ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1977

Seria: GÓRNICTWO z. 80 Nr kol. 547

KONFERENCJA: MODELOWANIE GÓRNICZYCH MASZYN WYCIĄGOWYCH
9 - 10.XII.1977

STANISŁAW KAWULOK
GŁÓWNY INSTYTUT GÓRNICTWA
KATOWICE

DYNAMIKA NACZYNIA WYCIĄGOWEGO, PRZEJEŻDŻAJĄCEGO WZDŁUŻ POJEDYŃCZYCH NIERÓWNOŚCI NA PROWADNIKACH

Przeanalizowano siły przejmowane przez prowadnice toczne, oraz przemieszczenia i przyspieszenia naczynia w czasie jego przejazdu wzdłuż pojedynczych nierówności na czołowych płaszczyznach prowadników szybowych. Naczynie traktowano jako ciało sztywne o dwóch, sprzężonych ze sobą, stopniach swobody, podparte na liniowo sprężystych prowadnicach z tłumieniem wiskotycznym. Przedyskutowano wpływ ustawienia prowadnic na naczyniu wyciągowym, które w zależności od rodzaju nierówności, może wpływać na liniowość układu. Podano przykłady otrzymanych wyników obliczeń. Wskazano na trudności w określaniu wielkości sił obciążenia zbrojenia szybowego z pomiarów poziomych przyspieszeń naczyń wyciągowych.

1. Wstęp

Dynamika wzajemnego oddziaływania naczynia i zbrojenia szybowego zależna jest od szeregu czynników i parametrów; ustalenie ich wpływu nie jest możliwe w pomiarach przemysłowych. Zachodzi więc potrzeba budowy teoretycznego modelu układu "naczynie-zbrojenie" i sprawdzenie w praktyce stopnia zgodności modelu z rzeczywistością; przy wystarczającej dla celów praktycznych zgodności, wpływ poszczególnych parametrów i czynników na wzajemne oddziaływanie naczynia i zbrojenia można badać na modelu. Analizowanych już było wiele modeli układu "naczynie-zbrojenie" przez różnych autorów. Przyjęty model za-

leżał od postawionego sobie celu analizy. Znaczna ilość publikacji z tego zakresu, szczególnie w Związku Radzieckim, poświęconych jest analizie wpływu okresowej zmiany sztywności zbrojenia szybowego na dynamikę naczynia wyciągowego. Jak wykazano w pracy [3], w polskim przemyśle węglowym przy stosowaniu prowadnic tocznych i przy pionowych odstępach dźwigarów nie przekraczających 6 m, wpływ okresowo zmiennej sprężystości zbrojenia, w zdecydowanej większości urządzeń wyciągowych, można pominąć.

Różne przypadki przejazdu naczynia wzdłuż nierównych ciągów prowadnikowych, w tym przejazd wzdłuż pojedynczych nierówności, rozpatrywane były też w pracy [5].
Dla celów określenia wielkości siły na jaką powinno być obliczane zbrojenie szybowe przy projektowaniu, autor analizował układ "naczynie-zbrojenie" [3], [4] z nierównościami prowadników których wielkość i rozłożenie przyjęto jako przypadkowe.

W czynnym szybie, istotna jest możliwość określenia miejsc występowania dużych uderzeń naczynia o zbrojenie, poznania ich przyczyn, oraz podanie wskazówek dla radykalnego obniżenia uderzeń w tych miejscach. Dla tych celów zachodzi potrzeba przeanalizowania dynamiki naczynia w czasie jego przejazdu wzdłuż pojedynczych nierówności na prowadnikach. W niniejszym referacie podano zasadnicze założenia i wstępne wyniki takiej analizy.

2. Założenia i analiza układu

W analizie przyjęto, że naczynie jako ciało sztywne z liniowo sprężystymi prowadnicami i wiskotycznym tłumieniem, unoszone w szybie na giętkiej i nieważkiej linie, napotyka na prostych ciągach prowadnikowych na pojedynczą nierówność położoną na ich czołowych płaszczyznach /na obu lub na jednym ciągu/. Założono, że dzięki stosowaniu prowadnic tocznych o współczynniku sztywności $c_p \leqslant 12$ kN/cm, zastępczą sztywność zbrojenia i prowadnic tocznych c można przyjąć jako stałą $c \approx$ constans. Przyjęto, że nierówność ciągów prowadnikowych wynika z ustawienia jednego dźwigara, lub dwóch na jednym poziomie, z odchyłką δ od pionu, podczas gdy dźwigary poniżej i powyżej są zamocowane w pionie, czyli z odchyłką $\delta = 0$ - rys. 1.

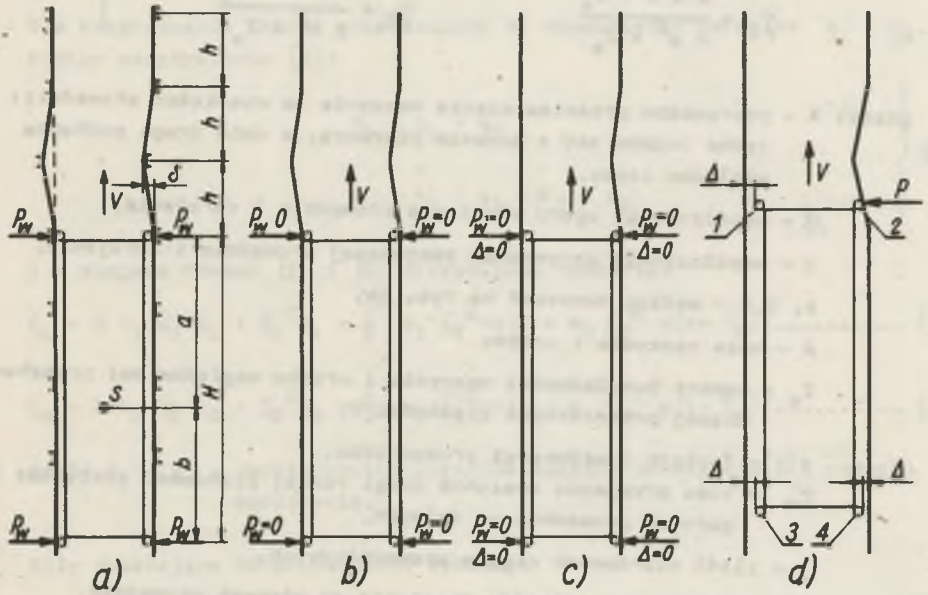
W zależności od zamocowania prowadnic na naczyniu, wyróżnijmy trzy przypadki:

1. - prowadnice toczne przylegają do prowadników ze wstępnym dociskiem P_w, nierówności występują na jednym lub na obu ciągach - rys. 1a,
   - jednakowe nierówności występują na obu ciągach, a prowadnice przyle-

gają do prowadników bez luzu i bez wstępnego docisku - rys. 1b. W tym przypadku układ jest liniowy, ogólnie sprzężony, a jeżeli środek ciężkości S naczynia i urobku znajduje się w połowie wysokości naczynia czyli $a = b = \frac{H}{2}$, to rozprzężony.

2. - prowadnice toczne przylegają do prowadników bez luzu i bez wstępnego docisku, a nierówność występuje tylko na jednym ciągu prowadnikowym - rys. 1c; ze względu na zwężanie się prześwietu prowadników, w czasie przejazdu wzdłuż nierówności prowadnice górne przylegają do prowadników ze wstępnym dociskiem a dolne bez, zaś po najechaniu dolnymi prowadnicami na nierówność, prowadnice górne przylegają bez wstępnego docisku a dolne ze wstępnym dociskiem. W tym przypadku układ jest sprzężony z liniowo zmienną sztywnością.

3. - naczynie najeżdża na nierówność tylko jedną górną prowadnicę, pozostałe trzy prowadnice nie mają kontaktu z prowadnikami, po najechaniu dolnej prowadnicy na nierówność tylko ona ma kontakt z prowadnikiem, pozostałe go nie mają - rys. 1d, W tym przypadku układ jest nieliniowy /z liniowo łamaną charakterystyką/.



Rys. 1
Analizowane przypadki przejazdu naczynia wzdłuż nierówności prowadników

W rzeczywistości, w czasie jazdy naczynia w szybie, występują kombinacje wyżej wymienionych warunków. Nawet w czasie przejazdu jednej nierówności, warunki podparcia naczynia prowadnicami mogą ulegać zmianie. Utrudnia to, a nieraz nawet uniemożliwia, analityczne ujęcie zagadnienia.

Dla przypadku 1 i 2 warunków ustawienia prowadnic na naczyniu, równania ruchu naczynia można doprowadzić do postaci:

$$\ddot{x}_g + 2 D_1 \omega_1 \dot{x}_g + \omega_1^2 x_g + \eta_1 \ddot{x}_d = \frac{1}{2} \cdot \omega_1^2 \cdot u(t) \tag{1}$$

$$\ddot{x}_d + 2 D_2 \omega_2 \dot{x}_d + \omega_2^2 x_d + \eta_2 \ddot{x}_g = \frac{1}{2} \omega_2^2 u(t - \tau_H) \tag{2}$$

przyczym:

$$\left.\begin{aligned} D_1 &= \frac{\beta_{gi}}{2 c_{gi}}, & D_2 &= \frac{\beta_{di}}{2 c_{di}} \\ \omega_1^2 &= \frac{c_{gi} \cdot H^2}{m a^2 + I_s}, & \omega_2^2 &= \frac{c_{di} \cdot H^2}{m b^2 + I_s} \\ \eta_1 &= \frac{m \cdot a \cdot b - I_s}{m a^2 + I_s}, & \eta_2 &= \frac{m \cdot a \cdot b - I_s}{m b^2 + I_s} \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

gdzie: X - poprzeczne przemieszczenie naczynia na wysokości prowadnic; jedna kropka nad x oznacza pierwszą, a dwie drugą pochodną względem czasu,

β - współczynnik oporu tłumienia prowadnic i zbrojenia,

c - współczynnik sztywności zastępczej prowadnic i zbrojenia,

a, b, H - według oznaczeń na rys. 1a,

m - masa naczynia i urobku,

I_s - moment bezwładności naczynia i urobku względem osi przechodzącej przez środek ciężkości S,

u(t) - funkcja nierówności prowadników,

τ_H - czas przejazdu naczynia drogi równej pionowemu odstępowi H górnych prowadnic od dolnych,

j - ilość nierównych ciągów prowadnikowych,

g - oznacza, że wielkość odnosi się do górnych prowadnic,

d - oznacza, że wielkość odnosi się do dolnych prowadnic,

i - oznacza występowanie (i = w), lub brak (i = b) wstępnego docisku prowadnic do prowadników.

Dla małego tłumienia, częstotliwości drgań własnych układu mają postać:

$$\Omega_{1,2}^2 = \frac{1}{2(1-\eta^2)}\left[\omega_1^2 + \omega_2^2 \mp \sqrt{(\omega_1^2 - \omega_2^2)^2 + 4\eta^2 \cdot \omega_1^2 \cdot \omega_2^2}\right] \quad (4)$$

przy czym $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2$.

Przy zaniku sprzężeń w układzie dla ($\eta = 0$) tzw. częstotliwości cząstkowe (parcjalne) ω_1 i ω_2 przechodzą w częstotliwości drgań własnych Ω_1 i Ω_2.

Stosunki amplitud A na wysokości górnej i dolnej prowadnicy są wielkością stałą i wynoszą [6]:

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{\mu_1} &= \frac{\eta_1 \cdot \Omega_1^2}{\omega_1^2 - \Omega_1^2} = \frac{A_{g1}}{A_{d1}} \\ \frac{1}{\mu_2} &= \frac{\eta_1 \cdot \Omega_2^2}{\omega_1^2 - \Omega_2^2} = \frac{A_{g2}}{A_{d2}} \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

Dla rozprzężenia układu przechodzimy na współrzędne normalne q_1 i q_2, robiąc podstawienie [6]:

$$\left.\begin{aligned} x_g &= q_1 + q_2 \\ x_d &= \mu_1 \cdot q_1 + \mu_2 \cdot q_2 \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

i w miejsce równań (1) i (2) otrzymujemy równania:

$$\ddot{q}_1 + 2 D_1 \Omega_1 \dot{q}_1 + \Omega_1^2 q_1 = \frac{1}{2}\left[a_1 \cdot \Omega_1^2 \cdot u(t) + a_2 \Omega_2^2 u(t - \tau_H)\right] \quad (7)$$

$$\ddot{q}_2 + 2 D_2 \Omega_2 \dot{q}_2 + \Omega_2^2 q_2 = \frac{1}{2}\left[a_3 \cdot \Omega_1^2 \cdot u(t) - a_4 \Omega_2^2 u(t - \tau_H)\right] \quad (8)$$

gdzie $a_1 \div a_4$ - współczynniki liczbowe zależne od wielkości i rodzaju sprzężenia.

Siły działające na prowadnice, wynoszą:

$$P_{g,d} = P_w + R_{g,d} \quad (9)$$

gdzie: P_w - wstępny docisk prowadnic do prowadników,

$R_{g,d}$ - dynamiczna siła działająca na prowadnice górne i dolne .

$$R_{g,d} = \frac{1}{2} \cdot C_i \cdot \left[u(t) - X_{g,d}\right] \tag{10}$$

Dla znalezienia X_g i X_d z równań (6) ÷ (8), przejeżdżanie naczynia wzdłuż nierówności trzeba podzielić na 6 faz czasowych, oznaczonych od F1 do F6:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{F1: dla } o \leqslant t \leqslant \tau, & \text{F4: dla } \tau_H \leqslant t \leqslant \tau_H + \tau \\ \text{F2: dla } \tau \leqslant t \leqslant 2\tau, & \text{F5: dla } \tau_H + \tau \leqslant t \leqslant \tau_H + 2\tau \\ \text{F3: dla } 2\tau \leqslant t \leqslant \tau_H, & \text{F6: dla } \tau_H + 2\tau < t \end{array}\right\} \tag{11}$$

gdzie: $\tau = \frac{h}{v}$, h - pionowy odstęp dźwigarów

$\tau_H = \frac{H}{v}$, H - pionowa odległość górnej prowadnicy od dolnej,

v - prędkość jazdy naczynia,

i dla każdej fazy znaleźć rozwiązanie równań (7) i (8).
Otrzymane, po rozwiązaniu równań (6) ÷ (8) [2] dla zerowych warunków początkowych, wyrażenia na dynamiczne siły R i przyspieszenia $\ddot{X}$, można przedstawić w postaci ogólnej:

$$R_{g,d} = \frac{1 \cdot c \cdot \delta}{2\,\tau \cdot \Omega_1} \left[A_F + c_F \cdot B_F \pm d_F \cdot \frac{K_F}{\alpha}\right] \tag{12}$$

$$\ddot{X}_{g,d} = \frac{j \cdot \delta \cdot \Omega_1}{2\tau} \left[c_F \cdot B_F \pm \alpha \cdot d_F \cdot K\right] \tag{13}$$

gdzie: c_F, d_F - współczynniki liczbowe, różne dla poszczególnych faz,

A_F, B_F, K_F - współczynniki funkcyjne wynikające z rozwiązania równania (9), różne dla poszczególnych faz. Ze względu na ich rozbudowaną postać nie podaje się ich tutaj.

$$\alpha = \frac{\Omega_1}{\Omega_2}$$

Jeżeli prowadnice na głowicy i na stopie naczynia mają jednakową sprężystość, a środek ciężkości S naczynia i urobku znajduje się w połowie odległości górnych prowadnic od dolnych, to współczynniki liczbowe we wzorach (12) i (13), niezależnie od częstotliwości drgań własnych, wynoszą $c_F = d_F = 1$.
Jeżeli środek ciężkości naczynia i urobku jest przesunięty w pionie w stosunku do geometrycznego środka naczynia, lub prowadnice górne mają inną sprężystość od dolnych, to wielkość współczynników c_F i d_F zależy od wielkości sprzężeń i wielkości częstotliwości drgań własnych

nych Ω_1 i Ω_2...

W przypadku gdy prowadnice toczne są ustawione w stosunku do prowadników bez luzu i bez wstępnego docisku, a ze względu na zwężanie się prześwitu prowadników (rys. 1 c) w czasie przejazdu prowadnic wzdłuż nierówności, występuje wstępny docisk, współczynniki c_F i d_F w poszczególnych fazach są różne.

Współczynniki funkcyjne A_F, B_F i K_F, po ich analitycznym określeniu w poszczególnych fazach, zaprogramowano na kalkulatorze typu Wang 600 i obliczono ich przebieg w czasie, dla różnych parametrów urządzeń wyciągowych

W przypadku 3 warunków ustawienia prowadnic na naczyniu luz między prowadnicami a prowadnikami jest duży, co powoduje, że naczynie może napotkać na nierówność tylko jedną prowadnicę czołową, podczas gdy pozostałe trzy nie mają kontaktu z prowadnikami (rys. 1d). Wtedy, w tej fazie uderzenia, równania ruchu naczynia przy pominięciu momentu od sił w linach i ciężaru naczynia przywracającego to naczynie do położenia równowagi, można doprowadzić do postaci:

$$\ddot{x}_g + 2 D_1 \dot{x}_g + \Omega_1^2 x_g = \Omega_1^2 u(t) \tag{14}$$

$$\ddot{x}_d + \nu \beta_g \cdot \dot{x}_g + \nu \cdot c_g \cdot x_g = c_g \cdot u(t) \tag{15}$$

$$\left.\begin{aligned} &\text{gdzie: } 2 D_1 = \left(\frac{2a}{H}\frac{1}{m} + \frac{b^2}{I_s}\right)\beta_g, \quad \nu = \frac{2a}{H}\frac{1}{m} - \frac{ab}{I_s}, \\ &\Omega_1^2 = \left(\frac{2a}{H}\frac{1}{m} + \frac{b^2}{I_s}\right) c_g \end{aligned}\right\} \tag{16}$$

- pozostałe oznaczenia jak poprzednio.

Przy założeniu, że do chwili osiągnięcia maksimum nierówności prowadnica straci kontakt z prowadnikiem, rozwiązanie równania (14) dla zerowych warunków początkowych, ma postać:

$$x_g = \frac{\delta}{\tau \cdot \Omega_1}\left(t \cdot \Omega_1 - e^{-D_i \Omega_i t} \cdot \sin \Omega_1 t\right), \tag{17}$$

siła działająca na prowadnicę górną wynosi:

$$P_g = c_g\left(u - x_g\right) = \frac{c_g \cdot \delta}{\tau \cdot \Omega_1} \cdot e^{-D_i \Omega_i t} \cdot \sin \Omega_i t, \tag{18}$$

zaś przyspieszenie na wysokości górnej prowadnicy wynosi:

$$\ddot{x}_g \approx \frac{\delta}{\tau} \cdot \Omega_1 \cdot e^{-D_1 \cdot \Omega_1 \cdot t} \cdot \sin \Omega_1 \cdot t \tag{19}$$

Dla $a = b = \frac{H}{2}$ ruch prowadnicy dolnej jest określony przez:

$$x_d \simeq \frac{1}{2}\frac{\delta}{\tau\cdot\Omega_1} e^{-D_1\Omega_1 t}\cdot \sin\Omega_1 t, \tag{20}$$

co oznacza, że naczynie w przybliżeniu wykonuje ruch obrotowy wokół osi przechodzącej w 1/3 długości naczynia od jego stopy. Przy dostatecznych luzach, prowadnice dolne nie przejmują sił, a więc $P_d = 0$, zaś przyspieszenie na wysokości dolnych prowadnic wynosi:

$$\ddot{x}_d \simeq -\frac{1}{2}\frac{\delta\cdot\Omega_1}{\tau}\cdot e^{-D_1\cdot\Omega_1 t}\cdot \sin\Omega_1 t = \frac{1}{2}\ddot{x}_g \tag{21}$$

Po utracie kontaktu prowadnicy nr 2 z prowadnikiem (rys. 1d), głowica naczynia zostaje wyrzucona w kierunku przeciwległego ciągu - rozpoczyna się druga faza ruchu, w której naczynie nie ma kontaktu z prowadnikami przez żadną prowadnicę. Czas trwania tej fazy zależy od wielkości luzów. Po pokonaniu luzów prowadnica nr 1 (rys. 1d) uderzy o przeciwległy prowadnik. Przyjmując, że w chwili ponownego uderzenia naczynie posiada taką samą prędkość poprzeczną jaką miało w chwili utraty kontaktu prowadnicy nr 2 z prowadnikiem, oraz że prowadnice dolne nadal nie mają kontaktu z prowadnikami, równania ruchu prowadnic (dla czasu ponownie obliczanego od 0) mają postać:

$$\left.\begin{aligned} x_g &= \frac{\delta}{\tau}\left(1 - e^{-D_1\bar{T}}\right)\cdot e^{-D_1\cdot\Omega_1\cdot t}\cdot \sin\Omega_1 t, \\ x_d &= -\frac{\delta}{2\tau}\left(1 - e^{-D_1\bar{T}}\right)\cdot e^{-D_1\cdot\Omega_1 t}\cdot \sin\Omega_1 t, \end{aligned}\right\} \tag{22}$$

Siły działające na prowadnice wynoszą:

$$\left.\begin{aligned} P_g &= -\frac{c_g\cdot\delta}{\tau}\cdot\left(1 - e^{-D_1\bar{T}}\right)\cdot e^{-D_1\cdot\Omega_1 t}\cdot \sin\Omega_1 t \\ P_d &= 0 \end{aligned}\right\} \tag{23}$$

zaś przyspieszenia na wysokości prowadnic:

$$\left.\begin{aligned} \ddot{x}_g &\simeq -\frac{\delta\cdot\Omega_1^2}{\tau}\cdot\left(1 - e^{-D_1\bar{T}}\right)\cdot e^{-D_1\cdot\Omega_1 t}\cdot \sin\Omega_1 t \\ \ddot{x}_d &\simeq -\frac{\delta\cdot\Omega_1^2}{2\tau}\left(1 - e^{-D_1\bar{T}}\right)\cdot e^{-D_1\cdot\Omega_1 t}\cdot \sin\Omega_1 t \end{aligned}\right\} \tag{24}$$

W podobny sposób można znaleźć szukane wielkości w następnych uderzeniach.

Z równań (18), (19), (23), (24) wynika, że w przypadku gdy naczynie ma kontakt z prowadnikiem tylko przez jedną prowadnicę, to udział masy biorącej w uderzeniu, jako stosunek siły działającej na prowadnicę do

przyspieszenia występującego na wysokości tej prowadnicy jest stały w poszczególnych uderzeniach i wynosi:

$$m_u = \frac{P_g}{\ddot{x}_g} = \frac{1}{\frac{2a}{H}\frac{1}{m} + \frac{b^2}{I_s}} \tag{25}$$

co dla $a = b = \frac{H}{2}$ daje $m_u \cong 0{,}25$ m.

Powyższy wynik jest zgodny z wynikiem analizy przeprowadzonej w artykule [1], w którym tak określona masa wykorzystana jest do obliczania wielkości sił z pomiarów przyspieszeń. Przy stosowaniu prowadnic tocznych wydaje się to dyskusyjne, ponieważ na większości głębokości szybu naczynie ma kontakt z prowadnikami poprzez więcej niż jedną prowadnicę, a wtedy udział masy jest zmienny w dość szerokich granicach (porównaj rys. 5). Przy prowadzeniu ślizgowym, gdzie muszą być stosowane znaczne luzy między ślizgami a prowadnikami, być może kontakt naczynia tylko przez jedną prowadnicę występuje najczęściej. W tym przypadku można określić najczęściej powtarzający się udział masy w uderzeniach.

Uwzględnienie niezerowych warunków początkowych, polega na dodaniu każdorazowo do rozwiązań ruchu naczynia dodatkowego członu:

$$x^o = A^o_1 \cdot e^{-D_1 \cdot \Omega_1 \cdot t} \cdot \cos\left(\Omega_1 \cdot t + \alpha_1\right) + A_2^o\, e^{-D_2 \cdot \Omega_2 \cdot t} \cos\left(\Omega_2 \cdot t + \alpha_2\right) \tag{26}$$

gdzie:

$$\left.\begin{aligned}
A_1^o &= \sqrt{x_1^o + \left(\frac{v_1^o}{\Omega_1}\right)^2}, & \operatorname{tg}\alpha_1 &= \frac{v_1^o}{x_1^o \cdot \Omega_1} \\
A_2^o &= \sqrt{x_2^o + \left(\frac{v_2^o}{\Omega_2}\right)^2}, & \operatorname{tg}\alpha_2 &= \frac{v_2^o}{x_2^o \cdot \Omega_2} \\
x_g^o &= x_1^o + x_2^o, & v_g^o &= v_1^o + v_2^o \\
x_d^o &= \mu_1 \cdot x_1^o + \mu_2\, x_2^o, & v_d^o &= \mu_1 \cdot v_1^o + \mu_2 \cdot v_2^o
\end{aligned}\right\} \tag{27}$$

$x^o_{g,d}$, $v^o_{g,d}$ – przemieszczenie i prędkość naczynia na wysokości górnych i dolnych prowadnic w chwili najazdu górnych prowadnic na nierówność (dla $t = 0$).

Przemieszczenie i prędkość naczynia na wysokości prowadnic, w chwili najazdu naczynia na nierówność są przypadkowe, zależne od wielkości i

położenia poprzedniej nierówności , a ich maksymalne wartości mogą dochodzić do kilkudziesięciu procent tych wartości, które występują przy zerowych warunkach początkowych. Krańcowy wpływ niezerowych warunków początkowych można prześledzić zakładając, że w chwili t_m wystąpienia maksimum siły dla zerowych warunków początkowych, obydwa człony wzoru (27) przyjmą ekstremalne wartości o znaku zgodnym ze znakiem maksimum siły.

3. Wyniki analizy układu

Analizę przeprowadzono dla przykładowych naczyń, których zasadnicze parametry przyjęte do obliczeń podano w tablicy 1. Przyjmowano, że naczynia te są wyposażone w trzy rodzaje prowadnic ocznych:

- o współczynniku sprężystości C_p = 10 kN/cm, mocowanych na naczyniu bez luzu i bez wstępnego docisku,
- o C_p = 2,5 kN/cm mocowanych na naczyniu najpierw bez luzu i bez wstępnego docisku, a następnie ze wstępnym dociskiem,
- o C_p = 1,5 kN/cm, mocowanych na naczyniu ze wstępnym dociskiem.

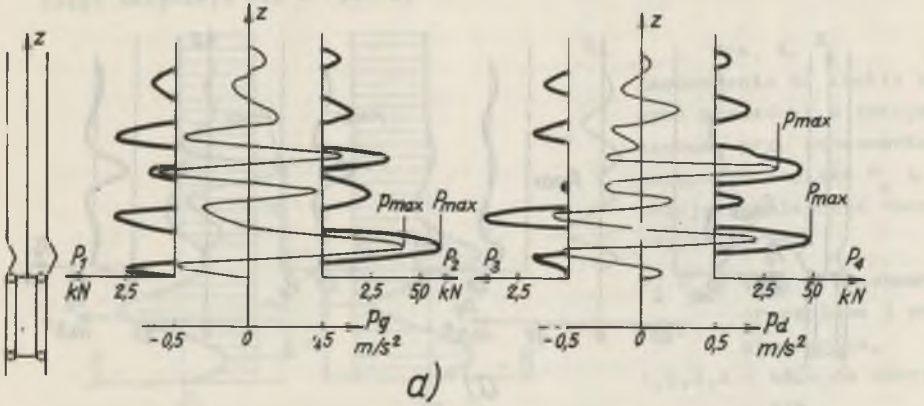
Tablica 1

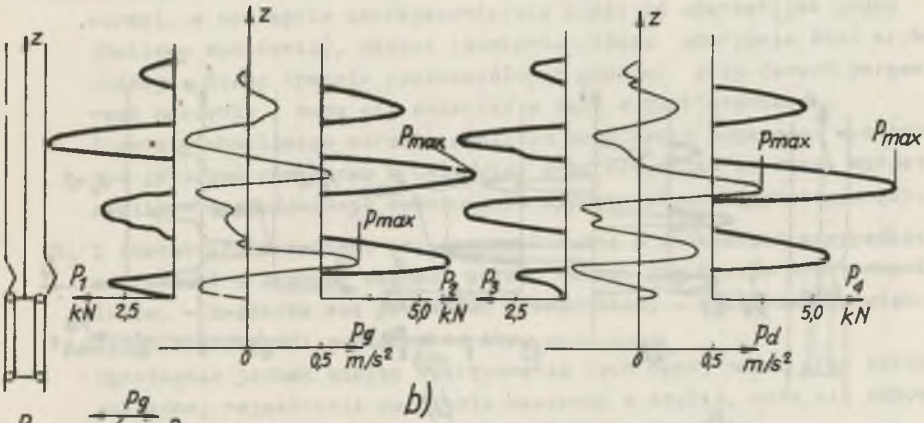
Ładowność naczynia	Mg	7,5	15	20	30
Masa pustego naczynia	Mg	7,5	15	20	30
Moment bezwładności naczynia niezaładowanego	$Mg\ m^2$	57,5	195	395	837
Moment bezwładności naczynia załadowanego	$Mg\ m^2$	86,8	311	616	1357
Długość naczynia od górnych prowadnic do dolnych	m	9	12	15	18

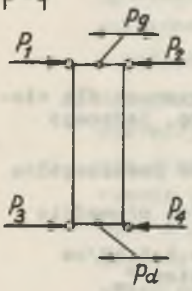
Obliczenia wykonano dla naczyń o różnych parametrach, przejeżdżających wzdłuż nierówności jak na rys. 1 o wielkości δ = 1 cm, przy h = 3 m. Na rys. 2 i 3 podano wykreślnie przykłady otrzymanych wyników, dla tłumienia D_1 = 0,1.

Wstępna analiza otrzymanych wyników doprowadziła do następujących wniosków:

1. Najechanie naczynia prowadnicami na pojedynczą nierówność na czołowych płaszczyznach ciągów prowadnikowych wywołuje jego drgania własne zanikające z częstotliwościami Ω_1 i Ω_2. Uderzanie naczynia o ciągi prowadnikowe jest wynikiem nakładania się obu tych drgań. Przez uderzenie naczynia o jeden ciąg rozumie się tutaj proces dynamicznej zmiany siły na prowadnicy, począwszy od chwili początku







Rys. 2

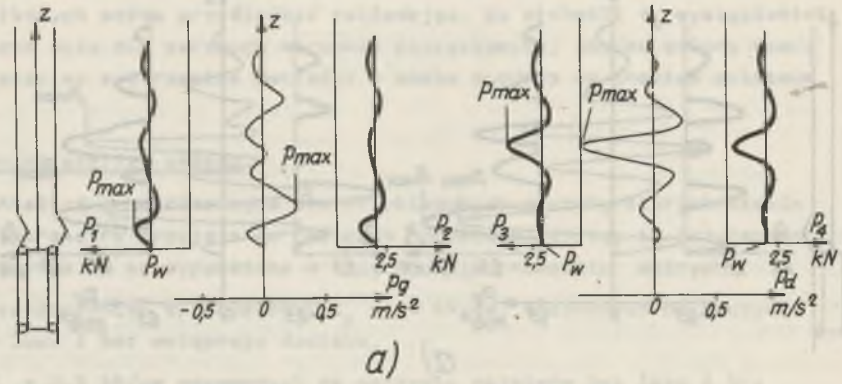
Przebiegi sił i przyspieszeń obliczonych dla skipu ładowności 15 Mg jadącego z prędkością v = 15 m/s, z prowadnicami o c_p = 10 kN/cm zamocowanych bez luzu i bez wstępnego docisku.

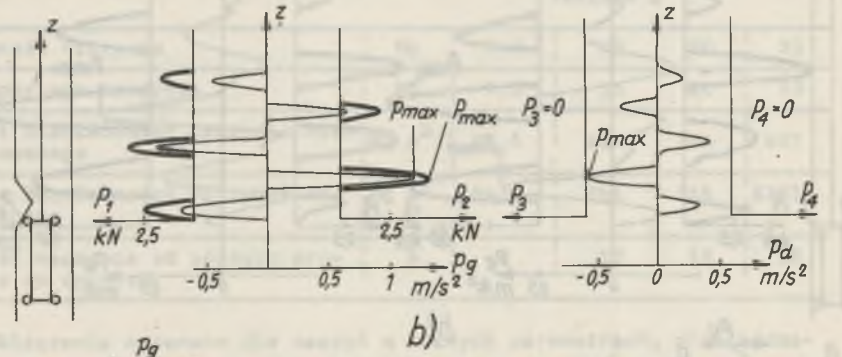
P_1, P_2, P_3, P_4 - siły działające na poszczególne prowadnice,

p_g, p_d - przyspieszenia na wysokości prowadnic górnych i dolnych,

a. dla skipu niezaładowanego

b. dla skipu załadowanego





Rys. 3

Przebiegi sił i przyspieszeń obliczonych dla niezaładowanego skipu ładowności 15 Mg, jadącego z prędkością v = 15 m/s

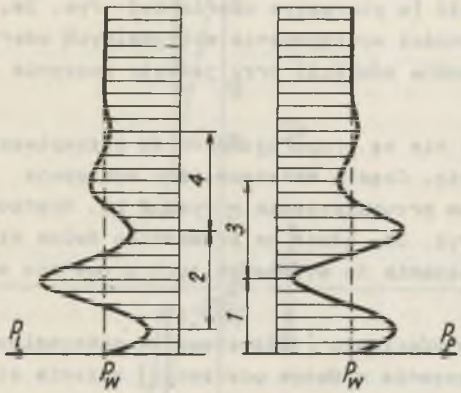
P_1, P_2, P_3, P_4 - siły działające na poszczególne prowadnice

P_g, P_d - przyspieszenia na wysokości prowadnic górnych i dolnych

a. dla skipu z prowadnicami o c_p = 1,5 kN/cm zamocowanych ze wstępnym dociskiem P_w

b. dla skipu z prowadnicami o c_p = 10 kN/cm uderzającego jedną prowadnicą o nierówność, pozostałe prowadnice nie mają kontaktu z prowadnikami

narastania tej siły aż do chwili końca jej spadku. Przy stosowaniu więc wstępnego docisku prowadnic do prowadników, uderzenia o poszczególne ciągi zazębiają się - rys. 4.



Rys. 4.
Zachodzenie na siebie uderzeń prowadnic o zbrojenie szybowe przy stosowaniu wstępnego docisku P_w i przyjęta kolejność numeracji uderzeń.

P_l P_p - siły przejmowane przez lewe i prawe prowadnice,

1,2,3,4 - kolejne uderzenia

2. Na skutek nakładania się dwóch drgań, występuje najczęściej najpierw wzrost, a następnie zmniejszanie się amplitud uderzeń (jak gdyby chwilowe dudnienie), dzięki tłumieniu układu uderzenia dość szybko znikają. Czasy trwania poszczególnych uderzeń przy danych parametrach naczynia , mogą się zmieniać w dość dużych granicach.
Zjawisko chwilowego wzrostu amplitud może nawet sugerować występowanie jakiegoś rezonansu w układzie, oraz utrudniać wykrycie wzrostu amplitud spowodowanego ewentualnym wpływem drgań parametrycznych.

3. Z charakteru przebiegu przyspieszeń można w niektórych przypadkach wnioskować o pewnych cechach układu takich jak np.: - występowanie luzów, - zwężanie się prześwitu prowadników, - występowanie większych nierówności prowadników itp.
Określenie jednak miejsc występowania tych cech, nawet przy bardzo dokładnej rejestracji położenia naczynia w szybie, może się odbywać z małą dokładnością, bo około 1,5 długości naczynia.

4. Maksymalna siła uderzenia naczynia o zbrojenie dla prowadnic górnych występuje najczęściej po odrzuceniu naczynia od nierówności i uderzeniu przeciwległą prowadnicą o przeciwległy ciąg prowadnikowy (uderzenie 2 - rys. 4). Przy odpowiednich częstotliwościach drgań własnych i prędkościach jazdy naczynia zdarza się również, że maksymalna siła na górnych prowadnicach występuje dopiero w czasie przejazdu przez nierówność dolnej prowadnicy. Maksymalna siła na dolnych prowadnicach może występować zarówno już w czasie przejazdu prowadnicy górnej przez nierówność, jak i w czasie przejazdu prowadnicy dolnej. Jest to zależne od częstotliwości drgań własnych układu i prędkości

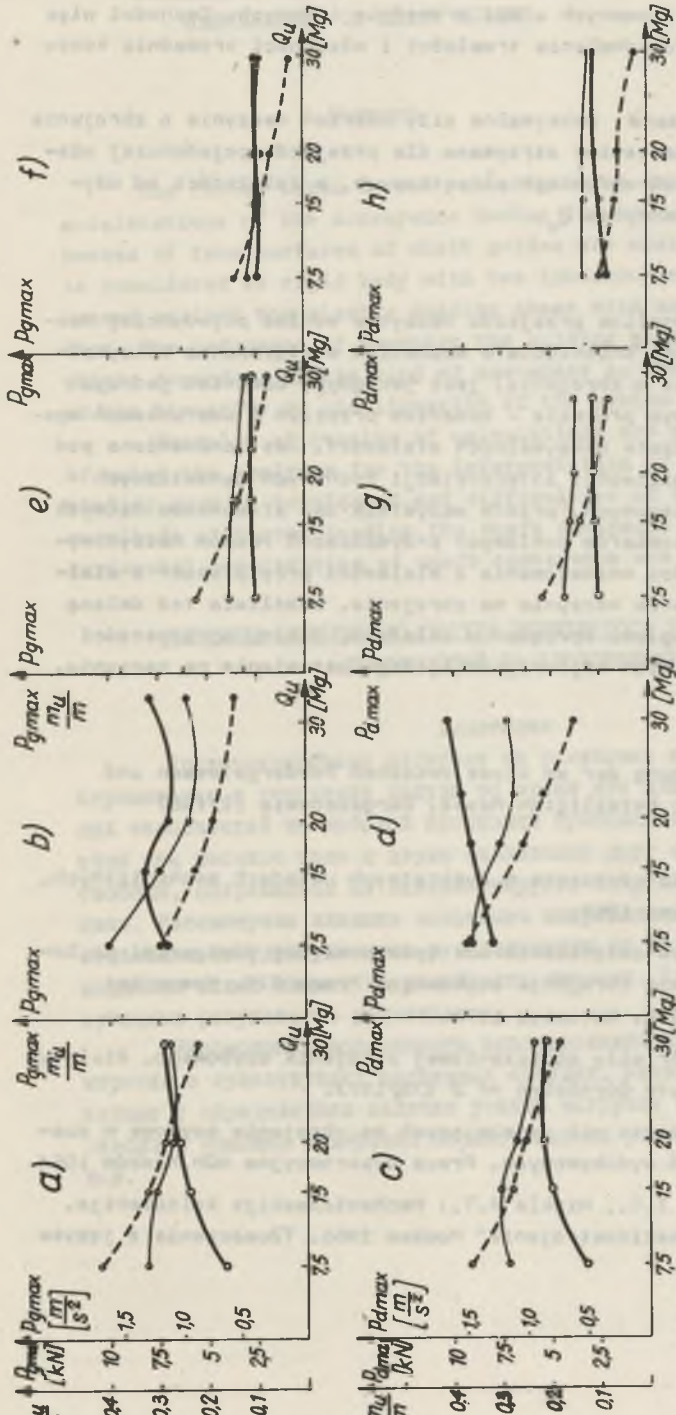
jazdy naczynia. Przy zamocowaniu prowadnic ze wstępnym dociskiem, maksymalna siła działająca na prowadnice może wystąpić przy najeżdżaniu prowadnicy na nierówność (w pierwszym uderzeniu)- rys. 3a. Powyższe uwagi odnośnie kolejności występowania maksymalnych uderzeń na prowadnice górne i dolne można odwrócić przy jeździe naczynia w dół.

5. Siły działające na prowadnice nie są proporcjonalne do przyspieszeń naczynia na wysokości prowadnic. Często maksimum siły występuje w innym uderzeniu niż maksimum przyspieszenia - rys. 2 i 3. Krańcowym dowodem powyższego jest rys. 3b, gdzie na prowadnice dolne nie działa żadna siła, a przyspieszenia na wysokości tych prowadnic osiągają znaczne wartości.

6 Udział masy biorącej udział w uderzeniu (jako stosunek maksymalnej siły do maksymalnego przyspieszenia w danym uderzeniu) zmienia się w dużych granicach zarówno w poszczególnych uderzeniach, jak i przy zmianie parametrów układu. Rozrzut ten można zmniejszyć, wprowadzając umowny udział masy m_u dla wszystkich uderzeń w danym przejeździe wzdłuż nierówności, jako stosunek maksymalnej siły uderzenia R_{max}, do maksymalnego przyspieszenia p_{max}, niezależnie od tego w którym uderzeniu wystąpiło R_{max} a w którym p_{max}.
Tylko w przypadku gdy naczynie najeżdża na nierówność tylko jedną prowadnicą (rys. 1d), a układ luzów i przebieg uderzenia jest taki, że w danej chwili kontakt naczynia z prowadnikiem odbywa się tylko przez jedną prowadnicę, udział masy w uderzeniach jest stały i zależy tylko od stosunków wymiarowych naczynia. Ten przypadek jednak najczęściej występuje tylko przy ślizgowym prowadzeniu.

7. Niezerowe warunki początkowe wjazdu naczynia na nierówność (czyli poprzeczne ruchy naczynia wywołane jego wcześniejszym przejazdem wzdłuż nierówności), mogą zmieniać przedstawione na rys. 2 i 3 przebiegi, przesuwając maksimum występowania sił i przyspieszeń zarówno w dół jak i w górę szybu, zmieniać wielkość tych maksimów, oraz zmieniać udział masy m_u w uderzeniach w czasie przejazdu.

8. Obliczone wielkości maksymalnych przyspieszeń w czasie przejazdu wzdłuż pojedynczych nierówności są mniejsze od stwierdzanych w rzeczywistych urządzeniach w czasie przejazdu wzdłuż nierówności które ocenia się, że były tak wielkie jakie przyjęto do obliczeń. Świadczy to o tym, że w rzeczywistości przy dużych uderzeniach naczynia o zbrojenie, siły przejmują prowadnice ślizgowe o znacznie wyższej sztywności niż prowadnice toczne. Przejmowanie uderzeń przez prowadnice ślizgowe wynika ze stosowania luzów między prowadnicami tocznymi a prowadnikami, koniecznych dla przedłużenia niedostatecz-



Rys. 5. Maksymalne siły działające na górne $P_{g\,max}$ i dolne $P_{d\,max}$ prowadnice, maksymalne przyspieszenia na wysokość górnych $P_{g\,max}$ i dolnych $P_{d\,max}$ prowadnic, oraz stosunek masowej masy m_u biorącej udział w uderzeniu do całkowitej masy m naczynia /z ewentualnym urobkiem/, obliczone dla naczyń o różnej ładowności

——— P_{max} ○ – naczynie niezaładowane a, b, c, d – dla naczyń wyposażonych w prowadnice
– – – P_{max} ● – naczynie załadowane toczne o C_p = 10 kN/cm, zamocowanych bez luzu i bez
—·— stosunek $\frac{m_u}{m}$, $m_u = \frac{R_{max}}{P_{max}}$, wstępnego docisku, jadących w szybie z prędkością
v = 15 m/s,

e, f, g, f – dla naczyń wyposażonych w prowadnice toczne o C_p = 1,5 kN/cm, zamocowanych ze wstępnym dociskiem P_w = 1,5 kN, jadących w szybie z prędkością v = 15 m/s, $P_{max} = P_w + R_{max}$/.

nej trwałości stosowanych u nas prowadnic tocznych. Zachodzi więc pilna potrzeba doskonalenia trwałości i własności prowadnic tocznych.

Na rys. 5 pokazano maksymalne siły uderzeń naczynia o zbrojenie i maksymalne przyspieszenia, otrzymane dla przejazdu pojedynczej nierówności przy zerowych warunkach początkowych, w zależności od użytecznej ładowności naczynia Q_u.

4. Zakończenie

Przedstawiona analiza przejazdu naczynia wzdłuż pojedynczej nierówności stanowi próbę wniknięcia w mechanizm występowania maksymalnych uderzeń naczynia o zbrojenie; jest jak gdyby badaniem jednego miejsca w przypadkowym procesie - badaniem przyczyn i uwarunkowań występowania w tym procesie maksymalnych wielkości. Jest prowadzona pod kątem zwiększenia możliwości interpretacji ruchowych dynamicznych pomiarów naczyń wyciągowych, przede wszystkim zaś stosunkowo łatwych do przeprowadzenia pomiarów poziomych przyspieszeń ruchów naczyń wyciągowych i możliwości wnioskowania z wielkości przyspieszeń o wielkości sił oddziaływania naczynia na zbrojenie. Umożliwia też dalszą analizę i dyskusję wpływu sprzężeń w układzie, doboru sprężystości prowadnic tocznych i ich najkorzystniejszego ustawienia na naczyniu.

Spis literatury

[1] Berg G.: Berechnung der am Stoss zwischen Fördergefässen und Schachteinbanten beteiligten Masse. Bergakademie 12/1967 s. 725-728.

[2] Gryboś R.: Teoria uderzenia w dyskretnych układach mechanicznych. Wyd. PWN. Warszawa 1969.

[3] Kawulok S.: Wpływ zwiększenia odstępów pomiędzy dźwigarami szybowymi na obciążenie zbrojenia szybowego. Prace GIG. Komunikat nr 550. Wyd. Śląsk. Katowice 1972.

[4] Kawulok S.: Dobór siły obliczeniowej zbrojenia szybowego. Biuletyn Głównego Instytutu Górnictwa nr 2 (76)/1973.

[5] Knop H.: Zagadnienie sił działających na zbrojenie szybowe w czasie ruchu naczyń wydobywczych. Praca dysertacyjna AGH.Kraków 1964.

[6] Tse F.S., Morse I.E., Hinkle R.T.: Mechaniczeskije koliebanija. Izdatielstwo "Maszinostrojenie" Moskwa, 1966. Tłumaczenie z języka angielskiego.

DYNAMICS OF THE CONVEYENCE PASSING ALONG SINGLE UNEVENESSES ON SHAFT GUIDES

Summary

The forces taken by the roller guiding shoes, displacements and accelerations of the conveyence during its travel along single unevenesses of face surfaces of shaft guides are analysed. The conveyence is considered as rigid body with two intercoupled degrees of freedom leaned against the elastic guiding shoes with damping of viscous friction. The influence of mounting the guiding shoes on the conveyence which, depending on the kind of uneveness on the guides, may influence on the linearity or non-linearity of the system is discussed.

Examples of results of calculations are given. The possibility of using the analysis for the interpretation of measurements in actual winding gear is considered and difficulties of determination of the magnitude of forces loading the shaft equipment from measurements of horizontal acceleration of shaft conveyence are indicated.

ДИНАМИКА ПОДЪЕМНОГО СОСУДА ДВИЖУЩЕГОСЯ ВДОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ НА ПРОВОДНИКАХ

Аннотация

Проанализированы нагрузка на роликовые направляющие опоры, перемещение и ускорение сосуда во время его движения вдоль отдельных неровностей на лобовой плоскости проводников. Сосуд рассматривается как жесткое тело с двумя связанными друг с другом степенями свободы, опирающееся на линейно-упругие направляющие с вязким трением. Рассмотрено влияние положения направляющих по отношению к подъемным сосудам, которое в зависимости от вида неровности на проводниках может влиять на линейность системы. Приведены примеры полученных результатов расчетов.

Рассмотрена возможность использования анализа для оценки измерений в существующих подъемных сосудах. Указано на трудности связанные с определением величин усилий нагрузки на армировку шахтного ствола с помощью измерений горизонтальных ускорений подъемных сосудов.