

Dagmara TEJSZERSKA

Katedra Mechaniki Technicznej
Politechnika Śląska

MODELOWANIE DRGAŃ POPRZECZNYCH NACZYNNIA WYDOBYWCZEGO

Streszczenie. W pracy przedstawiono model matematyczny drgań poprzecznych odkształcalnego naczynia wydobywczego oraz przykładowe rezultaty symulacji drgań wybranych układów wyciągowych, wykonane za pomocą opracowanego programu komputerowego. Analizowano siły w miejscach kontaktu prowadnic z prowadnikami, a także naprężenia w prętach naczynia wydobywczego.

MATHEMATICAL MODELLING OF TRANSVERSE VIBRATIONS OF CAGE

Summary. Mathematical model of transverse vibrations of flexible cage is presented, with results of exemplary computer simulation of hoisting systems of chosen mines. The forces between rollers and guides and stresses in cage rods are analysed.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ КЛЕТИ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ

Резюме. В статье представлено математическую модель поперечных колебаний деформирующейся клетки вместе с итогами симуляции, сделанной на ЭВМ с помощью созданной программы, для подъемных установок избранных шахт. Анализировано силы между проводниками и клетью и напряжения в балках клетки.

1. WSTĘP

W układzie wyciągowym w trakcie jego pracy występują oddziaływania dynamiczne m.in. w postaci drgań poprzecznych lin i naczynia wydobywczego, wy-

wołanych nierównościami prowadnic i ekscentrycznością koła pędnego.

Z przyczyn wywołujących drgania poprzeczne, nie uwzględnianych dotąd w modelowaniu, wymienić należy dynamiczne zmiany obciążenia w linach, związane z przyspieszeniem ruchu i drganiami wzdłużnymi, asymetrię rozłożenia ciężaru i zmienne opory ruchu, reprezentowane przez zmienne ciśnienie strumienia powietrza i zmienne siły tarcia.

Drgania poprzeczne naczyń powodują powstanie dużych sił w miejscach kontaktu prowadnic z prowadnikami. Siły te determinują niezbędne ze względów wytrzymałościowych rozmiary prowadników, powodują zużycie zmęczeniowe prowadnic i głowicy naczynia, a przede wszystkim zwiększają erozję prowadników. Ponadto drgania te powodują zmęczeniowe zużycie lin (zwłaszcza w pobliżu zawiesi), a ich duże amplitudy mogą wywołać nawet wzajemne uderzenia lin.

Opracowane dotąd modele drgań poprzecznych [2,4,9] uwzględniają zwykle albo ruch liny, albo naczynia wydobywczego.

W grupie prac dotyczących modelowania drgań naczynia wydobywczego całkowicie pomijano drgania poprzeczne lin. Naczynie traktowano jako masę skupioną lub ciało sztywne o dwu [2,9] lub pięciu stopniach swobody [4]. Analizowano również model naczynia wydobywczego jako układ ciał sztywnych połączonych więzami sprężystymi [3].

Drgań poprzecznych prowadników (nawet linowych) dotąd nie modelowano, uwzględniano jedynie ich sprężystość, a także sprężystość prowadnic.

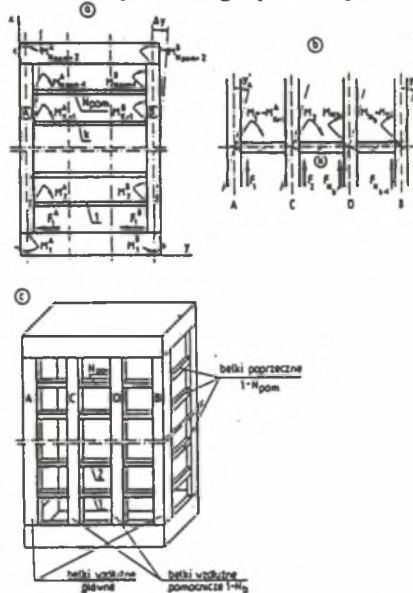
2. MODELOWANIE DRGAŃ POPRZECZNYCH UKŁADU

Analizując odkształcenia dynamiczne naczynia wydobywczego, przedstawiono na rys.1. przyjęto poniższe założenia:

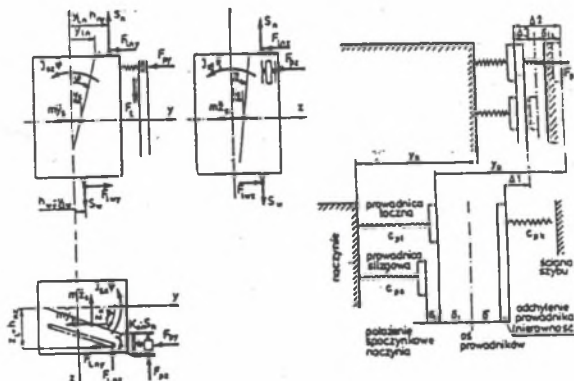
- pomija się rozciąganie prętów łączących głowice skipu,
- głowice traktuje się jako ciała sztywne,
- uwzględnia się zginanie prętów łączących (przyjmując, że ich końce są sztywno zamocowane do głowic),
- przyjmuje się, że poprzeczne siły bezwładności masy węgla, blach poszycia itp. przenoszone są w całości przez pręty łączące, a ich rozkład wzdłuż wysokości skipu jest równomierny,
- pomija się różnice odkształceń między prętami łączącymi (związane z różnicą odległości od osi prostokątnego przekroju skipu),

- pomija się sztywność blach poszycia skipu.

Współpracę naczyń z przewodnikami ilustruje rys.2. Ukazuje on również znaczenie podstawowych zmiennych występujących w układzie równań różniczkowych równowagi dynamicznej naczyń. Jego postać przedstawiono poniżej (1).



Rys. 1. Model fizyczny odkształcalnego naczyń wydobywczych
Fig. 1. Physical model of deformable cage



Rys. 2. Schemat współpracy naczyń wydobywczych z przewodnikami
Fig. 2. Scheme of cooperation of cage and guides

Pełny układ równań wraz ze szczegółowym rozważeniem sił pomiędzy przewodnikami a przewodnicami, z uwzględnieniem luzów i możliwości kontaktu z przewodnikami ślizgowymi przedstawiono w [7].

Postać równań równowagi dynamicznej całego naczynia wraz z głowicami:

$$\sum F_{iy} = 0: \\ m_s \ddot{y}_s + (m_g - m_d) \ddot{\Delta y} / 2 + \sum_{p=1}^{N_{py}} F_{py} + \sum_{n=1}^{N_n} F_{Lny} - \sum_{w=1}^{N_w} F_{Lwy} = 0,$$

$$\sum F_{iz} = 0: \\ m_s \ddot{z}_s + (m_g - m_d) \ddot{\Delta z} / 2 + \sum_{p=1}^{N_{pz}} F_{pz} + \sum_{n=1}^{N_n} F_{Lnz} - \sum_{w=1}^{N_w} F_{Lwz} = 0,$$

$$\sum M_{ix} = 0: \\ J_{sx} \ddot{\psi} + (J_{gx} - J_{dx}) \ddot{\Delta \psi} / 2 + \sum_{p=1}^{N_{pz}} F_{pz} \cdot h_{py} - \sum_{p=1}^{N_{py}} F_{py} \cdot h_{pz} + \\ + \sum_{n=1}^{N_n} (F_{Lnz} \cdot h_{ny} - F_{Lny} \cdot h_{nz} + S_n \cdot K_{on}) - \\ - \sum_{w=1}^{N_w} (F_{Lwz} \cdot h_{wy} - F_{Lwy} \cdot h_{wz} + S_w \cdot K_{ow}) = 0$$

$$\sum M_{iy} = 0: \\ J_{sy} \ddot{\eta} + (m_g \cdot h_{gx} + m_d \cdot h_{dx}) \cdot \ddot{\Delta z} / 2 + \sum_{p=1}^{N_{pz}} F_{pz} \cdot (h_{py} + \mu' \cdot h_{pz}) + \\ + \sum_{p=1}^{N_{py}} \mu' \cdot F_{py} \cdot h_{pz} + \sum_{n=1}^{N_n} F_{Lnz} \cdot h_{nx} + \sum_{w=1}^{N_w} F_{Lwz} \cdot h_{wx} + \\ + \sum_{n=1}^{N_n} S_n \cdot (h_{nz} + z_{Lp}) - \sum_{w=1}^{N_w} S_w \cdot (h_{wz} + z_{Lw}) = 0,$$

$$\sum M_{iz} = 0: \\ J_{sz} \ddot{\phi} + (m_g \cdot h_{gx} + m_d \cdot h_{dx}) \ddot{\Delta y} / 2 + \sum_{p=1}^{N_{py}} F_{py} \cdot (h_{px} + \mu' \cdot h_{py}) + \\ + \sum_{p=1}^{N_{pz}} \mu' \cdot F_{pz} \cdot h_{py} + \sum_{n=1}^{N_n} F_{Lny} \cdot h_{nx} + \sum_{w=1}^{N_w} F_{Lwy} \cdot h_{wx} + \\ + \sum_{n=1}^{N_n} S_n \cdot (h_{ny} + y_{Ln}) - \sum_{w=1}^{N_w} S_w \cdot (h_{wy} + y_{Lw}) = 0,$$

Postać równań dla głowicy górnej:

$$\sum F_y = 0:$$

$$m_g \cdot (\ddot{y}_s + \Delta y / 2) + (m_s - m_g - m_d) \cdot \ddot{y}_s / 2 + \\ + 12(EI)_L / h_{Lx}^3 \cdot \Delta y + \sum_{p=1}^{N_{pgy}} F_{py} + \sum_{n=1}^{N_n} F_{Lny} = 0$$

$$\sum F_z = 0:$$

$$m_g \cdot (\ddot{z}_s + \Delta z / 2) + (m_s - m_g - m_d) \cdot \ddot{z}_s / 2 + \\ + 12(EI)_L / h_{Lx}^3 \cdot \Delta z + \sum_{p=1}^{N_{pgz}} F_{pz} + \sum_{n=1}^{N_n} F_{Lnz} = 0$$

$$\sum M_x = 0:$$

$$J_{gx} \cdot (\ddot{\psi} + \Delta \psi / 2) + (J_{sx} - J_{gx} - J_{dx}) \cdot \ddot{\psi} / 2 + \\ + 12(EI)_L \cdot R_L^2 / h_{Lx}^3 \cdot \Delta \psi + \sum_{p=1}^{N_{pgz}} F_{pz} \cdot h_{py} - \sum_{p=1}^{N_{pgy}} F_{py} \cdot h_{pz} + \\ + \sum_{n=1}^{N_n} (F_{Lnz} \cdot h_{ny} - F_{Lny} \cdot h_{nz} + S_n \cdot K_{on}) = 0$$

przy:

$$\mu' = \begin{cases} -\mu & \text{dla naczynia podnoszonego} \\ \mu & \text{dla naczynia opadającego} \end{cases} \quad (1)$$

Przewidziano dowolne liczby przewodnic N_{py} , N_{pz} , działających w kierunku y i z, (o położeniu względem środka ciężkości określonym współrzędnymi h_{px} , h_{py} , h_{pz}), a także dowolną liczbę lin nośnych N_n i wyrównawczych N_w .

Całkowanie równań modelowych w czasie wykonywane jest numerycznie. Jeżeli w trakcie kroku czasowego zmieniają się warunki kontaktu którejs z przewodnic z przewodnikiem (np poprzez wejście w strefę luzu lub uderzenie o przewodnicę ślizgową) - jest on dzielony na odrębnie traktowane pododcinki czasowe.

3. WYNIKI SYMULACJI

Za pomocą opracowanego programu komputerowego, opartego na powyższych równaniach, przeprowadzono symulację drgań rozważanych układów wyciągowych. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 3. Ukazują one wartości sił w prowadnicach i maksymalnych naprężeń we wzdlużnych belkach naczynia, przy wybranych wartościach istotnych parametrów - przeciętnej wielkości odchyłek przewodników, stopnia niewyważenia i asymetrii.

Przyjęto, że naczynie podnoszone oznaczane będzie jako strona A, zaś opuszczane jako strona B. Kierunek X oznacza kierunek pionowy, Y i Z - kierunki poziome: prostopadły i równoległy do osi maszyny wyciągowej. Prowadnice 1,2 są prowadnicami bocznymi górnymi, 3,4 - dolnymi, 5,6 - górnymi czołowymi, 7,8 - dolnymi czołowymi.

Wyniki symulacji wskazują, że na obciążenie naczynia wyraźny, choć mniej niż liniowy wpływ mają nierówności przewodników, a także stopień niewyważenia i asymetria momentów odkrętu i sił wzdlużnych w linach.

LITERATURA

- [1] A.Karge: Nowoczesne urządzenia wyciągowe, Katowice 1977.
- [2] S.Kawulok: Badania modelowe dynamiki układu naczynia wyciągowe - zbrojenie szybowe. III Konf. "Kier. rozw. gór. urz. wyciąg.", z.3, s.155-165.
- [3] S.Kawulok: Wpływ podatności naczynia wyciągowego na dynamikę jego prowadzenia w szybie. Biuletyn GIG nr2 (94) 1987.
- [4] A.Klich, S.Wolny: Drgania parametryczne w układzie naczynie wydobywcze - zbrojenie szybowe. ZN. Pol. Śl., Górnictwo, z.80, Gliwice 1977.
- [5] D.Tejszerska, J.Wojnarowski: Modelowanie drgań układów wyciągowych z uwzględnieniem zmiennej długości liny. Mat. Symp. Wpływ wibracji na otoczenie. Kraków 1983.
- [6] D.Tejszerska, J.Wojnarowski: Symulacyjne metody wyznaczania sił dynamicznych w wieloliniowych układów wyciągowych Mat. AGH III Konferencji Kierunki Rozwoju Górniczych Urządzeń Wyciągowych, Kraków 1984.
- [7] D.Tejszerska, J.Wojnarowski: Modelowanie drgań naczynia wyciągowego podczas jego jazdy w szybie. Praca NB -385/RMT-4 Cz I, II, Gliwice 1988, 1989.
- [8] D.Tejszerska: Analiza dynamiczna górniczego układu wyciągowego. Praca BW -993/RMT-4/91, Gliwice 1991.
- [9] J.Vondrak i in.: Matematicke modelovani jizdy dopravni nadoby teznijamou. Uhli, 34, 1986, nr 9, s.387-390.

Recenzent: Prof. Jerzy Rudawski.

Wpłynęło do Redakcji dnia 5. 11. 1992

Abstract

Transverse vibrations of cages belong to most important processes in mine hoisting systems. They are caused by irregularities of guides, eccentric of rope wheels, and by factors not taken into account in published models: asymmetry of load and dynamic changes of friction in rollers and longitudinal forces in ropes. Great dynamic forces between rollers and guides and stresses in cage rods, created by vibrations, cause erosion and fatigue wear.

Deformations of cage, presented on fig.1. were analysed, assuming that:

- elongation of cage rods, deformation of heads and stiffness of side metal sheets can be neglected,
- transverse inertial forces caused by mass of cage and bending of rods are taken into account, with neglecting differences between rods lying farther or nearer from cage axis and assuming uniformity of inertial load on rods.

Scheme of forces, acting on cage and system of rollers and guides is presented on fig.2. It explains meaning of main parameters, used in equations of dynamic equilibrium of cage [7], published in shorter form (1).

Using elaborated computer program, based on equations (1), numerical simulations were made. Exemplary results presented on fig.3. show forces between rollers and guides and stresses in longitudinal cage rods. Distinct influence of irregularities of guides and different forms of asymmetry on dynamic load of cage can be seen from results of simulations.