

Kazimierz STOŃSKI

Główny Instytut Górnictwa
KatowiceZALEŻNOŚCI ANALITYCZNE OPISUJĄCE CHARAKTERYSTYKI DYNAMICZNE
PODPORY HYDRAULICZNEJ JEDNOTELESKOPOWEJ BEZ ZAWORU
PRZY RÓŻNYCH RODZAJACH OBCIĄŻEŃ

Streszczenie. Przedstawiono zależności matematyczne opisujące przebiegi ciśnienia cieczy hydraulicznej oraz suwu tłoczyska przy obciążeniu dynamicznym podpory hydraulicznej jednoteleskopowej bez zaworu bezpieczeństwa. Obciążenia dynamiczne przyjęto w postaci uderu masy, wymuszania siły oraz prędkości o kształcie sinusoidy i trapezu. Zależności analityczne wyprowadzono posługując się modelem zastępczym podpory dla dyskretnego rozłożenia masy i sprężystości. W obliczeniach wykorzystano analogie elektromechaniczne oraz rachunek operatorowy Laplace'a-Carsona. Dla każdego z pięciu przypadków obciążeń dynamicznych wyprowadzono zależności analityczne ujmujące ciśnienie cieczy hydraulicznej i suwu tłoczyska w zależności od czasu. Parametry skupione podpory niezbędne do wyliczeń wyznacza się na podstawie rysunków konstrukcyjnych lub bezpośrednich pomiarów podpory. Wyprowadzone wzory można wykorzystywać do oceny odporności podpory na obciążenia dynamiczne w zależności od wielkości i rodzaju obciążenia, podporności wstępnej oraz wysuwu tłoczyska. Przydatność zaproponowanego sposobu oceny można będzie określić dopiero po porównaniu z wynikami badań stoiskowych i wyznaczeniu błędów.

1. WPROWADZENIE

Problematyka odporności dynamicznej podpór i obudów ścianowych jest istotnym zagadnieniem w eksploatacji ścian szczególnie w kopalniach głębokich. Narastanie zagrożeń tąpnięciami wraz ze wzrostem głębokości eksploатовanych pokładów powoduje, że stosowane są obudowy o coraz większych podpornościach głównie ze względu na oddziaływania dynamiczne stropu. Dla ścian o szczególnie zagrożeniu tąpnięciami stosuje się niekiedy zawory bezpieczeństwa, których zadaniem jest ochrona podpory w przypadku tąpnięcia lub zawału. Zwiększanie podporności prowadzi do zwiększenia kosztów produkcji obudowy i jej masy własnej oraz do utrudnień eksploatacyjnych. Optymalne dobranie charakterystyki statycznej i dynamicznej obudowy do warunków górniczo-geologicznych eksploатовanej ściany posiada duże znaczenie ekonomiczne, techniczne oraz bezpieczeństwa.

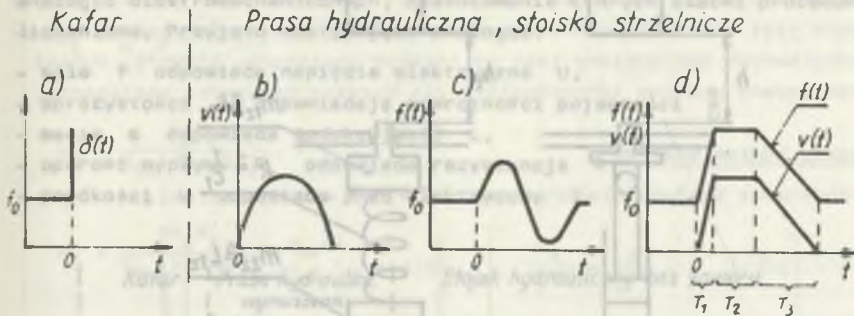
Charakterystyki dynamiczne podpór wyznacza się z wykorzystaniem stoisk badawczych, które pozwalają uzyskiwać różne rodzaje obciążeń. Wysokie koszty budowy stoisk oraz badań, a przede wszystkim ich mała dostępność powoduje, że metody analityczne są w wielu przypadkach jedyną możliwością oceny odporności dynamicznej podpory.

Praca dotyczy wyznaczania charakterystyk dynamicznych podpór hydraulicznych metodami analitycznymi. Wyznaczenie zależności analitycznych oparto na modelu podpory z dyskretnie rozłożoną masą i sprężystością [1, s. 8]. Model dla dyskretnego rozłożenia masy i sprężystości opisują równania różniczkowe liniowe, natomiast dla ciągłego rozłożenia masy i sprężystości równania różniczkowe cząstkowe. Przyjęcie dyskretnego rozłożenia masy i sprężystości jest uzasadnione z uwagi na różnicę o więcej niż rząd wielkości pomiędzy przebiegiem fali dźwiękowej w podporze w stosunku do czasu rozpatrywanego przebiegu. W obliczeniach wykorzystano analogie elektromechaniczne oraz rachunek operatorowy Laplace'a-Carsona [2, 3].

2. PODSTAWY TEORETYCZNE

Doświadczalne charakterystyki dynamiczne obudowy lub podpory wyznaczane są z wykorzystaniem pras z pulsatorami, kafarów, stoisk wykorzystujących metody strzałowe lub pras wyposażonych w akumulatory hydrauliczne. Badania na prasach z pulsatorami pozwalają uzyskiwać charakterystyki przy obciążeniu stałą siłą, na którą została nałożona składowa o przebiegu sinusoidalnym. Kafary pozwalają wyznaczać charakterystyki dynamiczne przy obciążeniu stałą siłą, na którą został nałożony udar masowy. Podobne obciążenie uzyskuje się w stoiskach wykorzystujących metody strzałowe, z tą różnicą że udar masowy jest zastąpiony udarem siły. Najszersze możliwości kształtowania charakterystyki obciążenia umożliwia prasa z akumulatorami hydraulicznymi. Można przy jej użyciu kształtować obciążenie w bardzo szerokich granicach tak co do wielkości, jak również przebiegu w czasie. Badania mogą być prowadzone dla przypadków obciążeń zbliżonych do rzeczywistych występujących podczas eksploatacji. Dodatkową zaletą pras z akumulatorami hydraulicznymi jest możliwość badania całych sekcji obudowy ze względu na dysponowanie naciskami ponad 2×10^7 N.

Badanie przebiega przy obciążeniu udarem, siłą lub wymuszoną prędkością dla różnych wysuwów tłoczyska, podporności wstępnych, rodzajów konstrukcji, wyposażenia. Podstawowymi wielkościami mierzonymi jest ciśnienie cieczy hydraulicznej oraz suw tłoczyska. Do podanych przypadków badań ograniczone zostaną wyprowadzenia analityczne, co umożliwi porównanie wyników uzyskanych w czasie badań oraz obliczeń i pozwoli na weryfikację przyjętych metod analitycznych. Model dla dyskretnego rozłożenia masy i sprężystości podpory jednoteleskopowej bez zaworu szybkopustowego przyjęto o dwóch stopniach swobody [4, s. 53].



Rys. 1. Rodzaje obciążeń podpory hydraulicznej

a) udar masowy, b) wymuszenie prędkości - przebieg sinusoidalny, c) wymuszenie siły - przebieg sinusoidalny, d) wymuszenie prędkości i siły - przebieg trapezowy

Fig. 1. Kinds of hydraulic prop loadings

a) mass stroke, b) speed input - sinusoidal course, c) force input - sinusoidal course, d) speed and force input - trapezoidal course

Podane sposoby obciążeń podpory można ująć: funkcją Diraca, wymuszeniem siłą i prędkością o przebiegu sinusoidalnym oraz trapezowym. Rys. 1 przedstawia graficznie podane rodzaje obciążeń podpory, do których będą ograniczone wyliczenia analityczne. Na rys. 2 przedstawiono schematycznie podpory w stoiskach badawczych: kafarowym oraz opartym na prasie hydraulicznej z przyjętymi modelami dla dyskretnego rozłożenia masy i sprężystości. W modelu przyjęto osiowe przyłożenie siły, liniowe charakterystyki elementów oraz pominięto tarcie. Stałe modeli zastępczych określa się na podstawie gabarytów z zależności:

$$k_1 = \frac{ES_1}{l_1}, \quad N \cdot m^{-1} \quad z_1 = (0,4 m_t + m_k + m_{dt}), \quad kg$$

$$k_2 = \frac{BA_2}{l_2}, \quad N \cdot m^{-1} \quad z_2 = (0,4 m_{h1} + m_{th1} + m_{dh1}), \quad kg$$

gdzie:

A_2 - powierzchnia cylindra, m^2

B - moduł ścisłości cieczy hydraulicznej, $N \cdot m^{-2}$

E - moduł sprężystości stali, $N \cdot m^{-2}$

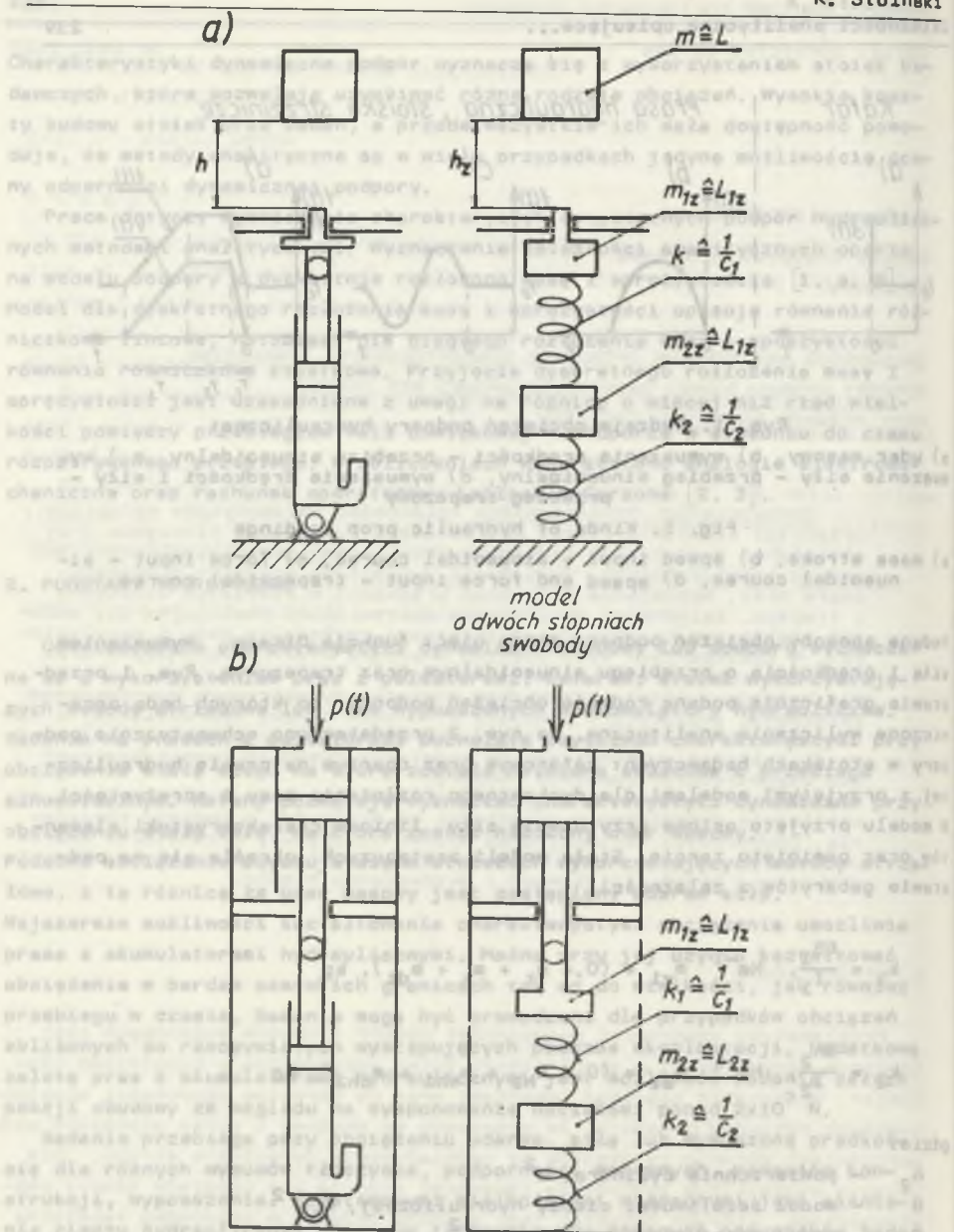
m_{t1} - masa tłoczyska teleskopu, kg

m_{dh1} - masa dodatkowa związana z cieczą hydrauliczną teleskopu, kg

m_{dt} - masa dodatkowa tłoczyska, kg

m_{h1} - masa cieczy hydraulicznej, kg

m_k - masa koronki oraz obudowy powiązanej mechanicznie z tłoczyskiem, kg .



Rys. 2. Podpora hydrauliczna w stołisku badawczym oraz odpowiadające modele

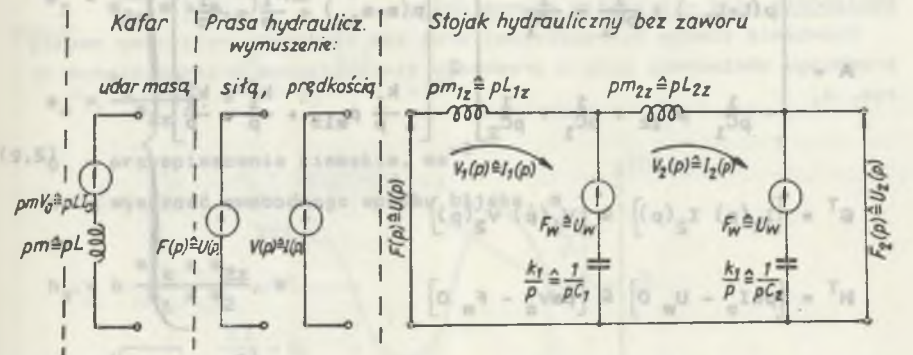
a) kefarowym, b) opartym o prasę hydrauliczną

Fig. 2. Hydraulic prop at the investigating stand and the adequate models

a) pile-driver-like, b) based on hydraulic press

Zależności opisujące dynamikę podpory będą wyznaczane na podstawie analogii elektromechanicznych, zastosowanie których ułatwi procedury wyliczeniowe. Przyjęto następujące analogie:

- siłę f odpowiada napięcie elektryczne U ,
- sprężystości k odpowiadają odwrotności pojemności $\frac{1}{C}$,
- masie m odpowiada indukcyjność L ,
- oporowi wypływu R_h odpowiada rezystancja R ,
- prędkości v odpowiada prąd elektryczny I .



Rys. 3. Analog elektryczny podpory hydraulicznej jednoteleskopowej (przyjęto dwa stopnie swobody) oraz analogi elektryczne obciążeń

Fig. 3. Electric analog of one-telescopic hydraulic prop (2 degrees of freedom were taken) and electric analogs of loadings

Podpory rozpatrzone zostaną przy obciążeniach podanych na rys. 1, a zależności zostaną podane w postaci ogólnej. W wyliczeniach zostanie wykorzystany rachunek operatorowy. Na rys. 3 przedstawiono analogi podpory oraz różnych obciążeń uzyskiwanych w stoiskach badawczych. Analog podpory ustalono na podstawie modeli podanych na rys. 2. Zależności matematyczne opisujące analogi elektryczne są identyczne z opisami modeli mechanicznych. Analogi przedstawione na rys. 4 opisują równania, które można ująć w formie macierzowej:

$$H = A \times G \tag{2.1}$$

gdzie:

- A** - macierz współczynników (współczynniki stałe dla przyjętego modelu),
- G** - wektor (prąd => prędkość - wielkości wyliczane),
- H** - wektor warunków początkowych (napięcie => siła - wielkości początkowe).

Wyliczeń ciśnienia i drogi dokonujemy rozwiązując równania zapisane w formie macierzowej oraz dokonując odpowiednich przekształceń. Macierz współczynników jest stała dla wybranego stanu podpory, natomiast wektor warunków początkowych uzależniony jest od rodzaju obciążenia podpory. Wyniki wyliczeń podane zostaną indywidualnie dla każdego przypadku obciążenia.

Obciążenia udarem masowym

Na podstawie analogu elektrycznego (rys. 3) możemy zapisać:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{A} &= \left[\begin{array}{cc} p(L+L_{1z}) + \frac{1}{pC_1} - \frac{1}{pC_1} & \left[p(m+m_{1z}) + \frac{k_1}{p} - \frac{k_1}{p} \right] \\ -\frac{1}{pC_1} pL_{1z} + \frac{1}{pC_1} + \frac{1}{pC_2} & \left[-\frac{k_1}{p} p_{m1z} + \frac{k_1}{p} + \frac{k_2}{p} \right] \end{array} \right] \hat{=} \left[\begin{array}{cc} p(L+L_{1z}) + \frac{1}{pC_1} - \frac{1}{pC_1} & \left[p(m+m_{1z}) + \frac{k_1}{p} - \frac{k_1}{p} \right] \\ -\frac{1}{pC_1} pL_{1z} + \frac{1}{pC_1} + \frac{1}{pC_2} & \left[-\frac{k_1}{p} p_{m1z} + \frac{k_1}{p} + \frac{k_2}{p} \right] \end{array} \right] \quad (2.2) \\
 \mathbf{G}^T &= \left[I_1(p) \quad I_2(p) \right] \hat{=} \left[v_1(p) \quad v_2(p) \right] \\
 \mathbf{H}^T &= \left[pLI_0 - U_w \quad 0 \right] \hat{=} \left[p_{mV_0} - F_w \quad 0 \right]
 \end{aligned}$$

Ciśnienie cieczy hydraulicznej wyliczamy z zależności:

$$p_2(t) \hat{=} P_2(p) = \frac{F_2(p)}{A_2} \quad (2.3)$$

Z równań opisujących analog elektryczny (2.1 i 2.2) wyznaczamy prąd $I_2(p)$, stanowiący podstawę do wyliczenia napięcia $U_2(p)$, a w konsekwencji $F_2(p)$.

$$F_2(p) \hat{=} U_2(p) = U_w + I_2(p) \frac{1}{pC_2} \quad (2.4)$$

Po podstawieniu $F_2(p)$ (2.4) do zależności (2.3), dokonaniu transformacji odwrotnej otrzymamy:

$$\begin{aligned}
 p_2(t) &= \sqrt{\left(\frac{2V_0 a_1}{A_2 \omega_{11}} \right)^2 + \left[\frac{p_w a_2}{\omega_{11}^2 (\omega_{12}^2 - \omega_{11}^2)} \right]^2} \sin(\omega_{11} t + \varphi_{11}) \\
 &- \sqrt{\left(\frac{2V_0 a_2}{A_2 \omega_{12}} \right)^2 + \left[\frac{p_w a_2}{\omega_{12}^2 (\omega_{12}^2 - \omega_{11}^2)} \right]^2} \sin(\omega_{12} t + \varphi_{12}) + p_w \left(1 - \frac{a_2}{\omega_{11}^2 \omega_{12}^2} \right) p_w
 \end{aligned} \quad (2.5)$$

gdzie:

$$a_1 = \frac{1}{2} \frac{a_3}{\omega_{11}^2 - \omega_{12}^2}, Nm^{-1}$$

$$a_2 = \frac{k_1 k_2}{a_{2z}(a_1 + a_2)}, s^{-4}$$

$$a_3 = \frac{a_1 k_1 k_2}{a_{2z}(a_1 + a_2)}, Nm^{-1} s^{-2}$$

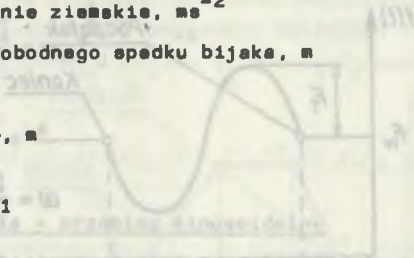
$$a_4 = \frac{k_1 + k_2}{a_{2z}}, s^{-2}$$

g - przyspieszenie ziemskie, ms^{-2}

h - wysokość swobodnego spadku białka, m

$$h_z = h \frac{a_1 z + a_2 z}{a_1 + a_2}, m$$

$$v_0 = \sqrt{2h_z g}, ms^{-1}$$



$$\omega_{11} = \left[\frac{a_4}{2} + \left(\frac{a_4^2}{4} - a_2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}}, s^{-1}$$

$$\omega_{12} = \left[\frac{a_4}{2} - \left(\frac{a_4^2}{4} - a_2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}}, s^{-1}$$

$$\varphi_{11} = \arctg \frac{p_w a_2 A_2}{\omega_{11} v_0 a_3}, rd$$

$$\varphi_{12} = \arctg \frac{p_w a_2 A_2}{\omega_{12} v_0 a_3}, rd$$

Sum rdzeniście podpory jest całką prędkości, co możemy zapisać operatorowo:

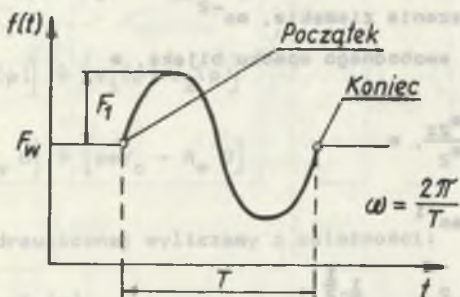
$$L_1(p) = \frac{1}{p} v_1(p) \tag{2.6}$$

Postępując podobnie jak dla przypadku obliczenia ciśnienia otrzymamy:

$$l_1(t) = v_0 \frac{1}{z} \left\{ \left[\frac{k_1 + k_2}{2z\omega_{11}(\omega_{12}^2 - \omega_{11}^2)} - \frac{\omega_{11}}{\omega_{12}^2 - \omega_{11}^2} \right] \sin\omega_{11}t - \left[\frac{k_1 + k_2}{2z\omega_{12}(\omega_{12}^2 - \omega_{11}^2)} - \frac{\omega_{12}}{\omega_{12}^2 - \omega_{11}^2} \right] \sin\omega_{12}t \right\}, \dots \quad (2.7)$$

Obciążenie siłą - przebieg sinusoidalny

Ciśnienie cieczy hydraulicznej oraz suw tłoczyska wyliczamy według przebiegu obciążenia siłą o przebiegu sinusoidalnym przedstawionym na rys. 4.



Rys. 4. Wymuszenie siłą - przebieg sinusoidalny

Fig. 4. Force input - sinusoidal course

Wyliczone ciśnienia cieczy hydraulicznej oraz suwu tłoczyska dla obciążenia podpory siłą o przebiegu sinusoidalnym mają postać:

$$p_2(t) = P_w + \frac{F_1 k_1 k_2}{z^2} \left\{ \frac{1}{(\omega^2 - \omega_{21}^2)(\omega^2 - \omega_{22}^2)} [1 - H(t-T)] \sin\omega t + \frac{\omega}{\omega_{21}(\omega_2^2 - \omega^2)(\omega_{21}^2 - \omega^2)} [\sin\omega_{21}t - H(t-T)\sin\omega_{21}(t-T)] + \frac{\omega}{\omega_{22}(\omega_{22}^2 - \omega^2)(\omega_{22}^2 - \omega_{21}^2)} [\sin\omega_{22}t - H(t-T)\sin\omega_{22}(t-T)] \right\}, P_s \quad (2.8)$$

$$l_1(t) = \frac{F_1}{z} \left\{ \frac{1}{(\omega^2 - \omega_{21}^2)(\omega^2 - \omega_{22}^2)} \left(\frac{k_1 + k_2}{z} - \omega^2 \right) [1 - H(t-T)] \sin\omega t \right.$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\omega}{\omega_{21}(\omega_{21}^2 - \omega^2)(\omega_{21}^2 - \omega_{22}^2)} \left(\frac{k_1 + k_2}{\mu_{2z}} - \omega_{21}^2 \right) \left[\sin \omega_{21} t - H(t-T) \sin \omega_{21}(t-T) \right] \\
 &= \frac{\omega}{\omega_{22}(\omega_{22}^2 - \omega_{21}^2)(\omega_{22}^2 - \omega_{21}^2)} \left(\frac{k_1 + k_2}{\mu_{2z}} - \omega_{22}^2 \right) \\
 &\quad \left[\sin \omega_{22} t - H(t-T) \sin \omega_{22}(t-T) \right], \dots
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

gdzie:

$$\omega_{21} = \left[\frac{\sigma_4}{2} + \left(\frac{\sigma_4^2}{4} - \sigma_2' \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} s^{-1}$$

$$\omega_{22} = \left[\frac{\sigma_4}{2} - \left(\frac{\sigma_4^2}{4} - \sigma_2' \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} s^{-1}$$

$$\sigma_2' = \frac{k_1 k_2}{\mu_{1z} \mu_{2z}}, \quad s^{-4}$$

Obciążenie prędkością - przebieg sinusoidalny

Na rys. 5 przedstawiono obciążenie prędkością o przebiegu sinusoidalnym. Ciśnienia cieczy hydraulicznej oraz suwu tłoczyska dla tego typu obciążenia opisuje zależności:

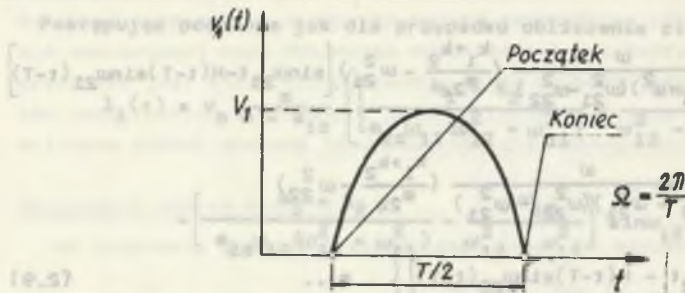
$$\begin{aligned}
 p_2(t) &= P_w + V_1 \frac{k_1 k_2 \Omega}{\mu_{2z} \left(\frac{2}{3} - \sigma_2' \right) A_2} \left\{ \left(\frac{1}{\Omega^2} - \frac{1}{\omega_3^2} \right) \left[1 + H\left(t - \frac{T}{2}\right) \right] \right. \\
 &+ \left. \left[\frac{1}{\Omega^2} \cos \Omega t + \frac{1}{\omega_3^2} \cos \omega_3 \left(t - \frac{T}{2}\right) \right] H\left(t - \frac{T}{2}\right) \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{\omega_3^2} \cos \omega_3 t - \frac{1}{\Omega^2} \cos \Omega t, P_a \dots \right.
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

$$l_1(t) = \frac{V_1}{\Omega} \left\{ (1 - \cos \Omega t) + \left[1 + \cos \omega_3 \left(t - \frac{T}{2}\right) \right] H\left(t - \frac{T}{2}\right) \right\}, \dots \tag{2.11}$$

gdzie:

$$\omega_3 = \sqrt{\frac{k_1 + k_2}{\mu_{2z}}}, \quad s^{-1}$$

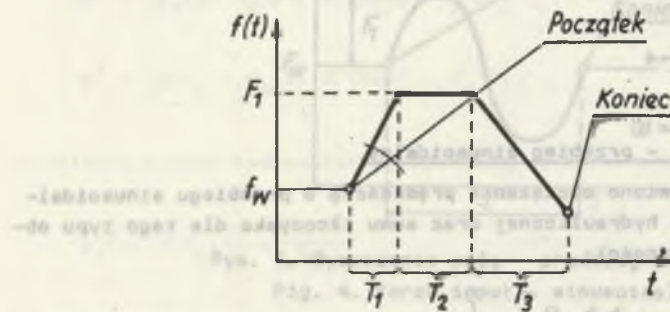
$H(t-T)$ - oznaczono funkcję jednostkową przesuniętą (0 dla $t < T$,
1 dla $t > T$)



Rys. 5. Wymuszenie prędkością - przebieg sinusoidalny
Fig. 5. Speed input - sinusoidal course

Obciążenie siłą - przebieg trapezowy

Cinienie cieczy hydraulicznej oraz suw tłoczyśka wyliczamy według przebiegu obciążenia siłą o przebiegu trapezowym przedstawionym na rys. 6.



Rys. 6. Przebieg wymuszenia siłą - przebieg trapezowy
Fig. 6. Force input course - trapezoidal course

Zależności opisujące ciśnienie cieczy hydraulicznej $p(t)$ oraz suw tłoczyśka $l_1(t)$ ujmują relacje:

$$\begin{aligned}
 p_2(t) = & P_w + \frac{F_1}{A_2} C_1 C_2 \left[\frac{t-T_1}{1} - \frac{t-T_1}{1} H(t-T_1) - \frac{(t-T_1-T_2)H(t-T_1-T_2)}{3} + \right. \\
 & \left. + \frac{(t-T_1-T_2-T_3)H(t-T_1-T_2-T_3)}{3} \right] + \frac{F_1}{A_2} \frac{C_1 C_3}{\omega_{41}} \left[\frac{1}{T_1} \sin \omega_{41} t - \right. \\
 & - \frac{1}{T_1} H(t-T_1) \sin \omega_{41} (t-T_1) - \frac{1}{T_3} H(t-T_1-T_2) \sin \omega_{41} (t-T_1-T_2) + \\
 & \left. + \frac{1}{T_3} H(t-T_1-T_2-T_3) \sin \omega_{41} (t-T_1-T_2-T_3) \right] +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{F_1}{A_2} \frac{C_1 C_4}{\omega_{42}} \left[\frac{1}{T_1} \sin \omega_{42} t - \frac{1}{T_1} H(t-T_1) \sin \omega_{42} (t-T_1) - \right. \\
 & - \left. \frac{1}{T_3} H(t-T_1-T_2) \sin \omega_{42} (t-T_1-T_2) \right] + \\
 & + \frac{1}{T_3} H(t-T_1-T_2-T_3) \sin \omega_{42} (t-T_1-T_2-T_3) \Big] \cdot P_2 \dots \quad (2.12)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l_1(t) = & F_1 C_2 C_6 \left[\frac{t}{T_1} - \frac{t-T_1}{T_1} H(t-T_1) - \frac{t-T_1-T_2}{T_3} H(t-T_1-T_2) + \right. \\
 & + \left. \frac{t-T_1-T_2-T_3}{T_3} H(t-T_1-T_2-T_3) \right] + F_1 \frac{C_3 C_6}{\omega_{41}} \left[\frac{1}{T_1} \sin \omega_{41} t - \right. \\
 & - \left. \frac{1}{T_1} H(t-T_1) \sin \omega_{41} (t-T_1) - \frac{1}{T_3} H(t-T_1-T_2) \sin \omega_{41} (t-T_1-T_2) + \right. \\
 & + \left. \frac{1}{T_3} H(t-T_1-T_2-T_3) \sin \omega_{41} (t-T_1-T_2-T_3) \right] + F_1 \frac{C_4 C_6}{\omega_{42}} \left[\frac{1}{T_1} \sin \omega_{42} t - \right. \\
 & - \left. \frac{1}{T_1} H(t-T_1) \sin \omega_{42} (t-T_1) - \frac{1}{T_3} H(t-T_1-T_2) \sin \omega_{42} (t-T_1-T_2) + \right. \\
 & + \left. \frac{1}{T_3} H(t-T_1-T_2-T_3) \sin \omega_{42} (t-T_1-T_2-T_3) \right] + F_1 \frac{C_5}{\omega_{41}} \left[\frac{1}{T_1} \sin \omega_{41} t - \right. \\
 & - \left. \frac{1}{T_1} H(t-T_1) \sin \omega_{41} (t-T_1) - \frac{1}{T_3} H(t-T_1-T_2) \sin \omega_{41} (t-T_1-T_2) + \right. \\
 & + \left. \frac{1}{T_3} H(t-T_1-T_2-T_3) \sin \omega_{41} (t-T_1-T_2-T_3) \right] - F_1 \frac{C_5}{\omega_{42}} \left[\frac{1}{T_1} \sin \omega_{42} t - \right. \\
 & - \left. \frac{1}{T_1} H(t-T_1) \sin \omega_{42} (t-T_1) - \frac{1}{T_3} H(t-T_1-T_2) \sin \omega_{42} (t-T_1-T_2) + \right. \\
 & + \left. \frac{1}{T_3} H(t-T_1-T_2-T_3) \sin \omega_{42} (t-T_1-T_2-T_3) \right] \cdot \dots \quad (2.13)
 \end{aligned}$$

gdzie:

$$C_1 = \frac{k_1 k_2}{\omega_{1z} \omega_{2z}}, \quad s^{-4} \quad C_2 = -\frac{1}{\omega_{41}^2 \omega_{42}^2}, \quad s^4$$

$$C_3 = \frac{1}{\omega_{41}^2 (\omega_{41}^2 + \omega_{42}^2)}, s^4$$

$$C_4 = \frac{1}{\omega_{42}^2 (\omega_{41}^2 - \omega_{42}^2)}, s^4$$

$$C_5 = \frac{1}{\omega_{42}^2 - \omega_{41}^2}, s^2$$

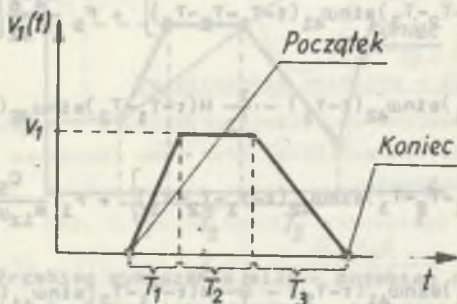
$$C_6 = \frac{k_1 + k_2}{2z^2}, N^{-1} s^{-4}$$

$$C_7 = \frac{k_1}{2z} + \frac{k_2}{2z} + \frac{k_2}{2z}, s^{-2}$$

$$\omega_{41} = \left[-C_7 + (C_7^2 - C_1) \right]^{\frac{1}{2}}, s^{-1} \quad \omega_{42} = \left[-C_7 - (C_7^2 - C_1) \right]^{\frac{1}{2}}, s^{-1}$$

Obciążenia prędkości - przebieg trapezowy

Wyliczenia dokonano podobnie jak dla przypadku obciążenia siłą o przebiegu trapezowym. Przebieg prędkości obciążającej wymuszonej przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Wymuszenie prędkością - przebieg trapezowy

Fig. 7. Speed input - trapezoidal course

Częstotliwość drgań własnych ujmuje zależność:

$$\omega_5 = \sqrt{\frac{k_1 + k_2}{2z}}, s^{-1} \quad (2.14)$$

Wyliczone ciśnienie cieczy hydraulicznej oraz sum tłoczyśka podają zależności (2.15) oraz (2.16).

$$\begin{aligned}
 p_2(t) = & P_w + \frac{V_1}{A_2} \frac{k_1 k_2}{\omega_5^2} \left\{ \frac{1}{T_1} t^2 - \frac{1}{T_1} (t-T_1)^2 H(t-T_1) - \right. \\
 & - \frac{1}{T_3} (t-T_1-T_2)^2 H(t-T_1-T_2) + \frac{1}{T_3} (t-T_1-T_2-T_3)^2 H(t-T_1-T_2-T_3) - \\
 & + \frac{1}{\omega_5^2 T_1} (1 - \cos \omega_5 t) + \frac{1}{\omega_5^2 T_1} [1 - \cos \omega_5 (t-T_1)] H(t-T_1) + \\
 & + \frac{1}{\omega_5^2 T_3} [1 - \cos \omega_5 (t-T_1-T_2)] H(t-T_1-T_2) - \\
 & \left. - \frac{1}{\omega_5^2 T_3} [1 - \cos \omega_5 (t-T_1-T_2-T_3)] H(t-T_1-T_2-T_3) \right\} \cdot P_a \quad (2.15)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 l_1(t) = & V_1 \left[\frac{t^2}{T_1} - \frac{(t-T_1)^2}{T_1} H(t-T_1) - \frac{(t-T_1-T_2)^2}{T_3} H(t-T_1-T_2) + \right. \\
 & \left. + \frac{(t-T_1-T_2-T_3)^2}{T_3} H(t-T_1-T_2-T_3) \right], \quad (2.16)
 \end{aligned}$$

3. UWAGI KONCOWE

Wyprowadzone zależności pozwalają wyznaczyć analitycznie przebiegi czasowa ciśnienia cieczy hydraulicznej oraz suw tłoczyśka podpory jedno- teleskopowej bez zaworu dla wybranych przypadków obciążenia. Zależności analityczna wyprowadzono posługując się modelem zastępczym podpory dla dyskretnego rozłożenia masy i sprężystości. Przyjęto model o dwóch stopniach swobody, w którym pominięto tarcie. Stałe skupione niezbędne do wyliczeń ustala się opierając się na gabarytach podpory. Najczęściej stosowanymi przypadkami obciążeń w prowadzonych badaniach stoiskowych są: uder masowy, wymuszenie siły i prędkości o przebiegu sinusoidalnym oraz trapezowym. Najbardziej uniwersalny jest przypadek trapezowy, przy użyciu którego możemy symulować obciążenia o przebiegu impulsowym, trójkątnym, prostokątnym czy ekoju jednostkowego. Relacje opisujące ciśnienie cieczy hydraulicznej podpory są sumą składowych opisujących dynamikę podpory oraz rodzaj obciążenia. Suw tłoczyśka dla obciążenia prędkością wynika jedynie z jej przebiegu czasowego, natomiast dla innych przypadków obciążenia z dynamiki podpory oraz rodzaju obciążenia.

Придатność, podanego sposobu wyznaczania charakterystyk dynamicznych podpory hydraulicznej jednosteleskopowej będzie można ocenić dopiero po dokonaniu szczegółowych wyliczeń charakterystyk, ich porównaniu z wynikami badań stoiskowych oraz wyznaczeniu błędu metody. Wymienione prace są aktualnie realizowane.

LITERATURA

- [1] Olaszowski W., Stałęga S., Wachelka L.: Zasady modelowania współpracy obudowy z górotworem w czasie drgań stropu w wyrobiskach eksploatacyjnych. Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa, 1977 nr 3.
- [2] Węgrzyn S.: Rachunek operatorowy. PWN, Warszawa 1960.
- [3] Węgrzyn S.: Podstawy automatyki. PWN, Warszawa 1974.
- [4] Stoiński K.: Metody wyznaczania obciążeń dynamicznych stojaków hydraulicznych oraz obudów ścianowych. Wydawnictwa Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 1985 (seria dodatkowa).

Recenzent: Prof. dr hab, inż. Jerzy ANTONIAK

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1987 r.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ОПОР БЕЗ КЛАПАНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ НАГРУЗКИ

Резюме

Представлены математические зависимости, описывающие изменения давления гидравлической жидкости и хода штока поршня при динамической нагрузке одностекопической гидравлической опоры без предохранительного клапана. Динамическая нагрузка принята как удар массы, воздействие силы и скорости в виде синусоиды и трапеции. Аналитические зависимости были выведены с помощью модели опоры при дискретном распределении массы и упругости. В расчётах использована электромеханическая аналогия и операционное исчисление Лапласа и Карсона.

Для каждого из пяти примеров динамических нагрузок введены аналитические зависимости, выражающие давление гидравлической жидкости и ход штока поршня в зависимости от времени. Сосредоточенные параметры опоры, необходимые для вычислений, определяются на основании чертежей и рисунков или путем непосредственных измерений в опоре.

Выведенные зависимости можно использовать для оценки прочности опоры на динамические нагрузки в зависимости от величины и вида нагрузки, вступительной опорности и выдвигания штока поршня.

Пригодность предложенного способа оценки можно будет определить только после сравнения о результатами стендовых исследований и определения ошибок.

ANALYTIC DEPENDENCES DESCRIBING THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE ONE-TELESCOPIC HYDRAULIC PROP WITHOUT ANY VALVE WITH DIFFERENT KINDS OF LOAD

S u m m a r y

The paper presents the mathematical dependences describing the course of hydraulic fluid pressure and piston rod stroke with dynamic load of the one-telescopic hydraulic prop without safety-valve.

Dynamic loadings were taken as mass strike, force and speed input with the shape of sinusoid and trapezoid.

Analytic dependences were processed due to the substitute model of the prop for a discrete mass and stress distribution.

Electromechanic analogies and Laplace Carson's operational calculus were used in the calculations.

For each of the 5 cases of dynamic loadings analytic dependences were processed considering the hydraulic fluid pressure and piston rod stroke according to the time.

Concentrated parameters of the prop that are necessary for calculations are determined on the basis of the structural drawings or due to the direct measurement of the prop.

Processed dependences may be used to estimate the prop resistance on the dynamic loadings according to the load quantity and kind initial support and piston rod line feed.

Usefulness of the suggested way of estimation might be appreciated only after comparing to the results of the stand investigations and determining the errors.