

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

JÓZEF WOJNAROWSKI
DAGMARA TEJSZERSKA
POLITECHNIKA ŚLĄSKA
GLIWICE

MODELOWANIE WIELOLINOWYCH UKŁADÓW WYCIĄGOWYCH

W pracy przedstawiono model matematyczny drgań wielolinowego układu wyciągowego. Analizę przeprowadzono na modelu traktowanym jako układ o parametrach rozłożonych w sposób ciągły. Stosując rachunek operatorowy przeprowadzono analizę przebiegów drgań wzdłużno-skrętnych lin i opracowano program, za pomocą którego przeprowadzono eksperyment numeryczny.

Wykaz symboli

- a - wartość przyspieszenia
- A, B, C - uogólnione sztywności liny
- A_1 - przekrój liny
- F - wartość siły osiowej w linie
- g - przyspieszenie ziemskie
- i - jednostka urojona
- j - jednostkowy moment bezwładności
- M - moment napędowy
- n - liczba lin głównych
- m - liczba lin wyrównawczych
- p, s - argumenty przekształcenia Laplace'a
- q - ciężar jednostkowy liny
- Q - ciężar naczynia wydobywczego
- t - czas
- T - wartość siły tarcia

$u(x, t)$, $U(p, s)$ - przemieszczenie wzdłużne

$v(x, t)$, $V(p, s)$ - kąt skręcenia liny

ω - częstość drgań

Indeksy

i - wskaźnik określający numer liny

w - wskaźnik określający linię wyrównawczą

$O, 1$ - wskaźnik określający współrzędną na długości liny

1. Wprowadzenie

Ważnym zagadnieniem w eksploatacji urządzeń wyciągowych zwłaszcza przy dużych głębokościach ciągnięcia urobku są zjawiska związane z drganiami elementów sprężystych układu. Szczególny problem stanowi minimalizacja drgań lin nośnych i wyrównawczych.

Wzbudzenie drgań może nastąpić w normalnych warunkach eksploatacyjnych i podczas awarii. W pierwszym przypadku głównymi czynnikami wywołującymi drgania są zmienne przyspieszenia^{*)} ruchu maszyny wyciągowej, zmiana ciężaru naczynia wydobywczego podczas załadunku i wyładunku, ekscentryczność lub eliptyczny kształt koła pednego, tarcie klatek o prowadnice. W drugim zaś awaryjne hamowanie, zaklinowanie jednej z lin nośnych.

2. Modelowanie drgań wielolinowych układów wyciągowych

2.1. Zagadnienie modelowania drgań górniczych układów wyciągowych poświęcono szereg prac. Z reguły dotyczą one drgań wzdłużnych układu jedolinowego. I tak przebiegi drgań wzdłużnych dla najprostszych przypadków podał Floryński [5]. Rozpatrywał on pojedynczą linię ważką, lepko-sprężystą, doskonale giętą z ciężarem na końcu bez lin wyrównawczych. Dla pełnego układu wyciągowego składającego się z dwu odcinków liny głównej, liny wyrównawczej oraz dwóch klatek Floryński w [6] oraz Kłosow w [7] podali postacie drgań i ich częstości. Przebiegi drgań wzdłużno-skrętnych dla pojedynczej liny utwierdzonej jednostronnie z ciężarem na końcu rozpatrywał Czyż w [3]. Podobną analizę przeprowadził Bałan w [1] i Czyż w [2]. Układami wielolinowymi zajmował się między innymi Goroszko [4]. Przeprowadził on analizę drgań wzdłużnych i poprzecznych układu dwulinowego oraz wielolinowego, lecz przy zastosowaniu modelu w postaci układu ekwidystansowego. Brak jest jednak dok-

^{*)}Jest to tzw. zryw [8]

ładniejszej analizy przebiegu drgań w układach wielolinowych, szczególnie przy uwzględnieniu drgań wzdłużno-skrętnych lin.

W niniejszej pracy modelując system wyciągowy wielolinowy układem o parametrach rozłożonych w sposób ciągły, przeprowadzono eksperyment numeryczny w zakresie wyznaczania amplitud, widma częstości drgań własnych i przebiegów drgań w linach głównych i wyrównawczych. Praca ta jest dalszym rozwinięciem badań [9,10] przeprowadzonych w Instytucie Podstaw Konstrukcji Maszyn od roku 1974.

2.2. W dalszych rozważaniach układ górniczej maszyny wyciągowej przedstawiono w postaci modelu fenomenologicznego zawierającego koło pędne, naczynia wydobywcze, liny nośne i liny wyrównawcze (rys.1a).

Układ traktuje się jako liniowy przy następujących uproszczeniach:

- 1^o parametry wytrzymałościowe lin są niezmiernie,
- 2^o naczynia wydobywcze są absolutnie sztywne,
- 3^o poślizg na kole pędnym nie występuje,
- 4^o naprężenia w dolnej pętli liny wyrównawczej pomija się,
- 5^o wpływu zmiennej długości liny nie uwzględnia się.

2.3. Rozważając kolejno równowagę dynamiczną liny, naczynia wydobywczego i koła pędnego uzyskano:

- równanie drgań wzdłużno-skrętnych lin (rys.1b)

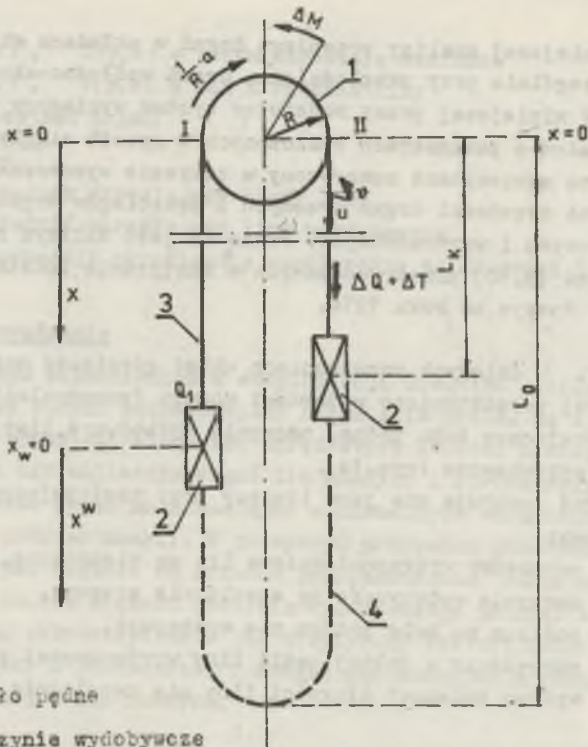
$$\begin{aligned} q \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + C \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - a \cdot q, \\ j \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} &= C \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \end{aligned} \quad (1)$$

- równanie równowagi dynamicznej naczynia wydobywczego

$$\sum_{i=1}^n P_1^i - \sum_{i=1}^m P_1^{iW} = \frac{Q}{g} \left[\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + a \right] + \Delta Q + \Delta T; \quad (2)$$

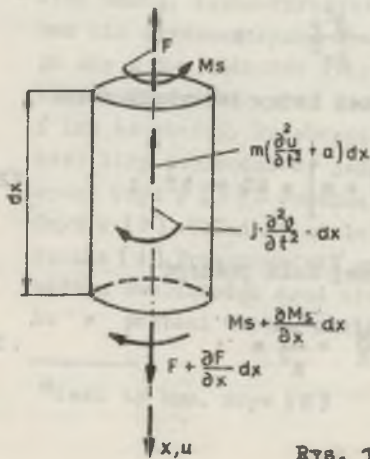
- równanie równowagi dynamicznej koła pędnego

$$\sum_{i=1}^n P_0^i - \sum_{i=1}^n P_0^i \text{ II} = \frac{\Delta M}{R} - \frac{I}{R^2} a; \quad (3)$$



- 1 - koło pędne
- 2 - naczynie wydobywcze
- 3 - liny nośne
- 4 - liny wyrównawcze

Rys.1a



Rys. 1b

$$F = A \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + C \cdot \frac{\partial v}{\partial x}$$

$$M = C \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + B \cdot \frac{\partial v}{\partial x}$$

Równanie wynikowe:

$$A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + C \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = m \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + a$$

$$C \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = j \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$$

W równaniach przyjęto następujące warunki brzegowe

$$u_0^i = v_0^i = v_1^i = v_0^{wi} = v_1^{wi} ; \quad (4)$$

$$F_1^{wi} = 0. \quad (5)$$

Stosując transformację Laplace'a dla zmiennej t /przy zerowych warunkach początkowych/, a następnie dla zmiennej x równania (1 - 3) przyjmą postać:

- przemieszczenie wzdłużne

$$\begin{aligned}
 U(s, p) = & -a(s) \frac{q}{s^2} \left[\frac{j - B p_0^2}{p_0^2 \cdot p_0^2} \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} - \frac{j - B p_0^2}{p_0^2 \cdot p_0^2} \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} + \frac{1}{q} \frac{1}{p} \right] + \\
 U_0' & \left[\frac{(AB - C^2) p_0^2 - A \cdot j}{p_0^2} \cdot \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} - \frac{(AB - C^2) \cdot p_0^2 - A \cdot j}{p_0^2} \cdot \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} \right] + \\
 U_0'' & \left[\frac{(AB - C^2) p_0^2 - A \cdot j}{p_0^2} \cdot \frac{1}{p^2 - p_0^2 s^2} - \frac{(AB - C^2) p_0^2 - A \cdot j}{p_0^2} \cdot \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} \right] + \\
 V_0 & \left[\frac{-C_1}{p_0^2} \cdot \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} + \frac{C_1}{p_0^2} \cdot \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} \right] + \quad (6) \\
 V_0' & \left[\frac{-C_1}{p_0^2} \cdot \frac{1}{p^2 - p_0^2 s^2} + \frac{C_1}{p_0^2} \cdot \frac{1}{p^2 - p_0^2 s^2} \right] ;
 \end{aligned}$$

- kąt skręcenia

$$\begin{aligned}
 V(s, p) = & -a(s) \frac{q}{s^2} \left[\frac{C}{p_0^2} \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} - \frac{C}{p_0^2} \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} \right] + \\
 - U_0 & \left[\frac{qC}{p_0^2} \cdot \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} - \frac{qC}{p_0^2} \cdot \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} \right] + \quad (7) \\
 - U_0' & \left[\frac{qC}{p_0^2} \cdot \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} - \frac{qC}{p_0^2} \cdot \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} \right] + \\
 + V_0 & \left[\frac{(AB - C^2) p_0^2 - Bq}{p_0^2} \cdot \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} - \frac{(AB - C^2) p_0^2 - Bq}{p_0^2} \cdot \frac{p}{p^2 - p_0^2 s^2} \right] +
 \end{aligned}$$

$$+V_0 \left\{ \frac{(AB-C^2) p_{01}^2 - Bq}{p_{03}^2} \cdot \frac{1}{p^2 - p_{01}^2 s^2} - \frac{(AB-C^2) p_{02}^2 - Bq}{p_{03}^2} \cdot \frac{1}{p^2 - p_{02}^2 s^2} \right\},$$

gdzie:

$$p_{01}^2 = \frac{(A_j + Bq) + \sqrt{(A_j - Bq)^2 + 4C^2 \cdot qj}}{2(AB - C^2)}, \quad (8)$$

$$p_{02}^2 = \frac{(A_j + Bq) - \sqrt{(A_j - Bq)^2 + 4C^2 \cdot qj}}{2(AB - C^2)}, \quad (9)$$

$$p_{03} = \sqrt{(A_j - Bq^2) + 4C^2 \cdot qj} \quad (10)$$

Po rozwiązaniu równań (6,7) i retransformacji dla argumentu przekształcenia Laplace'a p otrzymano dla każdej z lin równanie:

$$U(x,s) = a_{11}(x,s) U_0(s) + a_{12} U'_0(s) + a_{13} V_0(s) + a_{14} V'_0(s) + b_1 a, \quad (11)$$

$$V(x,s) = a_{31}(x,s) U_0(s) + a_{32} U'_0(s) + a_{33} V_0(s) + a_{34} V'_0(s) + b_3 a, \quad (12)$$

gdzie

$$a_{11}(x,s) = [(AB - C^2) \cdot p_{01}^2 - A_j] \cdot \text{ch}(p_{01} \cdot s \cdot x) + \frac{[(AB - C^2) p_{01}^2 - A_j]}{(p_{01}^2 - p_{02}^2)(AB - C^2)} \cdot \text{ch}(p_{01} \cdot s \cdot x), \quad (13)$$

..... *)

Różniczkując względem x równania (11,12) oraz przyjmując x=1 otrzymujemy dla każdej liny macierzowe równania przejścia typu:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U'_1 \\ V_1 \\ V'_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_0 \\ U'_0 \\ V_0 \\ V'_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} \cdot a \quad (14)$$

*) wg [10]

Po uwzględnieniu warunków brzegowych (4,5) ostateczny układ równań określający parametry drgań w skrajnych przekrojach przedstawia (15). Podstawiając do równania (15) $s=i\omega$ oraz przyrównując jego wyznacznik charakterystyczny do zera otrzymujemy równanie częstości drgań własnych układu.

Rozwiązując układ równań (15) dla poszczególnych wartości argumentu s uzyskujemy numerycznie transformowane wartości parametrów drgań skrajnych przekrojów liny

$$U_1'(s) = C_{11}(s) \cdot a(s) + C_{12}(s) \cdot (\Delta Q + \Delta T) \quad , \quad (16)$$

gdzie: C_{11} , C_{12} - poszczególne transmitancje.

Wykorzystując transformowane równanie równowagi koła pędowego (3) i zależności (16) można wyrazić funkcję przyspieszenia koła pędowego "a" od pozostałych wymuszeń. Wtedy

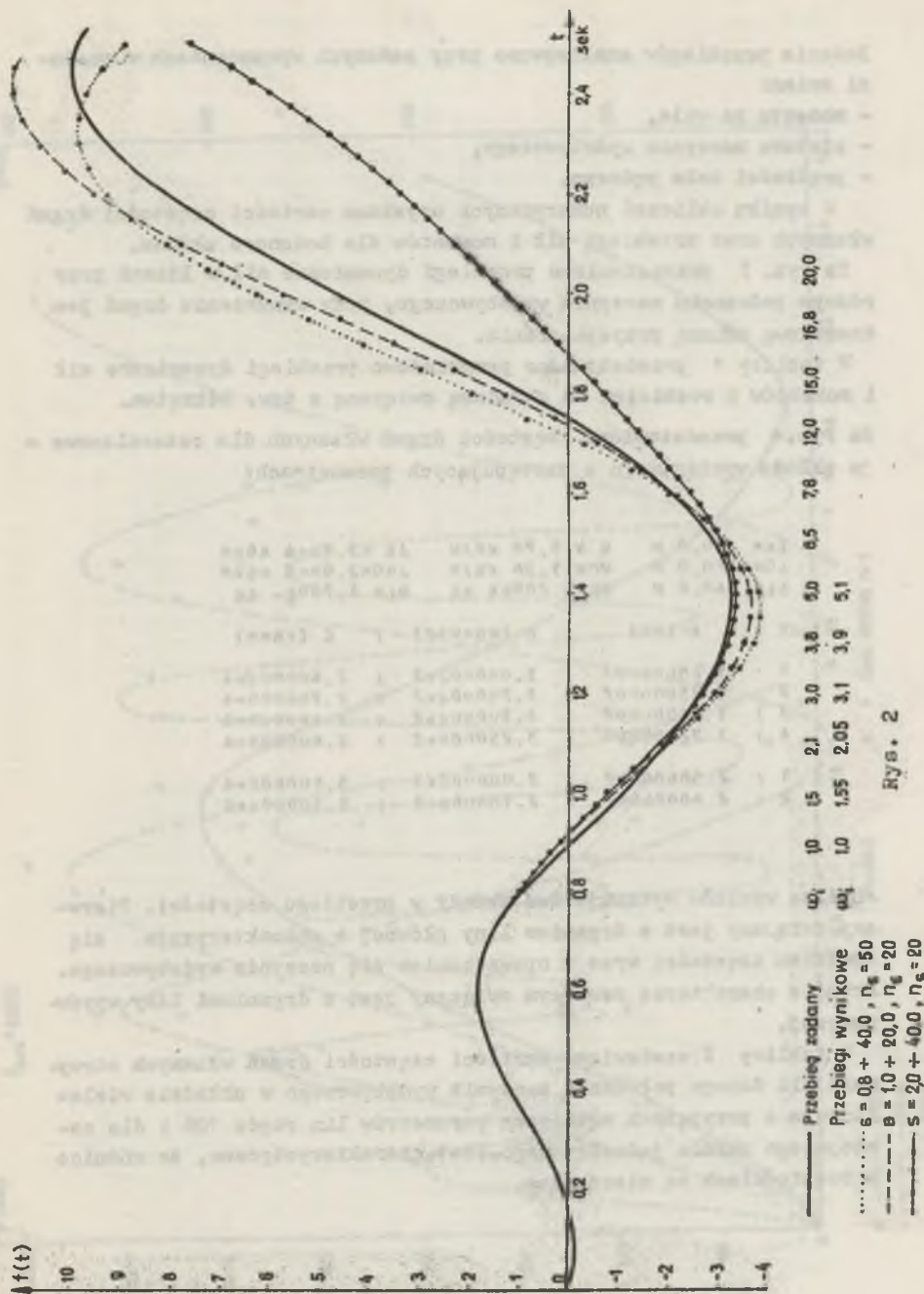
$$U_1^i(s) = C_{13}^i \cdot \Delta M(s) + C_{14}^i \cdot (\Delta Q + \Delta T). \quad (17)$$

Stosując numeryczną retransformację można uzyskać przebiegi czasowe i parametry drgań w końcowych przekrojach lin.

W procedurze postępowania przy otrzymywaniu oryginału transformaty Laplace'a przyjęto, że przebiegi dynamiczne można przybliżyć sumą funkcji harmonicznnych o częstościach odpowiadających częstościom drgań własnych układu. Amplitudy przewidywanych funkcji dobrano tak, aby transformata przewidywanego przebiegu drgań najlepiej aproksymowała transformatę rzeczywistą - w sensie najmniejszego średniego odchylenia kwadratowego w zadanym obszarze s . Dokładność odwracania transformaty zależy przy tym od ilości uwzględnionych częstości, ilości punktów aproksymowanych oraz od prawidłowego doboru obszaru aproksymacji. Na rys.2 przedstawiono przykładowy przebieg harmonicznej funkcji kontrolnej i kilku przebiegów otrzymanych tą metodą.

2.3. Opracowany algorytm obliczeń umożliwia określenie dla drgań wzajemnie skrętnych układu wielolinowego następujących parametrów

- żadaną ilość podstawowych częstości drgań własnych,
- siły i momenty dynamiczne dla wybranych przekrojów lin,
- przebiegi wydłużeń dynamicznych dla końcowych przekrojów lin.



Badanie przebiegów analizowano przy zadanych wymuszeniach w postaci zmian:

- momentu na wale,
- ciężaru naczynia wydobywczego,
- prędkości koła pędnego.

W wyniku obliczeń numerycznych uzyskano wartości częstości drgań własnych oraz przebiegi sił i momentów dla badanego układu.

Na rys. 3 przedstawiono przebiegi dynamiczne sił w linach przy różnym położeniu naczynia wydobywczego, przy wymuszeniu drgań jednodostkową zmianą przyśpieszenia.

W tablicy 1 przedstawiono przykładowo przebiegi dynamiczne sił i momentów z rozbitiem na składową związaną z tzw. odkrętem.

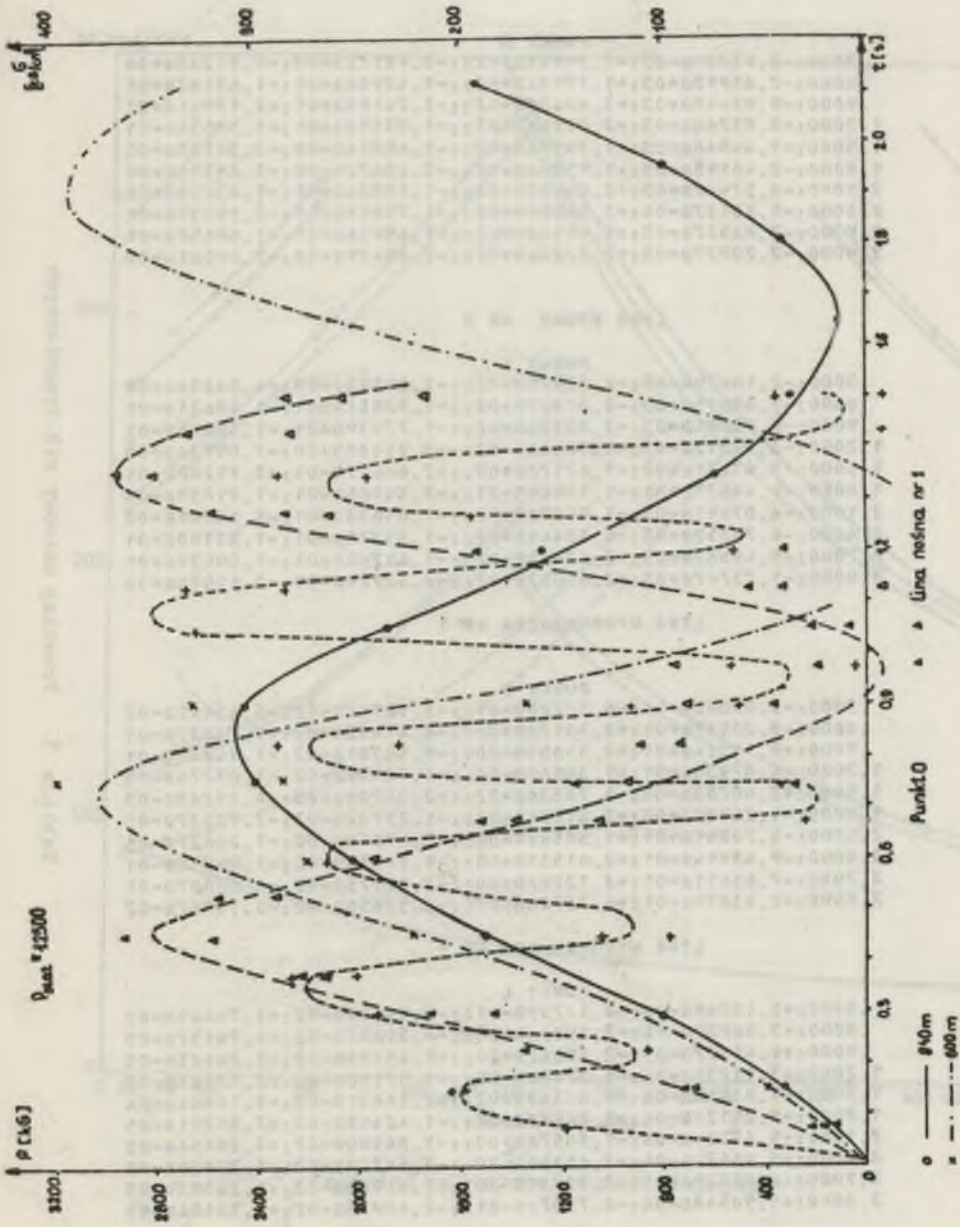
Na rys. 4 przedstawiono częstości drgań własnych dla czterolinowe - go układu wyciągowego o następujących parametrach:

$L_k = 20.0 \text{ m}$ $Q = 5.78 \text{ kg/m}$ $J_B = 3.72 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 $L_0 = 840.0 \text{ m}$ $Q_0 = 11.36 \text{ kg/m}$ $J_{B0} = 2.02 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
 $L_L = 840.0 \text{ m}$ $Q_P = 3.20064 \text{ kg}$ $Q_L = 1.7006 \text{ kg}$

NR :	A [KG]	B [KG·M ²]	C [KG·M]
1 :	1.20000007	3.00000002	2.40000004
2 :	1.25000007	3.20000002	2.70000004
3 :	1.30000007	3.30000002	2.60000004
4 :	1.22000007	3.25000002	2.60000004
1 :	2.50000007	2.00000003	5.00000004
2 :	2.60000007	2.10000003	5.50000004

Analiza wyników wykazuje dwa trendy w przebiegu częstości. Pierwszy związany jest z drganiem liny głównej i charakteryzuje się spadkiem częstości wraz z opuszczaniem się naczynia wydobywczego. Drugi o charakterze rosnącym związany jest z drganiami liny wyrównawczej.

W tablicy 2 zestawiono wartości częstości drgań własnych otrzymane dla danego położenia naczynia wydobywczego w układzie wielolinowym o przyjętych różnicach parametrów lin rzędu 10% i dla zastępczego układu jednocinowego. Jest charakterystyczne, że różnice w częstościach są nieznaczne.



rys. 3. Problemi sił dynamicznych.

PRZEbieg CZASOWY SIL DYNAMICZNYCH

CZAS : SILA [KG] :: MOMENT [KG*M]
 : CALKOWITA : SKLAD.ODKR : : CALKOWITY : SKLAD.ODKR

PUNKT O

.3000:-2.95281a+03:+2.24983a+02:-3.98172a+00:-6.71365a+00
 .6000:-7.65993a+03:+1.57954a+02:-1.45986a+01:-1.65167a+01
 .9000:-9.95640a+03:+3.60425a+02:-1.74195a+01:-2.17961a+01
 1.2000:-5.95766a+03:+2.02944a+02:-1.05510a+01:-1.30154a+01
 1.5000:-1.44546a+03:+1.36154a+02:-1.68814a+00:-3.34145a+00
 1.8000:-2.46195a+03:+1.95868a+02:-3.23672a+00:-5.61511a+00
 2.1000:-6.57442a+03:+2.04483a+02:-1.18386a+01:-1.43216a+01
 2.4000:-1.00127a+04:+3.56090a+02:-1.75188a+01:-2.19050a+01
 2.7000:-7.83527a+03:+1.95186a+02:-1.45956a+01:-1.69658a+01
 3.0000:-2.20927a+03:+2.02656a+02:-2.63479a+00:-5.09561a+00

LINA NOSNA NR 1

PUNKT L

.3000:-2.18029a+03:-2.63971a+02:-7.25393a+00:-4.04856a+00
 .6000:-5.89655a+03:-2.81807a+02:-1.52841a+01:-1.18621a+01
 .9000:-6.55888a+03:-3.83558a+02:-1.77039a+01:-1.30465a+01
 1.2000:-3.49312a+03:-1.52644a+02:-8.91088a+00:-7.05734a+00
 1.5000:+1.43631a+02:-3.67170a+00:+2.66617a-01:+3.11202a-01
 1.8000:-9.44625a+01:-1.34980a+01:-3.34965a-01:-1.71050a-01
 2.1000:-4.07091a+03:-1.95691a+02:-1.05633a+01:-8.18709a+00
 2.4000:-6.73352a+03:-4.33448a+02:-1.85733a+01:-1.33100a+01
 2.7000:-5.46582a+03:-2.62058a+02:-1.41760a+01:-1.04939a+01
 3.0000:-1.73747a+03:-2.65057a+02:-6.32929a+00:-3.11074a+00

LINA WYROWNAWCZA NR 1

PUNKT O

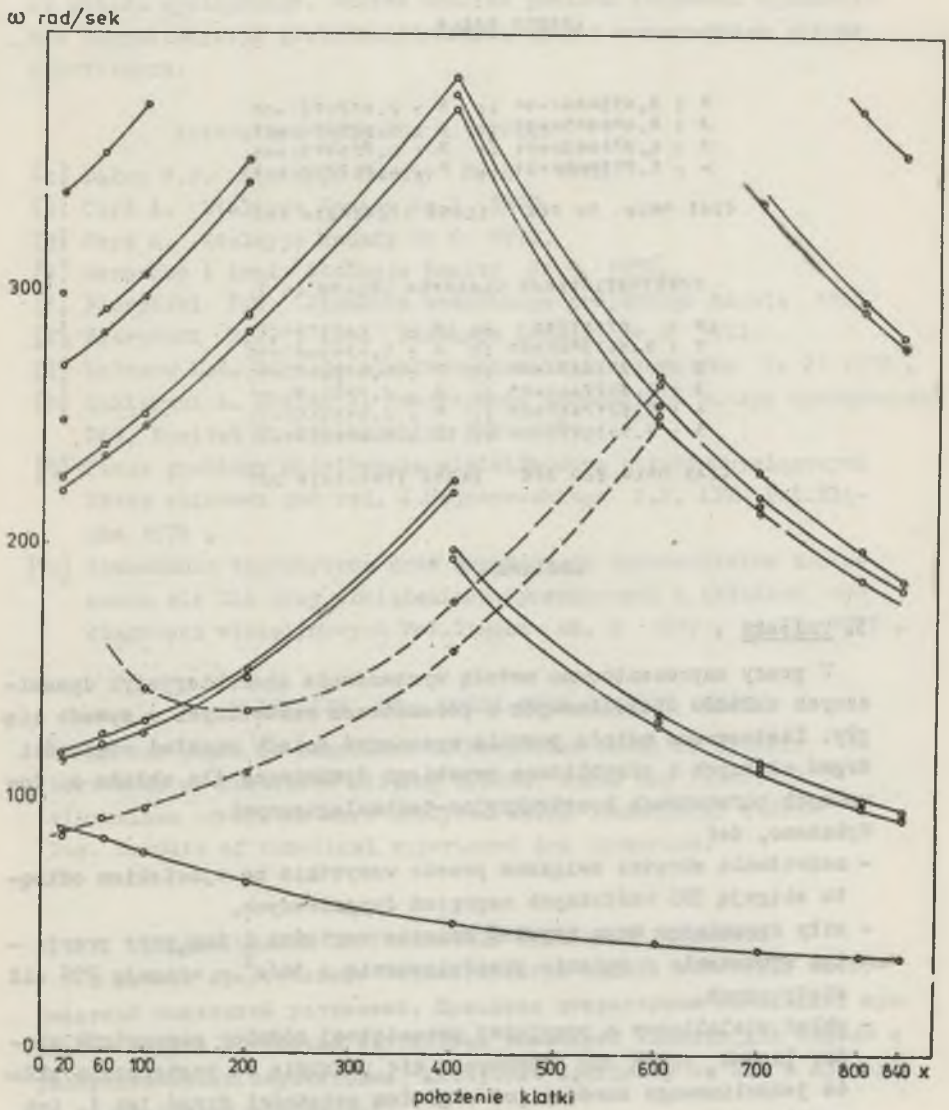
.3000:-3.05002a+01:+8.52229a-01:-3.12717a-02:-6.45492a-02
 .6000:-8.25147a+01:+2.30170a+00:-8.47462a-02:-1.74622a-01
 .9000:-9.18124a+01:+2.55665a+00:-9.44581a-02:-1.94289a-01
 1.2000:-4.87930a+01:+1.36940a+00:-4.98039a-02:-1.03276a-01
 1.5000:+2.00783a+00:-5.76330a-02:+2.00200a-03:+4.25243a-03
 1.8000:-1.28559a+00:+3.81138a-02:-1.23702a-03:-2.72527a-03
 2.1000:-5.70041a+01:+1.58588a+00:-5.87018a-02:-1.20627a-01
 2.4000:-9.43994a+01:+2.61533a+00:-9.76138a-02:-1.99736a-01
 2.7000:-7.65611a+01:+2.12790a+00:-7.89175a-02:-1.62007a-01
 3.0000:-2.43870a+01:+6.73796a-01:-2.52856a-02:-5.15957a-02

LINA WYROWNAWCZA NR 1

PUNKT L

.3000:+5.13249a-04:-8.52737a-01:-3.15407a-02:+1.75669a-03
 .6000:+3.86982a-04:-2.30256a+00:-8.51682a-02:+4.74137a-03
 .9000:+9.41127a-05:-2.55682a+00:-9.45735a-02:+5.26423a-03
 1.2000:+3.11235a-04:-1.37119a+00:-5.07180a-02:+2.82368a-03
 1.5000:-1.83414a-04:+5.80362a-02:+2.14631a-03:-1.19864a-04
 1.8000:-5.29129a-04:-3.84737a-02:-1.42418a-03:+7.81211a-05
 2.1000:+5.42529a-05:-1.58578a+00:-5.86560a-02:+3.26496a-03
 2.4000:-6.46479a-04:-2.61359a+00:-9.66749a-02:+5.37959a-03
 2.7000:-6.85527a-05:-2.12751a-00:-7.86943a-02:+4.38003a-03
 3.0000:+1.50548a-04:-6.73071a-01:-2.48958a-02:+1.38604a-03

CZAS OBLICZEN = 145 SEK



Rys. 4 Przebieg częstotści drgań własnych.

CZESTOSCI DRGAN WLASNYCH UKLADU LW

LP : CZESTOSC :: LP : CZESTOSC

STRONA PRAWA

1	:	3.8534842+00	::	5	:	7.8720721+01
2	:	9.4988952+00	::	6	:	8.9758201+01
3	:	1.8786632+01	::	7	:	3.7754032+01
4	:	1.9156062+01	::	8	:	4.7177372+01

CZAS ORL= 50 SEK ILOSC ITERACJI= 102

CZESTOSCI DRGAN WLASNYCH UKLADU LW 1

LP	:	CZESTOSC	::	LP	:	CZESTOSC
1	:	3.8473942+00	::	6	:	1.8261621+01
2	:	4.2738872+00	::	7	:	1.8522001+01
3	:	9.3927462+00	::	8	:	2.7291472+01
4	:	9.5217412+00	::	9	:	2.8133812+01
5	:	9.5638992+00	::	10	:	3.5812532+01

CZAS ORL= 220 SEK ILOSC ITERACJI= 227

Tabela 2

3. Wnioski

W pracy zaprezentowano metodę wyznaczania charakterystyk dynamicznych układów wielolinowych o parametrach rozłożonych w sposób ciągły. Zastosowana metoda pozwala wyznaczyć ścisły rozkład częstości drgań własnych i przybliżone przebiegi dynamiczne dla układu o dowolnych parametrach konstrukcyjno-technologicznych.

Wykazano, że:

- naprężenia skrętne związane przede wszystkim ze zjawiskiem odkrętu sięgają 30% wzdłużnych naprężeń dynamicznych,
- siły dynamiczne mogą uzyskać znaczne wartości i tak, przy przyjętym wymuszeniu - zmianie przyspieszenia o 1m/s^2 - sięgają 25% sił statycznych,
- układ wielolinowy o przyjętej przeciętnej różnicy parametrów między linami rzędu 10% zachowuje się podobnie do zastępczego układu jednonolinowego zarówno pod względem częstości drgań jak i. ich amplitud,
- widmo częstości wykazuje tendencję spadkową w stosunku do układu zastępczego.

Uzyskane przebiegi dynamiczne można wykorzystać w teorii przekrożeń stanów krytycznych i zastosować do oceny bezpieczeństwa pracy układu wyciągowego. Dalsza analiza powinna obejmować wyznaczenie charakterystyk probabilistycznych wraz z oszacowaniem stanów krytycznych.

Literatura cytowana w tekście

- [1] Bażon W.P. Stalnyje Kanaty Nr 6 1970.
- [2] Czyż A. Stalnyje Kanaty Nr 7 1970.
- [3] Czyż A. Stalnyje Kanaty Nr 6 1970.
- [4] Goroszko i inni Stalnyje Kanaty Nr 9 1972.
- [5] Floryński F.W. Dynamika szachtowego podjemnego kanata 1955.
- [6] Floryński F.W. i inni Stalnyje Kanaty Nr 9 1972.
- [7] Kołosow L.S. Gornaja elektromechanika i automatyka Nr 21 1972.
- [8] Szklarski L. Skalny A. Teoretyczne zagadnienia maszyn wyciągowych PAN, Komitet Elektrotechniki PWN 1975.
- [9] Pewne problemy modelowania wielolinowych układów wyciągowych Praca zbiorowa pod red. J.Wojnarowskiego Z.N. IPKM Pol.Sląska 1976.
- [10] Rozważania teoretyczne oraz weryfikacja doświadczalna zaczerwiania się lin przy obciążeniach dynamicznych w układach wyciągowych wielolinowych Pol.Sląska cz. I 1975, cz.II 1976.

MODELLING OF MULTI-ROPE WINDING GEARS

In the paper is described mathematical model of dynamic behaviour of multiline lifting system. Axial and torsional vibrations of system were analysed using operational calculus. Results of numerical experiment are presented.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОНАТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

В работе представлено математическую модель колебаний многоканатной подъемной установки. Применяя операторное исчисление проведено анализ продольно крутильных колебаний канатов для модели с распределенными параметрами. Построено программу на ЭВМ и проведено численный эксперимент.