

INTERNATIONAL CONFERENCE: DYNAMICS OF MINING MACHINES
DYNAMACH '89

Staniaław KAWULOK

Główny Instytut Górnictwa
KatowiceSTRUKTUROWO ZMIENNY MODEL PROWADZENIA
NACZYŃIA WYCIĄGOWEGO W SZYBIE

Streszczenie. W zależności od liczby miejsc sprężystego podparcia naczynia wyciągowego o prowadniki szybowe, zmienia swoją strukturę zastępczy model układu naczynie-prowadniki. W czasie ruchu naczynia wzdłuż prowadników w szybie, następuje ciągła zmiana struktury układu.

W referacie opisano możliwe struktury układu. Na przykładzie wyników badań modelowych przeanalizowano wpływ parametrów urządzenia wyciągowego na częstość występowania zmian struktury układu. Dynamikę oddziaływania naczynia wyciągowego na prowadniki szybowe, dla różnych struktur układu, opisano za pomocą charakterystyk częstotliwościowych. Zmiany struktury układu powodują, że mimo stacjonarnego wejścia, wyjście z układu jest sumą wyjść dla różnych struktur o różnych charakterystykach. Dla przypadków analizy technicznej zaproponowano przyjmowanie modelu stałego, dobieranego odpowiednio do celu tej analizy.

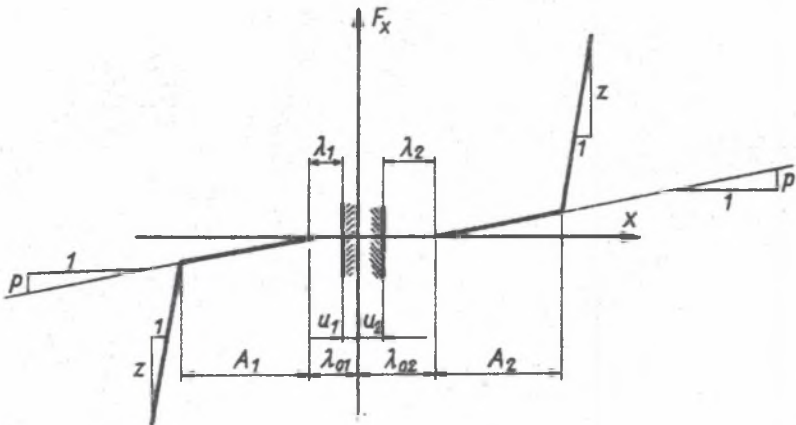
1. WPROWADZENIE

Przy sztywnym prowadzeniu naczyń, naczynie prowadzi się w szybie pomiędzy dwoma ciągami prowadnikowymi za pomocą toczących się po tych ciągach prowadnic toczych. Nierówności na ciągach prowadnikowych są przyczyną przypadkowego wytrącania naczynia z położenia równowagi i pobudzenia go do drgań. Z tego powodu ciągi prowadnikowe i dźwigary szybowe na których są one podparte w szybie (czyli zbrojenie szybu) przejmują obciążenia eksploatacyjne od prowadzenia naczyń w szybie.

Początkowo [1, 15] obciążenia zbrojenia rozpatrywano, jako pojedyncze uderzenia naczynia o prowadniki. Następnie [13, 5, 8, 14] analizowano wzajemne oddziaływanie naczynia i zbrojenia, jako wynik drgań układu liniowego: "sztywne naczynie podparte sprężystością prowadnicami na prowadnikach wzdłuż których ono się porusza". W zależności od rozwiązań prowadzenia naczyń stosowanych w danym kraju, analizowano relację układu na nierówności prowadników [13, 8, 14] lub drgania parametryczne układu [5, 7, 18] odsuwając wymuszenia kinematyczne na drugi plan lub nie analizując ich w ogóle.

Berg [3] i Wohlrab [19], jako model naczynia przyjęli wahadło fizyczne zawieszane na nici. Jak wykazano w pracy [9] model ten pokrywa się z modelem "naczynie jako ciało sztywne podparte sprężystością na przewodnikach" w przypadku, gdy kontakt naczynia z przewodnikiem występuje tylko na jednej wysokości naczynia (na poziomie górnych lub dolnych przewodnic tocznych).

Ze względu na nierówności ciągów przewodnikowych i nierównoległość przeciwnych ciągów oraz ograniczoną możliwość ugięcia przewodnicy tocznej i włączania się sprężystości zbrojenia szybu, rzeczywisty układ naczynie-przewodniki ma na wysokości podparć przewodnicami charakterystyki sprężyste, jak dla układu nieliniowego z luzami (rys. 1). Charakterystyki takie umożliwiają, w czasie jazdy naczynia szybem, ciągłą zmianę warunków sprężystego podparcia naczynia na przewodnikach.

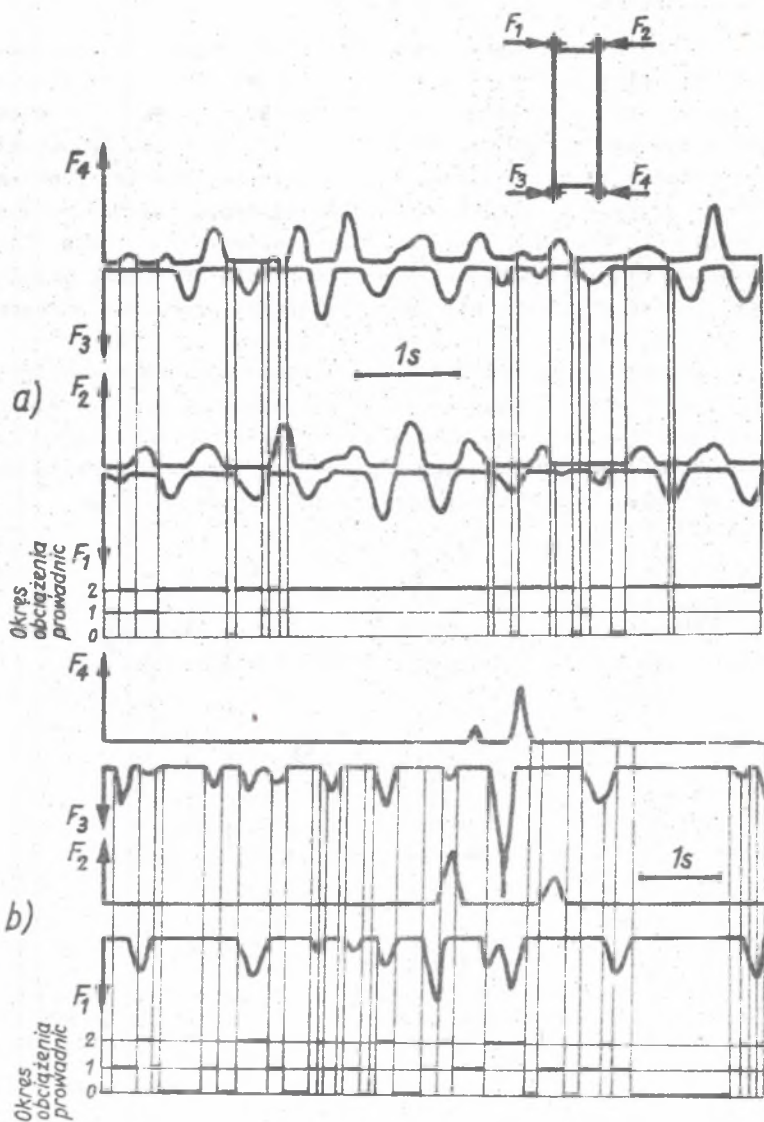


Rys. 1. Charakterystyka sprężysta układu naczynie-przewodniki na wysokości przewodnic tocznych

$\lambda_{01}, \lambda_{02}$ - nominalne luzy między przewodnicami tocznymi a przewodnikami, λ_1, λ_2 - rzeczywiste luzy między przewodnicami tocznymi a przewodnikami, przypadkowo zmieniające się wzdłuż szybu, u_1, u_2 - przypadkowe nierówności przewodników, A_1, A_2 - wystawanie przewodnic tocznych poza przewodnice ślizgowe, p - współczynnik sprężystości przewodnic tocznych, z - współczynnik sprężystości zbrojenia szybu

2. STANY STRUKTURY UKŁADU

Szczegółowa analiza wyników badań obciążeń czołowych przewodnic tocznych [8, 14, 16], jak i badań modelowych [20, 10] wykazują, że w czasie jazdy naczynia szybem występują następujące krótkie okresy (rys. 2) podczas których:



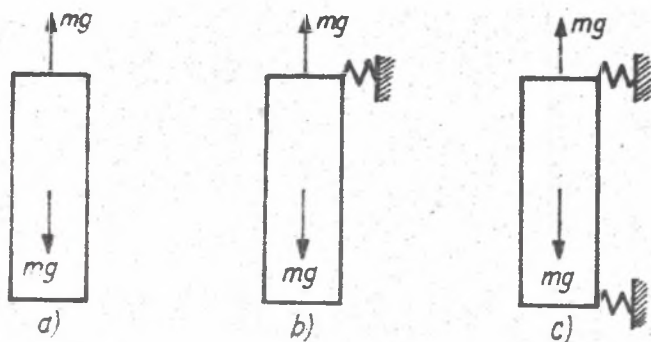
Rys. 2. Fragmenty oscylogramów modelowych badań czołowych sił F_i ($i = 1, 2, 3, 4$) uderzeń naczynia wyciągowego o przewodniki z zaznaczonymi okresami stanów (0, 1, 2) struktury układu

a) dla masy naczynia z urobkiem $M = 7,5$ t i prędkości jazdy $v = 15$ m/s i nominalnego luzu między przewodnikami $\lambda_0 = 0$, b) dla $M = 7,5$ t; $v = 15$ m/s i $\lambda = 0,5$ cm

- żadna z przewodnic tocznych nie jest obciążona,
- tylko jedna z przewodnic przejmuje obciążenia,
- jednocześnie obciążane są dwie przewodnice, jedna na wysokości głowicy druga na wysokości ramy dolnej naczynia.

Przypadek obciążania dwóch przewodnic na wysokości głowicy (lub dwóch na wysokości ramy dolnej), dotychczas identyfikujemy z przypadkiem, gdy jedna przewodnica na tej wysokości przejmuje obciążenia. Wymienione okresy na rys. 2 oznaczano odpowiednio symbolami 0, 1, 2. W okresie 0 na układ nie działa wymuszenie zewnętrzne, czyli układ nie ma wejścia. W okresie 1 układ ma jedno wejście, a w okresie 2 ma dwa wejścia. W układzie z dwoma wejściami, drugie wejście jest tą samą funkcją czasu co pierwsze, ale funkcja ta jest przesunięta w stosunku do pierwszego wejścia o wielkość τ odpowiadającą czasowi przejazdu pionowej odległości przewodnic górnych od dolnych.

Jeśli chce się określić właściwości dynamiczne modelu w poszczególnych okresach 0, 1 i 2, to dla każdego okresu trzeba zbudować inny model (rys.3), czyli struktura modelu dla każdego okresu jest inna. Odpowiadające tym okresom modele układu dla uderzeń przewodnicami czołowymi oznaczano odpowiednio symbolami 0C, 1C i 2C i nazwano stanami jego struktury.



Rys. 3. Możliwe stany struktury układu przy uderzeniach przewodnicami czołowymi

a) stan 0C - naczynie styka się z przewodnikami, b) stan 1C - naczynie styka się z przewodnikami tylko na wysokości głowicy (lub tylko na wysokości ramy dolnej), c) stan 2C - naczynie styka się z przewodnikami poprzez przewodnicę toczną na głowicy i na ramie dolnej

Jeśli w modelu przyjmuje się naczynie jako ciało sztywne, to w najogólniejszym stanie struktury 2C (przy uderzeniach przewodnicami czołowymi) posiada ono dwie częstotliwości drgań własnych Ω_{x1} i Ω_{x2} . Gdy naczynie rozpatruje się jako układ sprężystości połączonych mas [11], to dochodzą jeszcze częstotliwości własne Ω_{xi} tego układu (dla $i = 3, 4, \dots, n$, n - ilość uwzględnianych stopni swobody układu), gdy zaś jako układ ciągły, to dochodzi nieskończenie wiele częstotliwości własnych Ω_i . Przy utracie

kontaktu górnych (lub dolnych) prowadnic tocznych z przewodnikiem, układ staje się osobliwym [4] i jedna z częstotliwości drgań własnych $\Omega'_{x1} = 0$; zmianie ulegają również pozostałe na Ω'_{x2} i Ω'_{x1} . Jeśli utrata kontaktu prowadnicy z przewodnikiem nastąpi równocześnie na wysokości górnych i dolnych prowadnic, to dwie częstotliwości własne równe są zero: $\Omega''_{x1} = 0$ i $\Omega''_{x2} = 0$, zmianie ulegają również ewentualne pozostałe na Ω''_{xi} ($i = 3, 4, \dots$). Układy w których choć jedna z częstotliwości drgań własnych jest równa 0 nazywają się układami półokreślonymi [4]. Częstotliwości własnej równej zero odpowiada ruch naczynia, jako ciała nieodkształcalnego ze stałą prędkością wynikającą z warunków początkowych. Położenie naczynia określa, tzw. współrzędna cykliczna [4].

Jeśli na pewnym odcinku szybu prześwit ciągów przewodnikowych jest mniejszy od rozstawu prowadnic tocznych, to kontakt naczynia na jednej jego wysokości (tzn. na wysokości górnych lub dolnych prowadnic tocznych) odbywa się poprzez dwie naprzeciwległe prowadnice toczne. Wtedy sprężystość podparcia naczynia na tym odcinku zwiększa się z p na $2p$ (p - sprężystość prowadnicy tocznej). Wywołuje to więc zmianę częstotliwości własnych układu. Nie traktujemy tego, jako zmianę stanu struktury układu.

W czasie jazdy naczynia w szybie następują ciągle zmiany struktury układu (rys. 2). Czas przebywania układu w danym stanie i prawdopodobieństwo jego przechodzenia do poszczególnych stanów przy zmianie położenia naczynia wzdłuż szybu, zależą od: nierówności prowadników, rozstawu ciągów przewodnikowych i rozstawu prowadnic tocznych oraz przesunięcia środka ciężkości naczynia z ewentualnym urobkiem poza pionową oś naczynia przechodzącą przez punkt jego zawieszenia na linie.

Przy prawidłowym prowadzeniu naczyni w szybie układ powinien pracować tylko w granicach ugięć prowadnic tocznych, bez przejmowania obciążeń przez zabezpieczające prowadnice ślizgowe. W praktyce przejmowanie uderzeń przez ślizgowe prowadnice jest jednak stosunkowo często spotykane. Wtedy zaś następuje przejście układu na sztywną charakterystykę zbrojenia szybu i w konsekwencji nagły wzrost siły uderzenia. Nie występuje to jednak równocześnie na poziomie górnych i dolnych prowadnic a w danej chwili na poziomie tylko jednych lub tylko drugich. Siły przejmowane wtedy przez prowadnice toczne, w stosunku do przejmowanych przez prowadnice ślizgowe, dla potrzeb technicznej analizy zjawiska można pominąć [12]. Również i w tym przypadku układ, z pewnym przybliżeniem, można by więc traktować, jako osobliwy i przyjąć, że znajduje się on w stanie 1C.

Podobny model zmian stanów struktury można myślowo zbudować dla uderzeń naczynia o prowadniki prowadnicami bocznymi. W przypadku uderzeń prowadnicami bocznymi mogą wystąpić następujące stany struktury układu:

- 0B - trzy z częstotliwości drgań własnych $\Omega_{yi} = 0$ ($i = 1, 2, 3$),
- 1B - dwie z częstotliwości drgań własnych $\Omega_{yi} = 0$ ($i = 1, 2$),
- 2B - jedna częstotliwość drgań własnych $\Omega_{y1} = 0$,
- 3B - żadna z częstotliwości drgań własnych nie jest równa 0.

3. ANALIZA MODELU

Zmiany struktury układu w czasie jazdy naczynia wzdłuż szybu uniemożliwiają dokładne określenie wyjścia z układu metodami korelacyjnymi i widmowymi. W celu opisanie drgań naczynia metodami stosowanymi dla procesów Markowa [6] trzeba by znać rozkłady gęstości prawdopodobieństwa występowania poszczególnych stanów struktury. Można by też zastosować metodę badań statystycznych (Monte Carlo) [6], czyli znajdować reakcje układu dla konkretnych realizacji wejść o różnych kombinacjach parametrów. Uzyskane rozwiązania dla dużej liczby realizacji wejść, trzeba by wtedy opracować metodami teorii procesów losowych. Obydwa sposoby byłyby bardzo żmudne i raczej nieprzydatne do praktycznego wykorzystania. Z tego powodu wyjścia z układu przeanalizowano dla różnych stanów struktury a następnie porównano je wzajemnie. Dla stanu struktury, który okazał się najmniej korzystny dla obciążenia i wyteżenia zbrojenia szybu, przeprowadzono analizę możliwości jego wykrywania i umiejscowienia w szybie. Model układu dla tego najniekorzystniejszego stanu struktury można też przyjmować jako model zastępczy do analizy obciążenia zbrojenia.

Dla każdego ze stanów struktury modelu, osobno dla uderzeń prowadnicami czołowymi a osobno prowadnicami bocznymi, można znaleźć charakterystyki częstotliwościowe jako stosunek wyjścia do wejścia układu [12]. Dla stanów struktury OC i OB, wejście do układu jest równe zero i wyjście z układu również jest równe zero. Dla stanów z jednym wejściem (1C i 1B) charakterystyki częstotliwościowe mają postać, jak dla układu o jednym stopniu swobody, z jednym maksimum przy częstotliwości drgań własnych. Charakterystyki te nie zależą od prędkości jazdy naczynia. Dla układu z dwoma wejściami (2C, 2B i 3B) charakterystyki częstotliwościowe wykazują większą ilość maksimum lokalnych niż układ posiada stopni swobody (rys. 4); zmieniają się też one wraz ze zmianą prędkości v jazdy naczynia.

Jeśli na wejściu do układu liniowego przypadkowy proces, jakim są nierówności prowadników [13, 17], jest stacjonarny, to w ustalonym ruchu naczynia gęstość widmowa na wyjściu $G_j(\omega)$ związana jest z gęstością widmową na wejściu zależnością [2]:

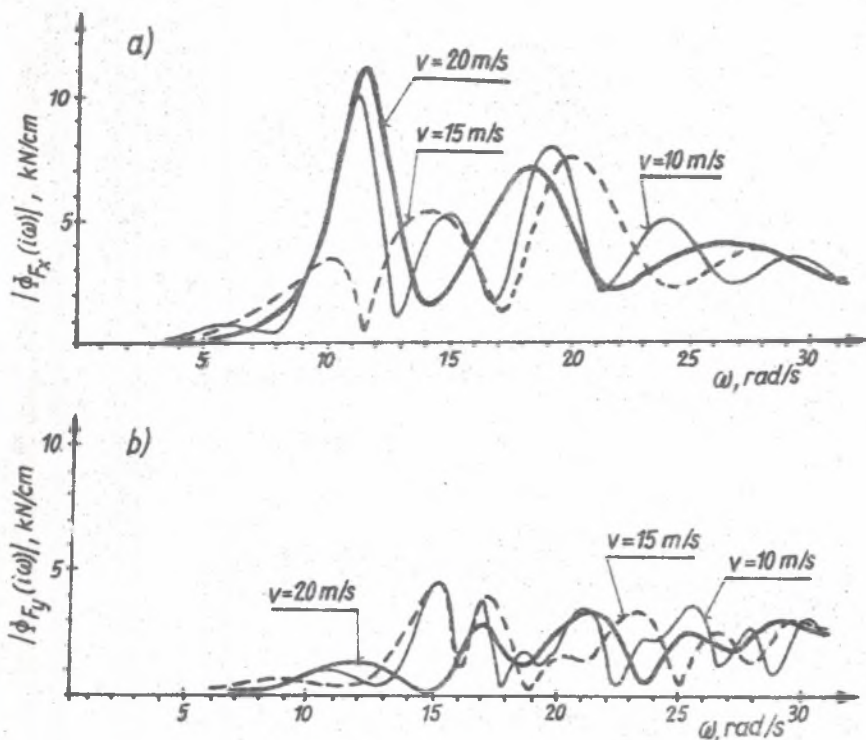
$$G_j(\omega) = |\Phi_j(i\omega)|^2 \cdot G_u(\omega) \quad (1)$$

Wariancja procesu na wyjściu ma zaś postać:

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\omega_{\max}} |\Phi_j(i\omega)|^2 \cdot G_u(\omega) d\omega \quad (2)$$

gdzie:

$|\hat{\Phi}_j(i\omega)|$ - moduł charakterystyki częstotliwościowej układu,
 ω - częstotliwość.



Rys. 4. Przykłady charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowych układu naczynie-prowadniki obliczonych dla naczynia jako ciała sztywnego
 a) dla sił czołowych F_x i stanu struktury układu 2C, b) dla sił bocznych F_y i stanu struktury układu 3B

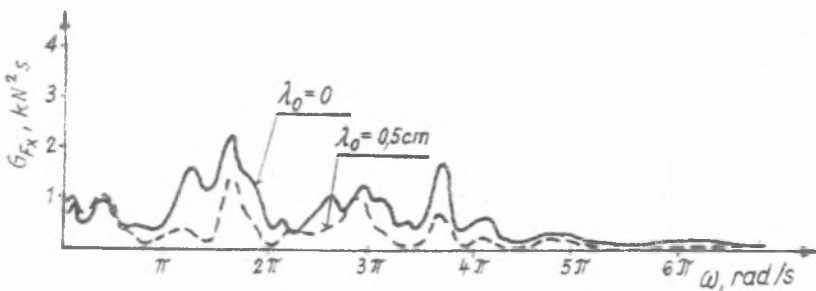
Przebieg gęstości widmowej nierówności przewodników w funkcji ω w każdym szybie, ze względu na różne nierówności i inny wzajemny ich układ, może się nieco różnić i ulegać różnym zmianom wraz ze zmianą prędkości v jazdy naczynia. Dlatego w każdym szybie na wyjściu można otrzymać inne wartości wariancji wraz ze zmianą parametrów układu. Dla uniezależnienia się od tego indywidualnego wpływu nierówności przewodników w danym szybie, przyjęto gęstość widmową niezależną od prędkości jazdy v , opisaną równaniem:

$$G_u(\omega) = \frac{0,8}{32 + \omega^2}, \text{ mm}^2/\text{s} \quad (3)$$

Wtedy prędkość jazdy naczynia wpływa na zmianę wyjścia tylko przez swój wpływ na charakterystykę częstotliwościową. Dla tak przyjętej gęstości widmowej wyjście w stanie struktury układu 1C i 1B nie zależy od prędkości jazdy, zmienia się tylko w stanie 2C, 2B i 3B (rys. 4).

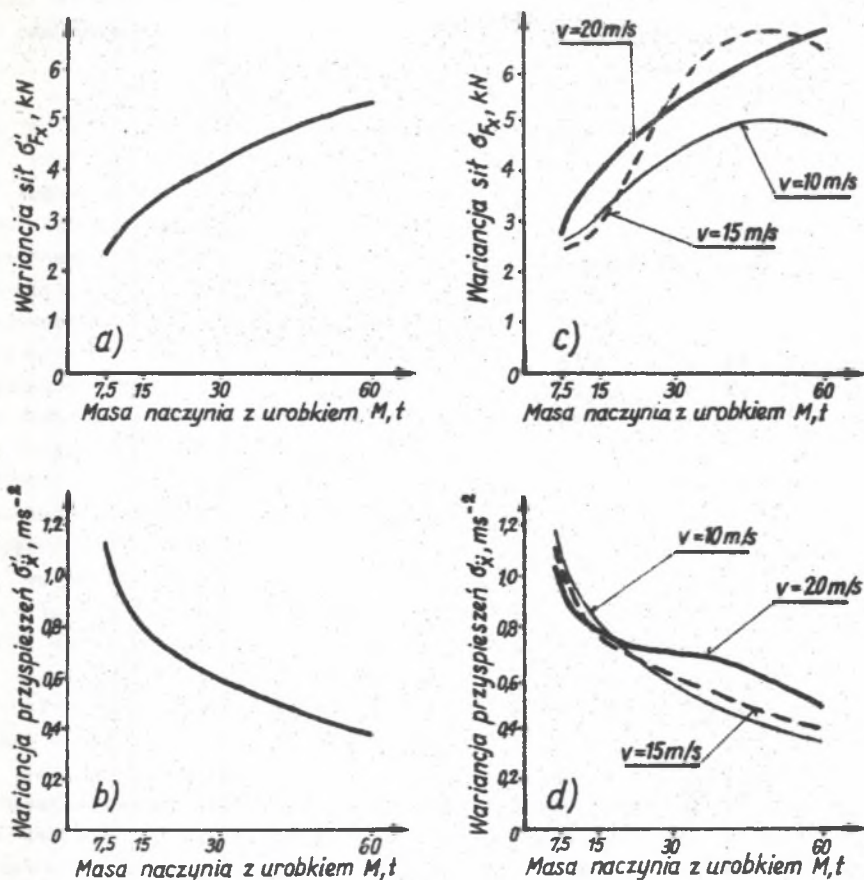
W czasie jazdy naczynia wzdłuż ciągów przewodnikowych, do naczynia przykładane są wymuszenia $u_x(t)$ od nierówności na czołowych płaszczyznach przewodników, raz z jednego raz z drugiego ciągu przewodnikowego, z ewentualnymi przerwami na pokonanie luzów między prowadnicami a prowadnikami. Ponieważ pokonanie luzów na wysokości górnych i dolnych prowadnic nie musi się odbywać równocześnie, naczynie może mieć kontakt z prowadnikami poprzez tylko górne lub tylko dolne prowadnice toczne lub w ogóle nie mieć kontaktu z prowadnikami. W zależności od tego zmieniają się stany struktury układu; zmianie ulegają również jego charakterystyki częstotliwościowe. W układzie liniowym przerw takich nie ma, charakterystyki częstotliwościowe układu są stałe. Zmiany charakterystyk częstotliwościowych układu, mimo stacjonarnego wejścia, powodują zmiany gęstości widmowej na wyjściu. W gęstości widmowej wyjścia obliczonej z dłuższego odcinka drogi mają swój udział częstotliwości wynikające z charakterystyki w stanie 0C, 1C i 2C. Stąd w gęstościach widmowych wyjścia obliczanych z wyników badań przeprowadzonych w obiektach, większa liczba lokalnych maksimów oraz zależność wyjścia od prędkości jazdy naczynia.

Ze wzrostem luzów λ między prowadnicami tocznymi a prowadnikami zmniejsza się oddziaływanie nierówności przewodników na naczynie. Maleje bowiem sumaryczny czas kontaktu naczynia z prowadnikami w stosunku do czasu przejazdu naczynia przez szyb, a rośnie suma czasów w których naczynie w ogóle nie styka się z prowadnikami. Wywołuje to zmniejszenie gęstości widmowej wyjścia oraz zmianę charakteru przebiegu tej gęstości widmowej wzdłuż osi ω (rys. 5).



Rys. 5. Gęstość widma $G_{F_x}(\omega)$ obliczona z wyników badań modelowych, przy nominalnych luzach λ_0 między prowadnicami tocznymi a prowadnikowymi $\lambda_0 = 0$ i $\lambda_0 = 0,5$ cm

Dla uderzeń naczynia o prowadniki w stanie 2C, zależności sił uderżeń i przyspieszeń tych uderżeń od prędkości jazdy są niemonotoniczne (rys. 6). Dla uderzeń w stanie 1C choć charakterystyki częstotliwościowe nie zmie-



Rys. 6. Przykłady zależności wyjścia z układu przy uderzeniach przewodnicami czołowymi od parametrów układu obliczone dla naczynia jako ciała sztywnego; v - prędkość jazdy naczynia

a) i b) dla stanu struktury układu 1C, c) i d) dla stanu struktury układu 2C

niąją się wraz z prędkością jazdy v , to wskutek niemonotonicznego obniżania się wraz ze wzrostem częstotliwości ω gęstości widmowej w danym szybie, zależności te też mogą być niemonotoniczne. Na podstawie przebiegu zależności sił lub przyspieszeń od zmiany parametrów układu, nie można więc wnioskować o tym, który ze stanów struktury w danym obiekcie dominuje. Również ilościowe porównanie wyjścia dla obu stanów uniemożliwia wyciągnięcia takiego wniosku.

Przy rozpatrywaniu uderzeń przejmowanych tylko przez czołowe przewodnice toczne, dla celów technicznych, wystarczy analizować układ liniowy w stanie 2C jego struktury, gdyż stan ten oddaje zasadnicze zależności zachodzące w obydwóch stanach w tej płaszczyźnie. Ekstremalne obciążenia

zbrojenia szybu powstają jednak podczas przejazdu naczynia wyciągowego wzdłuż pojedynczych dużych, wyraźnie większych od sąsiednich, nierówności ciągów przewodnikowych. Następuje wtedy przejście układu na sztywną charakterystykę zbrojenia szybu, czemu towarzyszy nagły wzrost sił uderzeń i przyspieszeń ruchu naczynia wyciągowego. Uderzenia takie można analizować, jako reakcję układu w stanie jego struktury 1C na pojedynczy impuls. Miejsca występowania takich uderzeń w szybie można określać z pomiarów poziomych przyspieszeń naczynia wyciągowego. Jak wykazała przeprowadzona analiza [11] podatność naczynia wyciągowego nie wpływa na zasadniczą zmianę sił uderzeń naczynia o zbrojenie szybu w tej płaszczyźnie, ale może nieco zaważyć przyspieszenia tych uderzeń w porównaniu do naczynia jako ciała sztywnego.

Poprzeczny przekrój przewodników wzdłuż szybu jest stały. Boczne prowadnice toczne w stosunku do przewodników mogą więc być mocowane bez luzów lub ze stałymi luzami, bo boczne nierówności ciągów przewodnikowych nie zmieniają tych luzów.

W statycznym położeniu naczynia moment odkrętu liny nośnej (lub wypadkowa tego momentu w urządzeniach wielolinowych) likwidują ewentualne luzy. Podatność naczynia przy uderzeniach prowadnicami bocznymi jest znacznie większa niż przy uderzeniach prowadnicami czołowymi. Może ona zwiększać niezależność styku prowadnic bocznych zamocowanych na głowicy naczynia i na ramie dolnej. Z tego powodu wydaje się, że przy uderzeniach prowadnicami bocznymi najczęściej cztery siły boczne są różne od zera. Nie jest to jednak potwierdzone wynikami badań w obiektach, bo brak jest równoczesnych pomiarów sił we wszystkich prowadnicach bocznych. Układ, w czasie uderzeń prowadnicami bocznymi, posiada więc dwa wejścia na poziomie górnych prowadnic i dwa na poziomie dolnych opóźnione w stosunku do górnych o wartość czasową T . Z tego też powodu gęstości widmowe wyjścia z układu, przy analizie uderzeń prowadnicami bocznymi, wykazują jeszcze więcej maksimów lokalnych zależnych od prędkości jazdy naczynia, niż gęstości widmowe wyjścia przy analizie uderzeń prowadnicami czołowymi.

Niemniej przez to, że podatność naczynia na ogół zmniejsza nieco siły uderzeń o prowadniki w porównaniu do naczynia jako ciała sztywnego [11], przejmowanie do analizy uderzeń bocznymi prowadnicami tocznymi naczynia jako ciała nieodkształcalnego, wydaje się do przyjęcia. Wtedy układ znajduje się w stanie 3B to znaczy trzy siły są różne od 0 (czwarta wynika z nieodkształcalności naczynia). Wydaje się, że przechodzenie układu do niższych stanów, przy uderzeniach bocznymi prowadnicami, występuje tylko przy ślizgowym prowadzeniu naczyń (w którym luzy między prowadnicami a przewodnikami są stosunkowo duże).

Dla celów technicznej analizy można też przybliżyć stanem 1B (jedna siła boczna różna od 0) przypadki przejścia przy stosowaniu prowadnic tocznych, bocznego uderzenia przez zabezpieczającą prowadnicę ślizgową.

Przy uderzeniach bocznymi prowadnicami wpływ podatności naczynia na zmniejszenie sił uderzeń i zwiększenie przyspieszeń uderzeń w stosunku do

naczynia sztywnego jest znacznie większy niż przy uderzeniach prowadnicami czołowymi.

4. ZMIANY STANÓW STRUKTURY MODELU PRZY DRGANIACH PARAMETRYCZNYCH

Przy większych pionowych odstępach między dźwigarami i dużych masach naczynia z urobkiem lub przy prowadzeniu ślizgowym (bez prowadnic tocznych), okresowa zmiana sprężystości ciągów prowadnikowych wzdłuż głębokości szybu jest przyczyną występowania w układzie drgań parametrycznych. Drgania te, przy pewnych parametrach układu, mogą rozwijać się ze wzrastającą amplitudą. Przechodzenie układu do różnych stanów jego struktury (wywołane nierównościami prowadników i występowaniem luzów w układzie) utrudnia rozwinięcie się drgań parametrycznych ze wzrastającą amplitudą. By nastąpił wzrost amplitudy drgań parametrycznych, układ musiałby pozostać w jednym stanie wystarczająco długo. Przejściu układu do innego stanu towarzyszy zmiana częstotliwości drgań własnych, a więc i zmiana współrzędnej osi odciętych ν na karcie Strutta [12], określającej stabilne i niestabilne obszary ruchu układu. Na osi odciętych ν na karcie Strutta odkładane są bowiem stosunki częstotliwości drgań własnych układu Ω do częstotliwości Θ zmian sprężystości zbrojenia szybu: $\nu = \Omega/\Theta$. W zależności od współrzędnych ν i q na karcie Strutta dla danego stanu struktury układu, zmiana tego stanu może spowodować wyjście układu z obszaru niestabilnego rozwiązania, jak i wejście do takiego obszaru.

W czasie badań modelowych [10] uwzględnienie nierówności prowadników w układzie pracującym w obszarze niestabilnego rozwiązania wpływało wyraźnie na zmniejszenie prędkości narastania amplitud drgań parametrycznych. Przechodzenie układu, przy wzroście amplitud, na sztywną charakterystykę zbrojenia szybu (rys. 1) powoduje, że amplitudy drgań nie narastają nieograniczenie, a co najwyżej ustalają się na odpowiednio wysokim poziomie. Badania modelowe wykazały również, że przy awarii więcej niż jednej prowadnicy tocznej możliwe jest ustalenie się odpowiednio dużych amplitud drgań parametrycznych, które można uznać za utratę stabilności układu w sensie technicznym [12].

5. PODSUMOWANIE

Model zastępczy wzajemnego oddziaływania naczynia wyciągowego i prowadników szybowych ulega szybkim, chwilowym zmianom. Zmiany te, którym towarzyszą zmiany częstotliwości drgań własnych, powodują rozciągnięcia widma wyjścia z układu w szerszym zakresie częstotliwości i zwiększenie liczby maksimów lokalnych tego widma. Częstość zmian struktury układu zależy głównie od nierówności prowadników i wielkości luzów między prowa-

dnicami tocznymi a przewodnikami, a przy uderzeniach przewodnicami czołowymi dodatkowo od momentu niewyważenia naczyń, zaś przy uderzeniach przewodnicami bocznymi dodatkowo od podatności naczyń i momentu skręcającego naczyń wokół osi pionowej.

Dla celów analizy technicznej wydaje się dopuszczalne przybliżenie zjawiska modelem stałym, odbieranym odpowiednio do celu w jakim analiza ma być przeprowadzona. Przyjmowanie modelu stałego stanowi jednak dodatkowe uproszczenie zjawisk zachodzących przy prowadzeniu naczyń w szybach.

LITERATURA

- [1] Bar S.: Die Beanspruchung der Einbauten von Fördereschächten durch waagerechte Kräfte. Gluckauf 1953, nr 7/8.
- [2] Bendat J.S., Piersol A.G.: Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych. PWN, Warszawa 1976.
- [3] Berg G.: Berechnung der am Stoss zwischen Fördergefässen und Schachteinbauten beteiligte Masse. Bergakademie 1967. 19 Jahrg. H. 12, s. 725-728.
- [4] Bishop R.E.D. i inni: Macierzowa analiza drgań. WNT, Warszawa 1972.
- [5] Garkusza N.G., Dwornikow W.J.: Racjonalnyj wybor parametrov podjomych sosudow i żestkich armirowok wiertikalnych stwołow. Szachtnoje stroitielstwo 1968, nr 1, s. 4-8.
- [6] Gutowski R., Świetlicki W.: Dynamika i drgania układów mechanicznych. PWN, Warszawa 1986.
- [7] Ispółow Ju.G.: Niekotoryje woprosy dynamiki szachtnogo podjoma. Dinamika i procznost maszin. Trudy Leningradskogo Politechniczeskogo Instituta nr 252. Maszynostrojenije 1965.
- [8] Kawulok S.: Wpływ zwiększenia odstępów między dźwigarami szybowymi z 3 do 6 m. Prace GIG, Komunikat nr 480. Wyd. Śląsk, Katowice 1972, s. 26.
- [9] Kawulok S.: Dynamika naczyń wyciągowego przejeżdżającego wzdłuż pojedynczych nierówności na przewodnikach. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo. Zeszyt 80. Gliwice 1977, s. 179-195.
- [10] Kawulok S., Dąbrowski J.: Analiza wyników badań modelowych dynamiki układu "naczynie wyciągowe - zbrojenie szybu". Biuletyn WAT Rok XXXV, nr 10, 1986, s. 37-51.
- [11] Kawulok S.: Wpływ podatności naczyń wyciągowego na dynamikę jego prowadzenia w szybie. Biuletyn GIG, 1986, nr 2(94)
- [12] Kawulok S.: Oddziaływanie zbrojenia szybu na mechanikę prowadzenia naczyń wyciągowego. W druku jako komunikat GIG.
- [13] Knop M.: Zagadnienie sił działających na zbrojenie szybowe w czasie ruchu naczyń wydobywczych. Praca doktorska AGH Kraków 1964 (niepublikowana).
- [14] Slonina W. i inni: Messtechnische Untersuchungen über die dynamischen Beanspruchungen von Schachtführungseinrichtungen. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 6220-57/1/001. Versuchsgrubengesellschaft. Dortmund 1974. Maszynopsis (praca niepublikowana).
- [15] Słobodkin M. J.: O rasczotnych nagruzkach na armirowku szachtnych stwołow. Szachtnoje stroitielstwo 1963, nr 3.
- [16] Šebela Z.: Vzťah horizontalnich sil a horizontalnich zrychlení při jízde doprovnich nadob w jámě. Zpravedaj TEI-BPO. Ročník 22. Č.5. Ostrava 1981, s. 1-17.

- [17] Tylikowski A., Kawulok S.: Drgania przepadkowe oscylatora harmonicznego wywołane pewnym prawie stacjonarnym procesem losowym. Rozprawy Inżynierskie 1970, nr 4, s. 543-550.
- [18] Wietrow A.P., Dwornikow W.J.: Opriedelenije oblasti rezonansnych reżimow raboty dinamiczeskoj sistiemy sosud - armirowka. Izv. WUZ Gornyj Żurnał 1967, nr 9.
- [19] Wohlrab M.: Erkenntnisstand und Problemstellungen bei starren Führungssystemen für Fördergutträger der seigerschachtfürderung aus der Sicht der Gewährleistung ihres sicherheitlichen Zustandes. Neu Bergbautechnik 1985, nr 5, s. 179-182.
- [20] Zalesow O.A.: Armirowka wiertikalnych stwołow szacht i jeje issledowanije na elektronnych modelirujuszczich ustanowkach. Izd. Niedra, Moskwa 1966.

Recenzent: Prof. zw, dr hab. inż. Jerzy Antoniak

СТРУКТУРНО ИЗМЕНЯЮЩАЯСЯ МОДЕЛЬ ВЕДЕНИЯ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ В СТВОЛЕ

Р е з ю м е

В зависимости от количества мест упругой опоры подъемного сосуда на направляющих проводниках, изменяет свою структуру заменяющая модель системы сосуд-проводники. Во время движения сосуда вдоль проводников в стволе, происходит постоянное изменение структуры системы. Опираясь на результаты модельных испытаний, проанализировано влияние параметров подъемной установки на частоту изменений структуры системы. Динамику воздействия подъемного сосуда на направляющие проводники, для разных структур системы, описано с помощью частотных характеристик. Изменения структуры системы вызывают то, что несмотря на стационарный вход, выходы из системы представляют собой сумму выходов для разных структур с разными характеристиками. Для технического анализа системы предлагается постоянная модель, подбираемая, соответственно, для этого анализа.

STRUCTURALLY VARIABLE MODEL OF CAGE TRAVEL IN THE SHAFT

S u m m a r y

The structure of the substitute cage-shaft guide model is changed depending on the number of elastic bearing points of the cage. During the cage travel along the guides the structure is permanently changed. Possible structure patterns are presented in the paper. The influence of the hoisting unit parameters upon the frequency of the changes was evaluated on the basis of model tests. Frequency characteristics were employed to describe the impact dynamics imposed by the cage on the shaft guides, for different system patterns. Despite the stationary input the

structural variations cause that the system output is the sum of outputs of different structures featuring different characteristics. Application of the respective constant model has been proposed for technical evaluation purposes.