteza că burghiul se sprijină liber pe tub prin intermediul pământului transportat caz în care frecarea are loc între pământ și tub.

Iar forțele G_r și F_c sunt:

$$G_r = G \cos \alpha \quad (2)$$

$$F_c = \frac{G \cdot v_{tp}^2}{g \cdot r_c} \quad (3)$$

în care G reprezintă greutatea totală exercitată asupra interiorului tubului.

$$G = G_p + G_b \quad (4)$$

unde:

G_p este greutatea pământului aflat în interiorul tubului;

G_b - greutatea burghiului;

θ - unghiul de poziționare a centrului de greutate al pământului față planul vertical ce trece prin axul burghiului (fig.1.b);

v_{tp} - viteza tangențială a pământului;

r_c - raza centrului de greutate a pământului.

Din triunghiul vitezelor (figura 2) rezultă :

$$v = v_{ts} \frac{\sin \lambda}{\cos(\lambda - \delta)} \quad (5)$$

unde:

v este viteza absolută a pământului transportat;

v_{ts} - viteza tangențială a spirei corespunzătoare razei r_c ;

λ - unghiul de înclinare a spirei elicoidale de rază r_c ;

δ - unghiul format de viteza absolută cu axa burghiului.

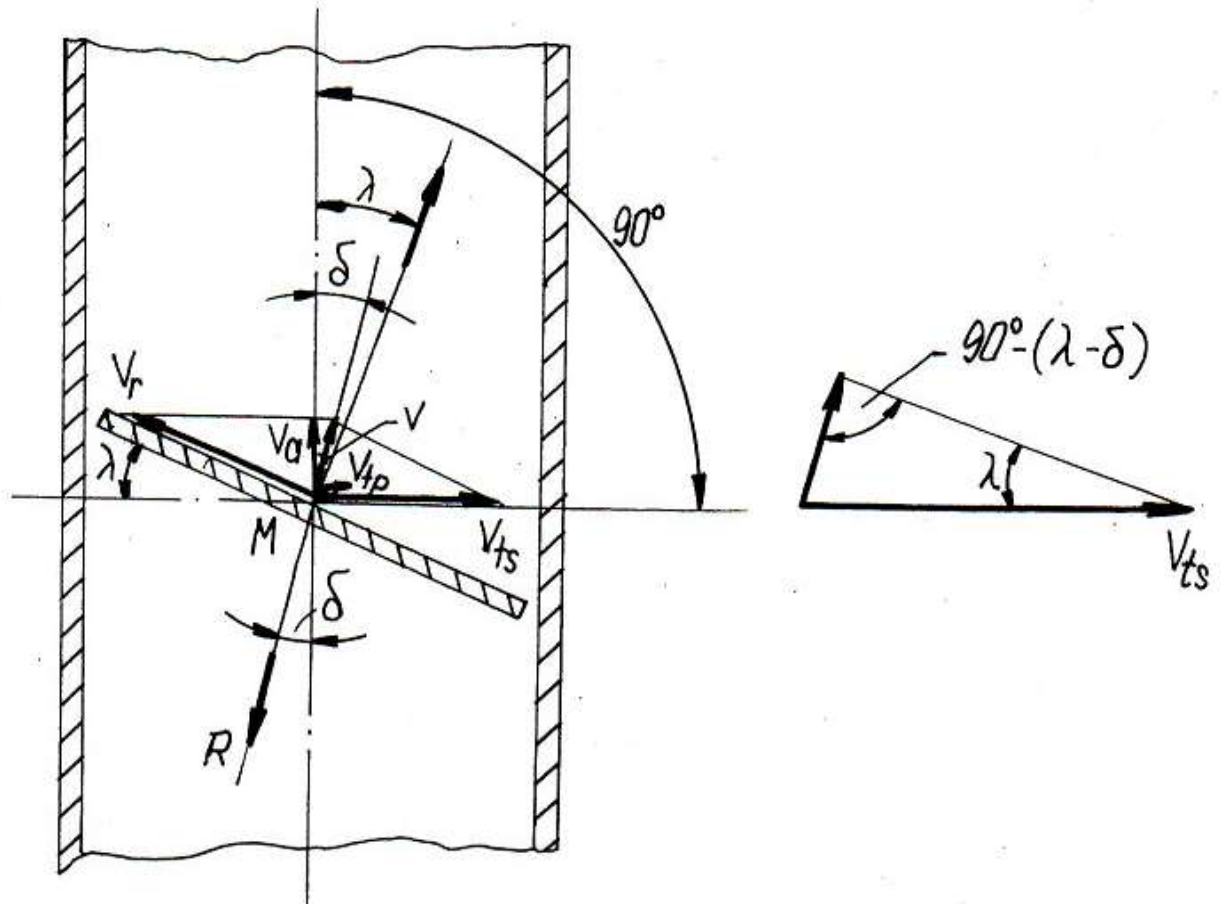


Fig.2

Iar viteza tangențială v_{tp} a pământului va fi:

$$v_{tp} = v \sin \delta = \omega r_c \frac{\operatorname{tg} \lambda \operatorname{tg} \delta}{1 + \operatorname{tg} \lambda \operatorname{tg} \delta} \quad (6)$$

Notând :

$$k_\delta = \frac{\operatorname{tg} \lambda \operatorname{tg} \delta}{1 + \operatorname{tg} \lambda \operatorname{tg} \delta} \quad (7)$$

viteza v_{tp} devine:

$$v_{tp} = \omega \cdot r_c k_\delta \quad (8)$$

unde ω reprezintă viteza unghiulară a pământului.

Înlocuind viteza din relația (8) în relația (3) relația de calcul a forței centrifuge devine:

$$F_c = \frac{G}{g} r_c \omega^2 k_\delta^2 \quad (9)$$

Iar forța de frecare dintre pământ și tub ia forma :

$$F_{ft} = \mu_1 \left(\cos \theta + \frac{r_c \omega^2}{g} k_\delta^2 \right) G \quad (10)$$

Forța F_{ft} face unghiul δ față de axa burghiului.

2.2 Rezistența opusă de pământ la amestecare și mărunțire, R_{am}

În timpul transportului pământul se amestecă și se mărunțește ceea ce conduce la apariția rezistenței la amestecare și mărunțire, R_{am} . Această rezistență apare datorită :

- frecărilor dintre particulele care se amestecă în timpul transportului;
- rezistențelor suplimentare datorită prinderii particulelor de pământ între spiră și tub și fărâmițarea lor;
- rezistențelor datorate mărunțirii pământului în timpul transportului.

Datorită frecărilor dintre particule precum și a frecărilor dintre pământ și suprafața laterală a spirelor pe lângă mișcarea principală axială apare și o mișcare secundară sub forma unei succesiuni de urcări și coborâri ce provoacă amestecarea și fărâmițarea pământului. Această mișcare suplimentară este însoțită de un consum suplimentar de energie.

Având în vedere că particulele de pământ prinse între muchia spirei burghiului și tub sunt strivite și sfărâmate consumul de energie va crește suplimentar.

După cum se observă, rezistența R_{am} datorată amestecării și mărunțirii pământului depinde de mulți factori care fac imposibil calculul exact al acesteia.

Pentru a ține cont de această rezistență, în practică, forța de frecare dintre pământ și tub F_{ft} se multiplică cu un coeficient k_0 . Mărimea coeficientului k_0 depinde de caracteristicile pământului și se determină experimental.

În aceste condiții rezistența la deplasarea pământului în tub va fi:

$$R = k_0 \mu_1 \left(\cos \theta + \frac{r_c^2 \theta^2}{g} k_\delta^2 \right) G \quad (11)$$

Această relație nu ține cont și de influența frecării pământului cu spirele burghiului.

2.3 Rezistența totală la deplasare pământului

Determinarea rezistenței totale la deplasare care să ia în considerare și frecarea dintre pământ și spirele burghiului se face plecând de la studiul poziției de echilibru stabil al pământului.

În cazul unui burghiu prevăzut cu spiră elicoidală normală asupra pământului transportat, concentrat în centrul de greutate M , situat la raza r_c , acționează forțele (figurile 1 și 3) :

- greutatea pământului G (G_r, G_t) ;
- rezistența la deplasare R ;
- forța centrifugă a pământului F_c ;
- forța de inerție a pământului F_i ;
- forța de împingere a spirei burghiului N (N_a, N_t) ;
- forța de acționare F .

Funcție de poziția pământului în interiorul tubului, aceste forțe acționează în mod diferit. Împingerea spirei asupra pământului N , are ca efect apariția forței de frecare pe spiră F_{fs} , iar forța centrifugă F_c împreună cu componenta radială a greutății G_r provoacă apariția forței de frecare pe tub F_{ft} . Rezistența la înaintare R_t se opune deplasării, iar forța de inerție F_i se opune variației vitezei.

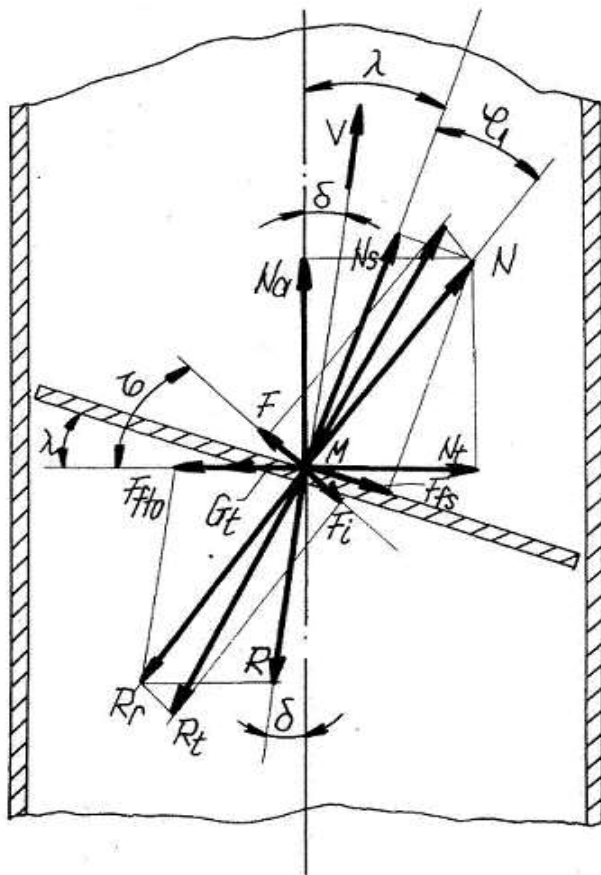


Fig.3

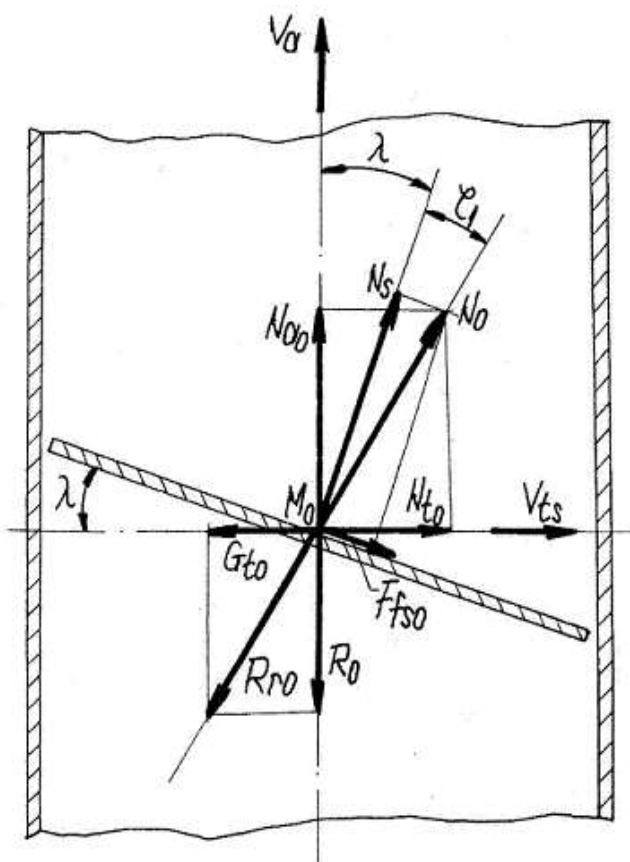


Fig. 4

Proiectând aceste forțe după direcția axială și tangențială (figura 3) rezultă sistemul de ecuații de echilibru :

$$\begin{aligned} F \sin \tau + N \cos(\lambda + \varphi_1) - R \cos \delta - F_i \sin \tau &= 0 \\ F \cos \tau - N \sin(\lambda + \varphi_1) - R \sin \delta + G \sin \theta + (G_r + F_c) \mu_1 - F_i \cos \tau &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

unde:

τ este unghiul format de forța F cu tangenta ;

φ_1 - unghiul de frecare pământ spiră.

Sub acțiunea acestor forțe pământul primește o mișcare de translație cu viteza v_{tp} (figura 2) , ca urmare deplasându-se cu viteza absolută v , viteză care dă direcția de mișcare a pământului în tub (formând unghiul δ cu axa).

La începutul lucrului pământul din tub are o mișcare de translație și una de rotație. Rotirea pământului din tub are loc până în momentul în care acesta are o poziție (determinată de unghiul θ) în care componenta tangetială a greutateii G_t și și frecarea tangențială cu tubul F_{ft} au o valoare suficient de mare încât să împiedice rotirea lui.

Aceasta se întâmplă dacă :

$$G_t \sin \theta + F_{ft} \leq F_{fs} \cos \lambda \quad (13)$$

sau înlocuind forțele :

$$G \sin \theta + (G_r + F_c) \mu_1 \leq \mu_1 N \cos \lambda \quad (14)$$

La atingerea acestei poziții când $\theta < \theta_0$ (fig.1) Pământul nu se mai rotește și se deplasează numai axial.

Pentru această poziție, viteza tangențială devine nulă ($v_{tp} = 0$), respectiv viteza unghiulară a pământului devine nulă ($\omega = 0$), iar unghiul δ va fi și el zero ($\delta = 0$). In această situație viteza absolută a pământului v va fi egală cu viteza axială v_a și mișcarea centrului de greutate a pământului se reduce la o mișcare axială având viteza :

$$v = v_a = \omega \cdot r_c \operatorname{tg} \lambda \quad (15)$$

In acest moment burghiul va funcționa în regim stabil, iar pământul transportat se află într-o poziție de echilibru stabil. In acest regim, viteza de lucru fiind constantă forța de inerție devine nulă deci și forțade acționare va fi nulă ($F=0$).

La funcționarea în regim stabil, asupra pământului concentrat în centrul de greutate din punctul M_0 , vor acționa forțele din figura 4. Pentru această poziție de echilibru stabil sistemul de ecuații de echilibru al pământului va fi:

$$\begin{aligned} N_0 \cos(\lambda + \varphi_1) - R_0 &= 0 \\ N_0 \sin(\lambda + \varphi_1) - G \sin \theta_0 &= 0 \end{aligned} \quad (16)$$

Pentru învingerea rezistenței pământului la deplasare asupra burghiului acționează forțele :

$$N_{a0} = R_0 = N_0 \cos(\lambda + \varphi_1) \quad (17)$$

$$N_{t0} = N_0 \sin(\lambda + \varphi_1) \quad (18)$$

unde:

N_{a0} reprezintă forța axială de acționare a burghiului;

N_{t0} - forța tangențială de acționare a burghiului.

Forța tangențială N_{t0} este chiar forța necesară acționării burghiului pentru funcționarea sa în regim stabil și are valoarea :

$$N_{t0} = R_0 \operatorname{tg}(\lambda + \varphi_1) \quad (19)$$

3. MOMENTUL DATORAT REZISTENȚEI CE APARE LA TRANSPORTUL PĂMÂNTULUI FORAT.

Momentul rezistent opus de pământ la deplasarea lui în tub , în regim stabil de funcționare este dat de relația (figura 5) :

$$M_{rt} = N_{to} r_c = R_0 r_c \operatorname{tg}(\lambda + \varphi_1) \quad (20)$$

La funcționarea în regim stabil, rezistența întâmpinată de burghiu la deplasare pământului, R_0 este :

$$R_0 = k_0 \mu_1 G \cos \theta_0 \quad (21)$$

Inlocuind în relația (20) rezultă :

$$M_{rt} = k_0 \mu_1 r_c G \cos \theta_0 \operatorname{tg}(\lambda + \varphi_1) \quad [daNm] \quad (22)$$

$$\text{Cum greutatea este } G = qL \quad (23)$$

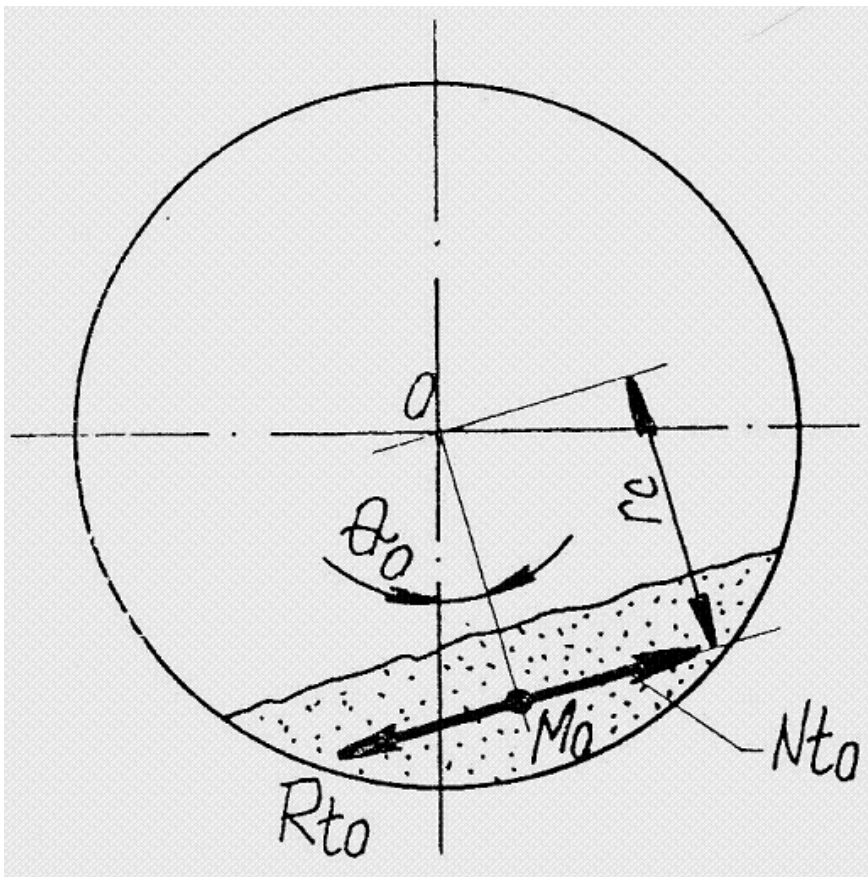


Fig.5

Momentul rezistent ia forma:

$$M_{rt} = k_0 \mu_1 r_c qL \cos \theta_0 \operatorname{tg}(\lambda + \varphi_1) \quad [daNm] \quad (24)$$

unde:

q reprezintă greutatea liniară exercitată asupra tubului, dată de greutatea pământului și de greutatea proprie a burghiului, în daN/m ;

L – lungimea tubului, în m .

r_c – raza la care se află centrul de greutate a pământului din tub.

Raza r_c este dată de expresia :

$$r_c = k_c \frac{D_b}{2} \quad (25)$$

unde:

k_c este un coeficient ce ține cont de cantitatea de pământ aflat în tub ($k_c < 0$);

D_b – diametrul burghiului.

Momentul necesar rotirii burghiului M_{rot} , evident va fi:

$$M_{rot} > M_{rt} \quad (26)$$

4. CONCLUZII

Mărimea momentului rezistent la transportul pământului forat, deci și a momentului necesar rotirii burghiului M_{rot} depinde atât de caracteristicile fizico-mecanice ale pământului cât și de parametrii constructivi ai burghiului.

Analizând relația de calcul a momentului rezistent (24) și relația (25) se desprind următoarele concluzii :

- Pentru un burghiu de construcție dată, momentul necesar rotirii burghiului depinde de natura pământului. Mărimea acestui moment este influențată de valorile pe care le au unghiul de frecare dintre burghiu și pământ, respectiv dintre tub și pământ φ_1 , de greutatea volumetrică a pământului și de coeficientul k_0 , coeficient ce ține cont de rezistența pământului la mărunțire și amestecare ;
- Mărimea momentului M_{rot} este influențată și de poziția pământului în tub care asigură funcționarea burghiului în regim stabil. Această poziție este influențată atât de natura pământului cât și de construcția burghiului.
- O influență deosebită asupra momentului M_{rot} o au parametrii constructivi ai burghiului.

Astfel creșterea diametrului burghiului D_b conduce la creșterea momentului necesar rotirii burghiului. Cum diametrul burghiului este impus de diametrul lucrării asupra acestui parametru nu se poate interveni, cel mult se va avea în vedere, corelat cu alte criterii, la stabilirea diametrului pentru lucrările solicitate a fi executate.

Parametrii constructivi ai burghiului care au o influență asupra momentului sunt unghiul de înclinare a spirei λ și pasul burghiului t . Se constată că o mărire a unghiului de înclinare a spirei λ conduce la creșterea momentului rezistent și a momentului necesar rotirii burghiului M_{rot} motiv pentru care este indicat ca acest unghi să aibă valori cât mai mici. Micșorarea unghiului λ nu poate fi exagerată deoarece o dată cu micșorarea lui se micșorează și pasul t ceea ce conduce la creșterea momentului rezistent. De aceea la proiectarea burghiului se va avea grijă să se facă o alegere corectă a acestor parametri. În general, pentru burghiile de acest tip se recomandă $\lambda = 14^\circ - 25^\circ$, respectiv $t = (0,8 - 1,0)D$

Bibliografie

[1] M. Rădoi, E. Deciu - Mecanică. Editura Didactică și pedagogică București, 1977

[2] Valentin Șoimușan – Forarea orizontală cu burghiu. Baze teoretice. Editura CONSPRESS, București, 1998.