

STUDIUL PROCESELOR TRANZITORII LA PORNIREA INSTALATIILOR DE FORAT GALERII ORIZONTALE

THE STUDY OF TRANSITORY PROCESSES TO START THE DRILLING UNITS FOR HORIZONTAL GALLERIES

Ș. I. dr. ing. Petre SĂVULESCU

Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești, Romania
e-mail: petresavulescu@upg-ploiesti.ro

Rezumat: În această lucrare autorul prezintă o metodă de calcul a procesului de cuplare mecanică între sistemul de acționare și mașina de lucru (capul tăietor) al instalațiilor de forat galerii orizontale în secțiune plină cu diametrul de 3,2 m. Această metodologie poate fi extinsă la întreaga gamă de instalații de forat galerii orizontale (2,5-6,5)m ce a fost proiectată în România. Lucrarea se referă numai la rezolvarea ecuațiilor de mișcare printr-o aplicație consistentă fără a prezenta și calculul laborios al momentelor de inerție masice.

Cuvinte cheie: Instalații de forat, galerii orizontale, cuplaj mecanic

Abstracts: This paper presents a calculating method for the coupling process between the driving system and the work machine (cutter head) of drilling unit for horizontal galleries in full section with a diameter of 3.2 m. This methodology can be extended to the full range of drilling equipment for horizontal galleries (from 2.5 to 6.5) m which has been designed in Romania. The paper is focused only on the solutions of the motion equations through a consistent application without presenting the laare prborious calculation of inertial mass moments.

Keywords: drilling units; horizontal galleries;mechanical coupling.

1. INTRODUCERE

Procesele tranzitorii care apar la pornirea (IFGO) sunt influențate atât de tipul motorului electric cât și de mărimea, respectiv variația forțelor rezistente. Majoritatea instalațiilor de forat galerii orizontale sunt acționate cu motoare electrice asincrone cu rotorul în scurt circuit, variația momentului motor fiind dată de curba caracteristică a motorului.

Aceste instalații au fost proiectate pentru a fora în roci tari și foarte tari. Ele pot fi folosite și la săparea în roci mai puțin dure sau moi prin schimbarea dispozitivelor de dislocare a rocii fixate pe capul tăietor. În ceea ce privește influența forțelor rezistente, se pot întâlni următoarele situații mai importante:

- a) pornirea fără sarcină, situație în care forțele rezistente sunt mici;
- b) pornirea în plină sarcină, caz în care momentul rezistent poate fi considerat constant;
- c) pornirea în gol, urmată de aplicarea bruscă a unei sarcini constante.

Instalația IFGO-32 pentru săparea galeriilor orizontale în roci tari este prezentată simplificat în figura 1 [1].

Rotirea capului tăietor este asigurată de patru motoare electrice prin intermediul mecanismului motor în care sunt cuprinse patru reductoare planetare.

Transmiterea energiei mecanice de la motorul electric la reductorul planetar se face prin intermediul unui cuplaj cu burduf, CB 250x125.

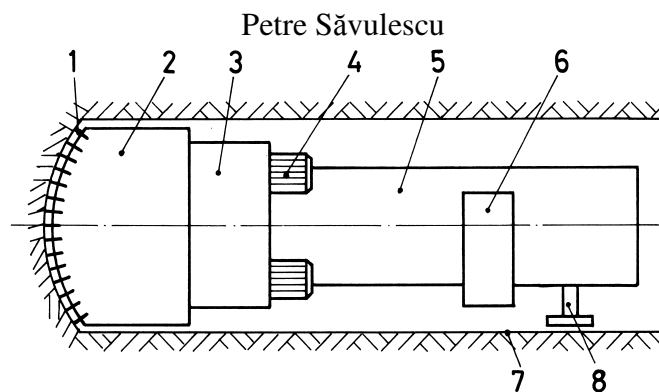


Fig.1. Instalația de forat galerii orizontale IFGO - 32:

1 – rolă tăietoare; 2 – capul tăietor cu role disc; 3 – mecanismul de antrenare; 4 – motor electric;
5 – grindă principală; 6 – sistem de fixare în galerie; 7 – galeria; 8 – sistemul de sprijin.

2. STABILIREA MODELULUI MECANIC ECHIVALENT AL SISTEMULUI DE ACȚIONARE

Se consideră pentru sistemul de acționare modelul mecanic echivalent prezentat în figura 2. Procesul de pornire are două perioade, corespunzător cărora se pot scrie ecuațiile de mișcare.

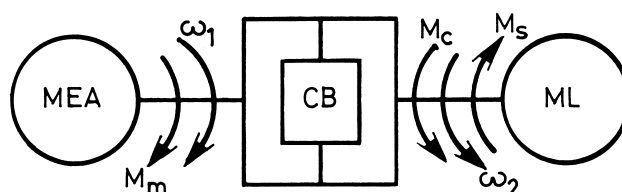


Fig.2. Modelul mecanic echivalent al sistemului de acționare: MEA – motor electric asincron;
CB – cuplaj cu burduf; ML – mașina de lucru.

În prima perioadă cuplajul alunecă, $\omega = \omega_1$, caz în care ecuațiile de mișcare sunt:

- pentru arborele conducător,

$$I_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_m - M_c ; \quad (1)$$

- pentru arborele condus:

$$I_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_c - M_s ; \quad (2)$$

$$(I_1 + I_2) \frac{d\omega}{dt} = M_m - M_s , \quad (3)$$

unde:

$\omega = \omega_1 = \omega_2$ este viteza comună a celor doi arbori;

I_1, I_2 – momentele de inerție masice ale arborelui conducător respectiv condus;

M_m – momentul motor;

M_c – momentul dezvoltat de cuplajul cu burduf într-o anumită stare;

M_s – momentul static rezistent.

Pentru rezolvarea ecuațiilor diferențiale de mișcare este necesar a se cunoaște valorile mărimilor care intervin în acestea. În acest sens se vor utiliza mărimile geometrice, cinematice și mecanice de la instalația IFGO – 32.

3. APLICAȚIE NUMERICĂ

Pentru acționarea instalațiilor de forat galerii orizontale se folosesc motoare electrice asincrone de tipul ASA28M-4 cu următoarele caracteristici:

P_n c puterea nominală, $P_n = 90$ kW;

ω_n – viteza unghiulară nominală, $\omega_n = 154,9$ rad.s⁻¹;

ω_o – viteza unghiulară de sincronism, $\omega_o = 157$ rad.s⁻¹;

Rapoartele dintre momentul de pornire, momentul maxim și momentul nominal sunt:

$$\frac{M_p}{M_n} = 2,42; \quad \frac{M_{max}}{M_n} = 3,23.$$

Caracteristica mecanică a motorului electric este prezentată în figura 3.

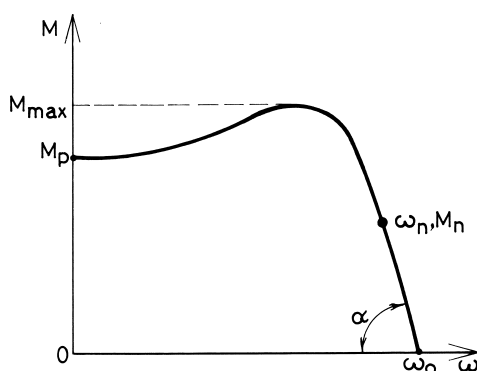


Fig.3. Caracteristica mecanică a motorului electric asincron.

Momentul motorului de acționare este dat de cunoscuta relație:

$$M_m = \frac{M_{max}}{\frac{s_c}{s} + \frac{s}{s_c}}, \quad (4)$$

unde s și s_c este alunecarea curentă, respectiv alunecarea curentă.

Deoarece pornirea instalației se face în gol, momentul rezistent este mic și în mod sigur motoarele electrice vor lucra pe domeniul linear al caracteristicii $M(\omega)$.

Liniarizarea caracteristicii mecanice se face domeniul de la $(\omega_o, 0)$ până la (ω_n, M_n) .

Relația momentului curent al motorului electric se poate scrie ca o relație liniarizată în funcție de viteza unghiulară:

$$M_m = R(\omega_o - \omega), \quad (5)$$

unde $R = \text{tg } \alpha = \frac{M_n}{\omega_o - \omega_n} = 282,2$ N.m.s/rad.

Momentul transmis de cuplajul hidraulic cu burduf, CB 250x125 se poate exprima cu relația [3]:

$$M_c = M_{CM}(1 - e^{-kt}), \quad (6)$$

unde:

M_{CM} este momentul static la care se produce alunecarea, pentru presiunea aerului din circuit care este de 1 MN/m², $M_{CM} = 2,5$ kN.m;

k – coeficient care s-a determinat experimental pentru cuplajul CB 250x 125, $k = 4,11$ s⁻¹.

Având în vedere că pornirea instalației se face în gol, momentul forțelor rezistente este egal cu momentul forțelor de frecare.

Pentru instalația IFGO-32, această valoare redusă la arborele motorului este $M_s = M_f = 10 \text{ N.m}$.

Momentele de inerție I_1 și I_2 calculate conform [2], pentru IFGO-32 sunt: $I_1 = 2,12 \text{ kg.m}^2$; $I_2 = 1,38 \text{ kg.m}^2$.

3.1 REZOLVAREA ECUAȚIEI DE MIȘCARE PENTRU PARTREA CONDUCĂTOARE

Se introduc relațiile (5), (6) în relația (1) se obține,

$$I_1 \frac{d\omega_1}{dt} = R(\omega_o - \omega_1) - M_{CM}(1 - e^{-kt}). \quad (8)$$

Efectuând calculele necesare în relația (8) rezultă:

$$\frac{d\omega_1}{dt} + \frac{k_1}{I_1} \omega_1 = \frac{k_1 \omega_o - M_{CM}}{I_1} + \frac{M_{CM}}{I_1} e^{-kt}. \quad (9)$$

Se fac următoarele notații:

$$A = \frac{k_1 \omega_o - M_{CM}}{I_1}; \quad B = \frac{M_{CM}}{I_1}; \quad \lambda = \frac{k_1}{I_1} \text{ și atunci relația (9) devine,}$$

$$\frac{d\omega_1}{dt} + \lambda \omega_1 = A + B \cdot e^{-kt}. \quad (10)$$

Soluția ecuației omogene este de forma $\omega_{1o} = C_1 \cdot e^{-\lambda t}$, iar pentru ecuația neomogenă este: $\omega_{1p} = C + D \cdot e^{-kt}$.

În aceste condiții rezultă valorile:

$$C = \frac{A}{\lambda}; \quad D = \frac{B}{\lambda - K} \text{ și la } t=0, \omega_1 = \omega_0 \text{ conduce la } C_1 = -0,246 \text{ rad.s}^{-1}.$$

Ținând cont de cele prezentate mai înainte, viteza unghiulară a arborelui conducător este dată de expresia:

$$\omega_1 = -0,264 \cdot e^{-1,356t} + 8,944 \cdot e^{-4,11t} + 148,32. \quad (11)$$

Valorile vitezei unghiulare ale părții conducătoare rezultate din relația (11) sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Valorile vitezei unghiulare a părții conducătoare

t(s)	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,10	0,13	0,17	0,20	0,22
ω_1 (rad/s)	157,00	156,81	156,20	155,57	155,02	154,24	153,56	152,76	151,28	151,94

3.2 REZOLVAREA ECUAȚIEI DE MIȘCARE PENTRU PARTREA CONDUSĂ

În mod similar pentru ecuația de mișcare (2) se obține:

$$I_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_{CM}(1 - e^{-kt}) - M_f. \quad (12)$$

Prelucrând ecuația (12) rezultă:

$$\frac{d\omega_2}{dt} = \frac{M_{CM} - M_f}{I_2} - \frac{M_{CM}}{I_2} \cdot e^{-kt} . \quad (13)$$

Se fac următoarele notații:

$$N = \frac{M_{CM} - M_f}{I_2} ;$$

$$P = \frac{M_{CM}}{I_2} ;$$

și rezultă,
$$\frac{d\omega_2}{dt} = N - P \cdot e^{-kt} . \quad (14)$$

Soluția ecuației (14) este de forma :

$$\omega_2 = N \cdot t + \frac{P}{k} \cdot e^{-kt} + C_2 . \quad (15)$$

Pentru a determina a constanta C_2 se pune condiția ca $M_f = M_m$.

În această situație $C_2 = -438,32 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

Introducând elementele necesare, relația (15) devine:

$$\omega_2 = 1794 \cdot t + 438,24 \cdot e^{-4,11t} - 438,32 . \quad (16)$$

Valorile vitezei unghiulare a părții conduse sunt prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2. Valorile vitezei unghiulare a părții conduse

t(s)	0,10	0,15	0,17	0,19	0,22	0,24
ω_2 (rad/s)	31,62	67,35	84,56	103,25	133,78	155,66

În această situație cele două viteze unghiulare ω_1 și ω_2 sunt egale cu ω și ecuația (3) devine:

$$(I_1 + I_2) \frac{d\omega_1}{dt} = k_1(\omega_0 - \omega_1) \cdot M_f , \quad (17)$$

În ecuația (17) se notează $(I_1 + I_2) = I$.

Efectuând calculele în relația (17) și făcând următoarele notații:

$$\frac{k_1}{I} = M ; \quad \frac{k_1 \cdot \omega_0 - M_f}{I} = T \text{ ecuația devine:}$$

$$\frac{d\omega}{dt} + M \cdot \omega = T . \quad (18)$$

Soluția ecuației (18) este

$$\omega = C_3 \cdot e^{-Mt} + \frac{T}{M} . \quad (19)$$

Constanta de integrare C_3 se determină din condiția ca la un timp $t = \tau$ și viteza ω să fie egală cu ω_1 și ω_2 .

Graficele de variație ale vitezelor unghiulare sunt prezentate în figura 4.

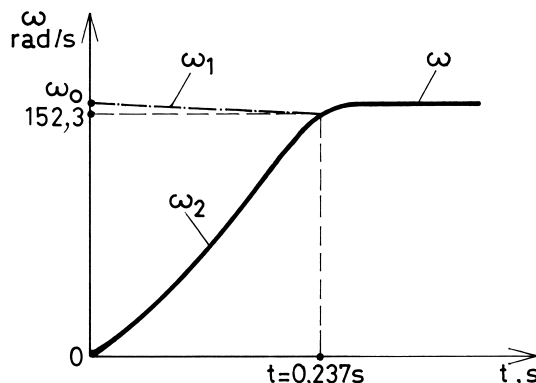


Fig.4. Variația vitezelor unghiulare în funcție de timp.

Din graficele de variație ale lui ω_1 și ω_2 rezultă că acest timp este $t = 0,237$ s și viteza unghiulară $\omega_1 = \omega_2 = 152,3$ rad/s.

4. CONCLUZII

În studiului efectuat se desprind următoarele concluzii teoretice și practice:

- la timpul $t = 0,237$ s partea condusă ajunge la 98,79% din viteza unghiulară a părții conducătoare (viteza unghiulară nominală de funcționare a motorului electric);
- pornirea instalației trebuie să se efectueze numai atunci când presiunea aerului în instalație este de 1 MN/m^2 , altfel se lungeste fenomenul de cuplare, conducând la încălzirea saboților cuplajului și în final la distrugerea acestora și a burdufului;
- introducerea aerului în cuplajul cu burduf se va face după pornirea motorului electric;
- în situația că presiunea aerului în sistem este 1 MN/m^2 , se poate angaja capul tăietor în frontul de lucru după circa 0,5 s de la introducerea aerului în cuplajul cu burduf.

BIBLIOGRAFIE

- [1] P. Săvulescu, *Metodă de calcul a parametrilor a parametrilor regimului de lucru la instalațiile de forat galerii orizontale în roci dure*, Sinteze de mecanică teoretică și aplicată, volumul 2 (2011), nr.2, Editura Matrix Rom, București, 2011.
- [2] P. Săvulescu, I. Pană, *Aspecte ale dinamicii instalațiilor de forat galerii orizontale*, în lucrările sesiunii de comunicări științifice ale Universității "Aurel Vlaicu" din Arad, ediția a-IV-a, 30-31 octombrie, 1997, vol. VII Mecanică, ISBN 973-983 65-0-x.
- [3] I. Preda, *Cercetări teoretice și experimentale privind convertizoarele de cuplu folosite la instalațiile de foraj*, Teză de doctorat, Ploiești, 1978.
- [4]*** *Documentație IFGO-32*, I.P.C.U.P., Ploiești.