

Stanisław KAWULOK
Główny Instytut Górnictwa w Katowicach

DYNAMICZNE OBCIĄŻENIA ZBROJENIA SZYBU SPOWODOWANE PROWADZENIEM NACZYŃ WYCIĄGOWYCH

Streszczenie. Podano warunki, jakie muszą być spełnione, by układ "górnictwa naczynie wyciągowe - prowadniki szybowe" można było traktować jako liniowy. Wskazano sposób uwzględnienia sprężystości naczynia wyciągowego. Przeanalizowano wyjście z układu liniowego. Omówiono zagrożenia wynikające z dynamicznego obciążenia prowadzenia naczyń w szybie.

DYNAMIC LOADING OF THE SHAFT LINING FROM GUIDING CONVEYANCES

Summary. The conditions to be fulfilled that the system "mining conveyance - shaft guides" could be treated as a linear one have been presented. The method to include in it the elasticity of the conveyance has been discussed. The dynamic load - caused hazard for guiding a conveyance in the shaft has been discussed.

ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ШАХТНОЙ АРМИРОВКИ ПРОИЗВЕДЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЕМ СОСУДОВ

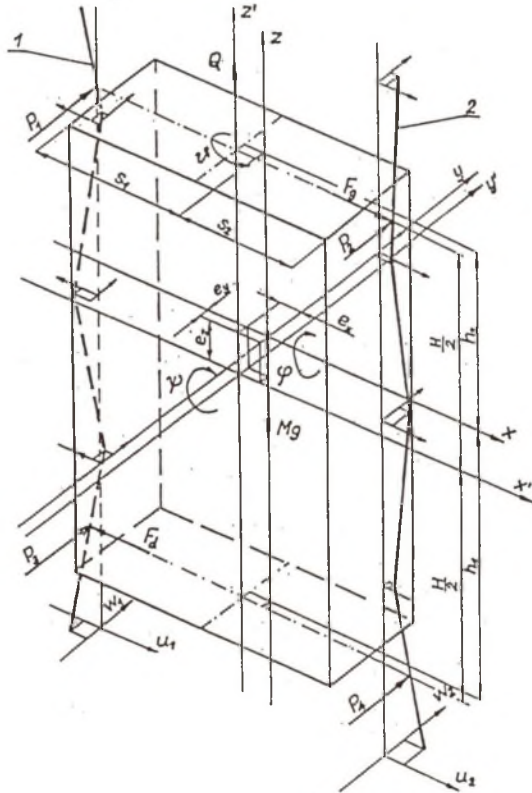
Резюме. Дано условия, которые следует выполнить, чтобы систему "подъемные сосуды - направляющие проводники" можно считать линейной. Показано способ учета упругости подъемного сосуда. Проанализировано выход из линейной системы, а также опасность от динамической нагрузки для ведения сосудов в стволе.

1. WSTĘP

Naczynia górniczych urządzeń wyciągowych budowane są jako skipy lub klatki. Skipy stanowią stosunkowo sztywny pojemnik skrzynkowy, w którym urobek transportowany jest luzem. Klatki zaś są podatniejszymi konstrukcjami kratownicowymi, w których urobek transportowany jest w wozach. Zarówno skipy, jak i klatki, ciągnięte na jednej lub więcej

linach, prowadzone są w szybie wzdłuż przewodników za pomocą przewodnic tocznych. Przewodniki co 2 do 6 m podparte są dźwigarami szybowymi. Na skutek tego rytmicznego podparcia ciągów przewodników współczynnik sprężystości przewodników w kierunku poziomym zmienia się okresowo. Układ przewodników i dźwigarów w szybie nazywany też bywa zbrojeniem szybu.

Naczynie wyciągowe traktowane jako ciało sztywne ma sześć stopni swobody. Jeśli przyjąć, że jeden z tych stopni określony jest przez ruch nieważkiej i nierozciągliwej liny, to wzajemne oddziaływanie naczynia wyciągowego i zbrojenia szybu związane jest z pięcioma stopniami swobody. Elastyczne podparcie naczynia wyciągowego na przewodnikach szybowych odbywa się poprzez tak zwane czołowe i boczne przewodnice toczne. Drgania naczynia w płaszczyźnie xz (rys1) przechodzącej przez oba ciągi przewodników wywołują obciążenia przewodnic czołowych siłami F , zaś w dwóch



Rys.1. Model układu "naczynie przewodniki", naczynie jako ciało sztywne
 Fig.1. A model of the system "conveyance guide", the conveyance as a rigid body

płaszczyznach prostopadłych do xz , czyli w płaszczyznach yz i xy , obciążenia prowadnic bocznych siłami P ; siły te przesuwają się wzdłuż ciągów prowadników z prędkością jazdy naczynia v . Ugięcia prowadnic tocznych ograniczone są za pomocą ślizgowych prowadnic bezpieczeństwa, w wyniku czego, po przekroczeniu pewnej wartości tego ugięcia, następuje nagły wzrost współczynnika sprężystości i charakterystyka sprężysta nagle się załamuje. Oprócz tego, w zależności od zamocowania prowadnic tocznych na naczyniu w stosunku do prowadników, w charakterystyce tej mogą występować dodatkowe załamania (spowodowane wstępnym dociskiem lub luzami w układzie) [1]. Na ogół, poza przypadkami szczególnymi, nie występują sprzężenia między siłami F a siłami P . Występują jednak zawsze sprzężenia między siłami na głowicy naczynia (F_g, P_1, P_2) z siłami na jego ramie dolnej (F_d, P_3, P_4).

2. MODEL LINIOWY

Żeby analizowany model można było traktować jako liniowy, oprócz liniowej charakterystyki sprężystej prowadnic tocznych i zbrojenia szybu, nie może występować przejmowanie uderzeń przez zabezpieczające prowadnice ślizgowe, nierówności na przeciwległych sobie ciągach prowadników muszą być równoległe i prowadnice toczne muszą dolegać do prowadników bez luzu i bez wstępnego docisku lub z tak dużym wstępnym dociskiem, by w czasie uderzeń nie występowała utrata kontaktu żadnej z prowadnic tocznych z prowadnikiem [2]. W rzeczywistości wszystkie te warunki są spełnione co najwyżej na krótkich odcinkach drogi. Niemniej jednak model liniowy stanowi pierwsze przybliżenie i był wielokrotnie analizowany przy różnych założeniach, przez różnych autorów.

Ponieważ współczynnik sprężystości p prowadnic tocznych jest stały i znacznie mniejszy od okresowo zmiennego współczynnika sprężystości $z(t)$ zbrojenia szybu, przy odstępach dźwigarów szybowych do około 45 m o współczynniku zastępczym układu decyduje współczynnik p . Wtedy równania ruchu naczynia mają postać:

$$A \{\ddot{q}\} + p \{q\} = U p, \quad (1)$$

gdzie: A - macierz bezwładności,

$\{q\}, \{\dot{q}\}$ - kolumnowa macierz uogólnionych współrzędnych i ich drugich pochodnych względem czasu,

U - macierz nierówności na prowadnikach, zależna od czasu i wartości przesunięcia czasowego $\tau = H/v$, gdzie H - odległość w pionie prowadnic tocznych na głowicy i na ramie dolnej, a v - prędkość jazdy naczynia.

3. MODEL Z OKRESOWO ZMIENNĄ SPRĘŻYSTOŚCIĄ

Przy odstępach między dźwigarami większymi od około 45 m, sztywnych przewodnicach tocznych lub stosowaniu tylko przewodnic ślizgowych nie można pominąć okresowej zmiany sprężystości zbrojenia szybu. Wtedy równania ruchu naczynia, bez wymuszenia kinematycznego, przyjmują postać:

$$A (\ddot{q}) + p (\dot{q}) = U p, \quad (2)$$

gdzie: $C(t)$ -macierz zastępczych współczynników zbrojenia szybu i przewodnic tocznych.

Dla naczyń, których środek ciężkości znajduje się w geometrycznym środku naczynia i momenty dewiacji są równe 0 (co w praktyce nie zawsze występuje), znikają sprzężenia między siłami F i P i znikają sprzężenia między drganiami w płaszczyźnie xz i drganiami w płaszczyznach yz i xy , a układ równań ruchu naczynia rozpada się na dwa niezależne układy z okresowo zmiennymi współczynnikami. Równania te mogą mieć niestabilne rozwiązania. Analiza stabilności układu i taki dobór parametrów jego pracy, by ruch naczynia był stabilny, była również przedmiotem zainteresowań wielu autorów.

4. ELASTYCZNOŚĆ NACZYNIA WYCIĄGOWEGO

Pierwszym przybliżeniem elastycznego i niejednorodnego naczynia wyciągowego jest układ elastycznie połączonych mas. Dla skipu wystarczy analizować 3 masy zastępujące głowicę, pojemnik i ramę dolną. Równania ruchu takiego układu są sprzężone. Analizę drgań układu z trzema masami w płaszczyźnie xz przechodzącej przez oba ciągi przewodników przeprowadzono w [3]. Dla klatki, oprócz głowicy i ramy dolnej, trzeba dodatkowo uwzględnić tyle mas, ile klatka posiada pięter.

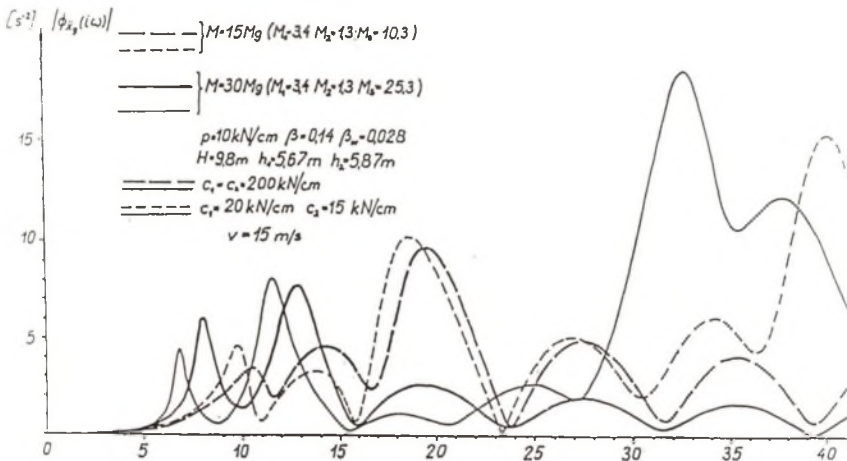
5. ANALIZA WYJŚCIA Z UKŁADU

Dla układu liniowego z odpowiadającego mu układu równań ruchu, stosując przekształcenie Laplace'a, można określić charakterystyki częstotliwościowe. Przykłady modułów takiej charakterystyki pokazano na rys.2. Na skutek przesunięcia czasowego $\tau = H/v$ wymuszeń kinematycznych na dolnych przewodnicach w stosunku do wymuszeń na górnych przewodnicach moduły te wykazują więcej lokalnych maksimów niż układ posiada stopni swobody. Między innymi z tego powodu prędkość jazdy naczynia v i jego długość H mają istotny wpływ na "wyjście" z układu. Przy ustalonej prędkości jazdy naczynia nierówności na przewodnicach mają charakter przypadkowego procesu stacjonarnego. Wtedy gęstość widmową $G_j(\omega)$ "wyjścia" można określić z zależności:

$$G_j(\omega) = |\Phi_j(i\omega)|^2 G_k(\omega), \tag{3}$$

zaś jego wariancję z zależności:

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\omega_{\max}} |\Phi_j(i\omega)|^2 G_k(\omega) \tag{4}$$



Rys.2. Przykład modułu charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej dla naczynia jako układu 3 mas

Fig.2. An example of the module of amplitude-frequency characteristics for a conveyance considered as a 3-mass system

Gęstość widmowa nierówności przewodników określana była zarówno w wyniku badań [4], jak i analitycznie [5]. Z porównań "wyjścia" układu określonego z pomiarów przeprowadzonych dla układu rzeczywistego z "wyjściem" układu określonym z zależności (3) i (4) wysnuo między innymi wniosek [6], [7], że w zakresie pracy układu bez przechodzenia na sztywną część charakterystyki sprężystej układu przyjmowanie modelu liniowego dla celów technicznych jest wystarczające.

6. ZAGROŻENIA WYWOŁANE DYNAMICZNYM OBCIĄŻENIEM

Wymagania odnośnie do wielkości nierówności torów prowadzenia powinny być tak ustalone i na tyle często kontrolowane, by układ pracował tylko w zakresie liniowych ugięć prowadnic tocznych. W razie przejścia uderzenia przez zabezpieczającą prowadnicę ślizgową i przejścia układu na sztywną część charakterystyki sprężystej następuje bardzo

szybki wzrost sił uderzenia. Przypadki takie mają miejsce, niestety, dość często, głównie z następujących powodów:

- występowania na torach prowadzenia pojedynczych dużych (przewyższających sąsiednie) nierówności lub załamania toru, względnie występowania za dużych luzów w układzie,
- przesunięcia w poziomie środka ciężkości naczynia z urobkiem poza oś geometrycznej symetrii naczynia, w której najczęściej zamocowana jest lina nośna lub oś symetrii lin,
- spotykanych w praktyce przerw ciągów przewodników na międzypoziomach i wyjazdu naczynia w tak zwane prowadniki narożne.

Przejmowanie uderzeń przez zabezpieczające prowadnice ślizgowe może doprowadzić do awarii, choć najczęściej skraca "tylko" czas pracy różnych elementów urządzeń wyciągowych z linami wyciągowymi i prowadnicami tocznymi na czele. Były już też jednak przypadki wyskoczenia naczynia z ciągów przewodników przy pełnej prędkości jazdy naczynia. Dlatego tak istotne jest opracowanie i wdrożenie rutynowych metod kontroli, wykrywania i dokładnego umiejscowienia w szybie niedopuszczalnie dużych luzów i nierówności oraz metod wyznaczania optymalnych korektur torów prowadzenia naczyń w szybie. Amplitudy nierówności torów prowadzenia, które mogą doprowadzić do przejmowania uderzeń przez prowadnice ślizgowe, odbiegają od normalnego rozkładu amplitud nierówności na pozostałej długości szybu. Dlatego takich przypadków nie można analizować jako przewyższeń procesu przypadkowego o rozkładzie normalnym, a trzeba analizować jako reakcję układu na przejazd naczynia wzdłuż pojedynczej nierówności. Niezerowe warunki początkowe takiego przejazdu zależą od reakcji układu na nierówności poprzedzające tę pojedynczą nierówność i dla układu liniowego będą miały rozkład normalny, podobnie jak nierówności przed pojedynczą nierównością.

LITERATURA

- [1] Kawulok S.: Wpływ ustawienia prowadnic tocznych na dynamikę prowadzenia naczynia wyciągowego w szybie. Prace GIG. Komunikat nr 744. Katowice 1987.
- [2] Kawulok S.: Ein Lineares Modell der Einwirkung der Schachtspurlatten auf ein steifes Fördergefäß. Archiwum Górnictwa 1988. Volume 33.
- [3] Kawulok S.: Wpływ podatności naczynia wyciągowego na dynamikę jego prowadzenia w szybie. Biuletyn GIG 1987 nr 2 (94).
- [4] Kawulok S.: Wpływ zwiększenia odstępów między dźwigarami szybowymi na obciążenie zbrojenia szybowego. Prace GIG. Komunikat nr 550. Katowice 1972.
- [5] Tylikowski A., Kawulok S.: Drgania przypadkowe oscylatora harmonicznego wywołane pewnym prawie stacjonarnym procesem losowym. Rozprawy Inżynierskie 1970 nr 4.
- [6] Kawulok S.: Oddziaływanie zbrojenia szybu na mechanikę prowadzenia naczynia wyciągowego. Prace GIG. Seria dodatkowa. Katowice 1989.

- [7] Wildner E.: Ermittlung der dynamischen Belastungen der Schachtführungseinrichtungen unter besonderer Berücksichtigung der Spurlatten. Vorschritt-Berichte VDI Reihe 13: Fördertechnik nr 27.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Świtoński

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1993 r.

Abstract

The paper presents conditions to be fulfilled that the system "mining conveyance - shaft guides" could be treated as a linear one, as well as the conditions showing when there is a need to include in the system a periodical change of elasticity of the shaft lining. It has been pointed out that, for the elasticity of the conveyance to be included, it should be considered as a system of elasticity coupled masses. The analysis of the system output has been made. The hazard has been assessed for guiding the conveyances in the shaft, resulting from striking the guides, in the course of which the contact between the protective sliding rails and the guides takes place.