

Marian DOLIPSKI

MATEMATYCZNE MODELOWANIE DYNAMICZNYCH STRUGÓW WĘGLOWYCH

Streszczenie. Opisano etapy studium dynamiki struga węglowego. Przedstawiono model fizyczny i matematyczny dynamicznego struga węglowego. Podano możliwości opracowanego modelu matematycznego w zakresie badania własności dynamicznych strugów węglowych z nożami aktywnymi.

1. WPROWADZENIE

W krajowym przemyśle węglowym dominującymi maszynami urabiającymi węgiel kamienny są frezujące kombajny ścianowe. Jedną z wad tych maszyn jest drobny urobek węglowy. W aspekcie uzyskiwanego sortymentu węgla kamiennego znacznie korzystniejsze są strugi węglowe, które szeroko stosowane są w zagranicznych przemysłach węglowych [5, 6, 7]. W węglach łatwo urabialnych stosowane są strugi węglowe statyczne. W węglach trudniej urabialnych proponuje się stosować strugi węglowe dynamiczne, których głowica urabiająca wyposażona jest w noże aktywne. Do każdego z noży aktywnych doprowadzona jest energia, która umożliwi pokonanie większych oporów skrawania. Taki właśnie strug węglowy z nożami aktywnymi będzie przedmiotem pierwszych dwóch etapów studium dynamiki.

2. STUDIUM DYNAMIKI STRUGA WĘGLOWEGO

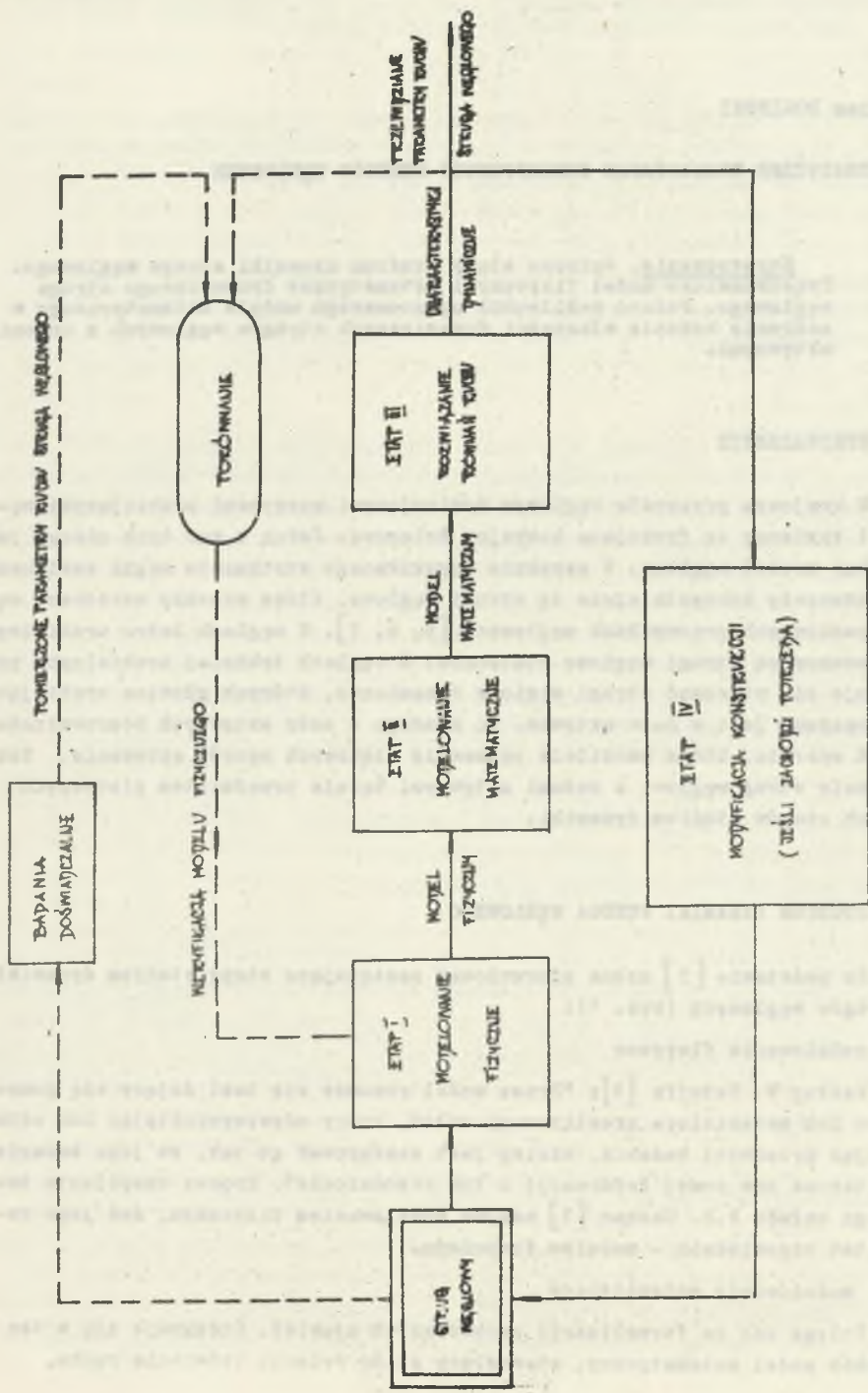
Na podstawie [3] można sformułować następujące etapy studium dynamiki strugów węglowych (rys. 1):

I) modelowanie fizyczne

Według W. Sztoffa [9]: "Przez model rozumie się taki dający się pomyśleć lub materialnie zrealizowany układ, który odzwierciedlając lub odtwarzając przedmiot badania, zdolny jest zastępować go tak, że jego badanie dostarcza nam nowej informacji o tym przedmiocie". Proces obmyślenia takiego układu R.H. Cannon [3] nazywa modelowaniem fizycznym, zaś jego rezultat odpowiednio - modelem fizycznym.

II) modelowanie matematyczne

Polega ono na formalizacji zachodzących zjawisk. Otrzymuje się w ten sposób model matematyczny, stanowiący zbiór relacji (równania ruchu,



rys. 1. Etapy studium dynamiki struga węglowego

wzory, warunki logiczne) wiążących wybrane współrzędne przestrzenne modelu fizycznego.

III) rozwiązanie równań ruchu

Aktualnie rozwiązywanie różniczkowych równań ruchu (ze względu na występowanie członów nieliniowych oraz sprzężeń) odbywa się najczęściej numerycznie za pomocą elektronicznych maszyn cyfrowych. Etap ten kończy się wydrukiem tablic lub wykonaniem wykresów poszukiwanych funkcji (np. obciążeń dynamicznych).

IV) modyfikacja konstrukcji

W etapie tym dokonuje się analizy charakterystyk dynamicznych. Na tej podstawie podejmuje się decyzje o ewentualnej modyfikacji konstrukcji struga węglowego.

Podczas studium dynamiki struga węglowego należy zwrócić szczególną uwagę na rolę sprzężenia zwrotnego. Błędy teoretycznej analizy dynamicznej mogą być wykryte przez badanie rzeczywistego struga węglowego. Po porównaniu charakterystyk uzyskanych z obliczeń i z pomiarów można wprowadzić poprawki do początkowego modelu fizycznego, aby zbliżyć go do rzeczywistości.

3. MODEL FIZYCZNY I MATEMATYCZNY DYNAMICZNEGO STRUGA WĘGLOWEGO

Dotychczas zajmowano się modelowaniem fizycznym i matematycznym statycznych strugów węglowych. Powstały modele dyskretne o jednym stopniu swobody [4], o trzech stopniach swobody [1] i o pięciu stopniach swobody [8].

W literaturze przedmiotu brak jest dotychczas modelu fizycznego i matematycznego dynamicznego struga węglowego.

Konstrukcja modelu fizycznego dynamicznego struga węglowego (rys. 2) polega na:

- Zastąpieniu gałęzi łańcucha strugowego skończoną liczbą mas skupionych, bezmasowymi więziami sprężystymi o zastępczej sztywności właściwej i elementami stykowymi. Elementy stykowe modelują możliwość przenoszenia przez łańcuch strugowy tylko obciążeń rozciągających. W czasie badań modelowych głowica strugowa z nożami aktywnymi będzie zajmowała kolejne położenia zastępczych mas gałęzi łańcucha strugowego (współrzędne X_{1i}).
- Zastąpieniu każdego z układów napędowych obrotowymi masami skupionymi oraz więziami o własnościach lepko-sprężystych. Elementy saczernione T modelują kołki ścinane, których przeznaczeniem jest zabezpieczenie łańcucha strugowego przed zerwaniem w chwili pojawienia się przeciążeń dynamicznych.

Gałąź łańcucha strugowego podzielono na j wycinków. Zgodnie z modelem Lagrange'a [2] masę każdego z wycinków skupiono w jego środku. Zastępcze masy łańcucha strugowego wyznacza się z zależności:

- dla gałęzi górnej

$$m_{11} = \frac{m_1 L}{j} + \alpha_{11} m_G$$

Współczynnik α_{11} przyjmuje wartości:

$$\alpha_{11} = \begin{cases} 1, & \text{gdy } I_G = I_{11} \\ 0, & \text{gdy } I_G \neq I_{11} \end{cases}$$

- dla gałęzi dolnej

$$m_{21} = \frac{m_2 L}{j}$$

Zastępczą sztywność właściwą więzi sprężystych łańcucha strugowego wyznacza się z zależności:

$$k = \frac{jE_0}{L}$$

Opracowany model fizyczny dynamicznego struga węglowego posiada strukturę dyskretną o liczbie stopni swobody równej $2(j+2)$. W konsekwencji model matematyczny dynamicznego struga węglowego będzie miał następującą postać:

$$I_{AR} \ddot{\varphi}_{AR} + k_A (\varphi_{AR} - \varphi_A) + h_A (\dot{\varphi}_{AR} - \dot{\varphi}_A) + S_{1A} R_{1A} + S_{2A} R_{2A} = M_A$$

$$I_A \ddot{\varphi}_A + H [] [2k (\varphi_{AR}^{R_{0A}} - q_{1j}) + S_{1A}] R_{1A} +$$

$$- H [] [2k (q_{21} - \varphi_{AR}^{R_{0A}}) + S_{2A}] R_{2A} =$$

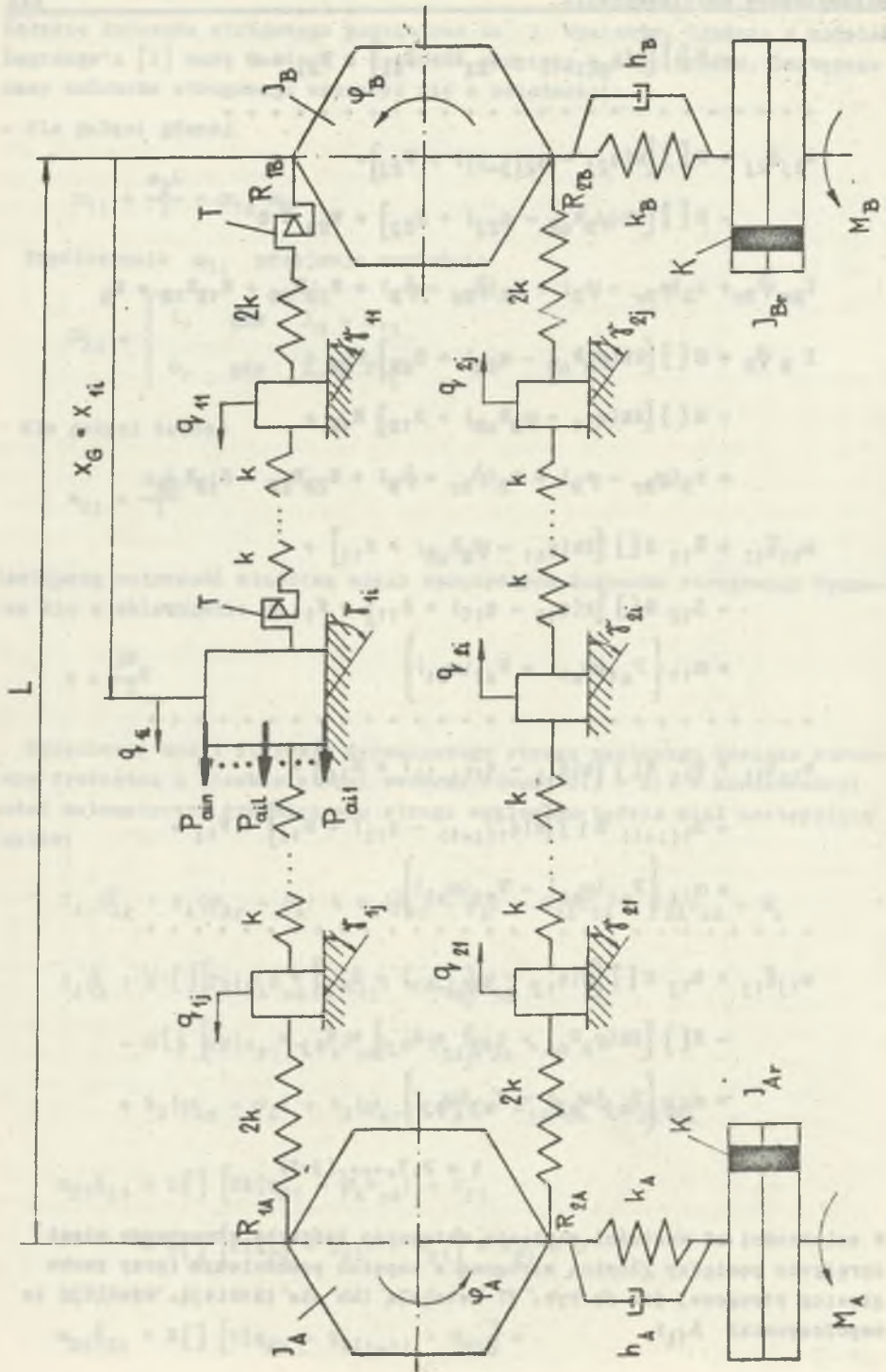
$$= k_A (\varphi_{AR} - \varphi_A) + h_A (\dot{\varphi}_{AR} - \dot{\varphi}_A) + S_{1A} R_{1A} - S_{2A} R_{2A}$$

$$m_{21} \ddot{q}_{21} + H [] [2k (q_{21} - \varphi_{AR}^{R_{0A}}) + S_{21}] +$$

$$- H [] [k (q_{22} - q_{21}) + S_{21}] + W_{21} = 0$$

.....

$$m_{21} \ddot{q}_{21} + H [] [k (q_{21} - q_{2(1-1)}) + S_{21}] +$$



Rys. 2. Model fizyczny dynamicznego struga węglowego

$$q_{1i} = \left. \begin{array}{l} 1, \quad \text{gdy } S_0 > S_{ow} \\ 0, \quad \text{gdy } X_0 \in [0; X_{1i}] \\ 1, \quad \text{gdy } X_0 \in [X_{1(i+1)}; X_{1j}] \end{array} \right\} \text{gdy } S_0 < S_{ow}$$

Sily wzbudzajace pochodzace od nozy aktywnych zapisano w postaci:

$$P_{a1}(\omega_{a1}) = \sum_{l=1}^n P_{a1l}(\omega_{a1l})$$

Sily dysypacyjne wyznacza sie z zaleznosci:

- dla gałęzi górnej

$$W_{11} = m_{11}g(f_{11} \text{sign } \dot{q}_{11} \cos \vartheta_{11} \mp \sin \vartheta_{11}),$$

- dla gałęzi dolnej

$$W_{21} = m_{21}g(f_{21} \text{sign } \dot{q}_{21} \cos \vartheta_{21} \mp \sin \vartheta_{21}).$$

4. ZAKOŃCZENIE

W dynamicznych strugach węglowych występują drgania podłużne i skrętne. Drgania podłużne wzbudzone są zmiennymi operami skrawania o częstotliwości ω_{s1} oraz wibracyjnym oddziaływaniem noży aktywnych na caliznę z częstotliwością ω_{a1} . Drgania skrętne wzbudzone są momentami dynamicznymi asynchronicznych silników elektrycznych w napędzie głównym i pomocniczym.

Opracowany matematyczny model dynamicznego struga węglowego umożliwił prowadzenie badań modelowych występujących zjawisk dynamicznych. Między innymi badania te będą obejmowały:

- symulację dowolnych parametrów techniczno-ruchowych dynamicznego struga węglowego i dowolnych warunków eksploatacyjnych,
- wyznaczenie obciążeń dynamicznych w łańcuchu strugowym,
- badanie nierównomierności poboru mocy przez napęd główny i pomocniczy,
- wyznaczenie przebiegu zmian momentów skręcających wały napędowe kół gniazdowych,
- badanie obciążenia dynamicznego głowicy strugowej,
- badanie przebiegu zmian obciążeń kołków bezpieczeństwa,
- określenie pożądanej wartości stosunku częstotliwości ω_{a1}/ω_{s1} .

WYKAZ OZNACZEŃ

m_G	- masa głowicy strugowej
m_x	- jednostkowa masa łańcucha strugowego
m_{1i}	- zastępcza masa gałęzi górnej łańcucha strugowego
m_{2i}	- zastępcza masa gałęzi dolnej łańcucha strugowego
l	- długość struga węglowego
j	- liczba mas zastępczych gałęzi łańcucha strugowego
X_G	- współrzędna przestrzenna określająca położenie głowicy strugowej względem napędu pomocniczego
E_0	- sztywność łańcucha strugowego
k	- sztywność właściwa łańcucha strugowego
$(I_A + I_{Ar})$	- zredukowany moment bezwładności napędu głównego
$(I_B + I_{Br})$	- zredukowany moment bezwładności napędu pomocniczego
M_A	- zredukowany moment dynamiczny asynchronicznego silnika elektrycznego napędu głównego
M_B	- zredukowany moment dynamiczny asynchronicznego silnika elektrycznego napędu pomocniczego
k_A	- zredukowana sztywność właściwa skręcania napędu głównego
h_A	- zastępczy współczynnik tłumienia w napędzie głównym
k_B	- zredukowana sztywność właściwa skręcania napędu pomocniczego
h_B	- zastępczy współczynnik tłumienia w napędzie pomocniczym
S_{1A}, S_{2A}	- obciążenia statyczne w łańcuchu strugowym po obu stronach koła gniazdowego napędu głównego
R_{1A}	- funkcja promienia nabiegania łańcucha strugowego na koło gniazdowe napędu głównego
R_{2A}	- funkcja promienia zbiegania łańcucha strugowego z koła gniazdowego napędu głównego
S_{2B}, S_{1B}	- obciążenia statyczne w łańcuchu strugowym po obu stronach koła gniazdowego napędu pomocniczego
R_{2B}	- funkcja promienia nabiegania łańcucha strugowego na koło gniazdowe napędu pomocniczego
R_{1B}	- funkcja promienia zbiegania łańcucha strugowego z koła gniazdowego napędu pomocniczego
S_{1i}	- obciążenie statyczne w gałęzi górnej łańcucha
S_{2i}	- obciążenie statyczne w gałęzi dolnej łańcucha

$H []$	- funkcja Heaviside'a (nawias kwadratowy oznacza zawartość argumentu funkcji Heaviside'a)
W_{1i}	- siły dysypacyjne w gałęzi górnej
W_{2i}	- siły dysypacyjne w gałęzi dolnej
P_{ai}	- siły wzbudzające pochodzące od noży aktywnych
ω_{ai}	- częstości sił wzbudzających pochodzących od noży aktywnych
n	- liczba urabiających noży aktywnych
W_{si}	- siła skrawania
ω_{si}	- częstość siły skrawania (częstość odłupywania się brył urobku)
S_0	- napięcie wstępne łańcucha strugowego
S_{ow}	- wymagana wartość napięcia wstępnego łańcucha strugowego
g	- przyspieszenie ziemskie
f_{1i}	- współczynnik oporów ruchu w gałęzi górnej łańcucha
f_{2i}	- współczynnik oporów ruchu w gałęzi dolnej łańcucha

LITERATURA

- [1] Ahrens K.: Untersuchung des Zeitverhaltens von Kohlenhobelanlagen mit Hilfe eines mathematischen Modells. Gluckauf Forschungshefte, nr 4/1971.
- [2] Bishop R.E.E., Gladwell G.M.L., Michaelson S.: Maciersowa analiza drgań. WNT, Warszawa 1972.
- [3] Cannon R.H.jr.: Dynamika układów fizycznych. WNT, Warszawa 1973.
- [4] Ignatiew A.D., Biezugłow V.M.: O formirowanij nagruzki w tiagowej cepi struga. Izwiestija Wysszich Uczebnych Zawiedienij - Gornyj Żurnał, ne 7/1970.
- [5] Opolski T., Brączek E.: Strugi węglowe. "Śląsk", Katowice 1969.
- [6] Palarski J.: Postęp naukowy i techniczny w górnictwie węglowym Republiki Federalnej Niemiec. Przegląd Górniczy, nr 5/1984.
- [7] Sikora W., Sołtysek K., Myśliwski K.: Wyniki pomiarów urabiania w ścianach strugowych PW. Prace GIG. Komunikat nr 391. Katowice 1966.
- [8] Skorodumow B.A.: Dinamika processa rewiersirowanija dwuchpriwodnoj strugowej ustanowki. Procnost i Dołgowiecznost Gornych Maszin, vypusk 4. Niedra. Moskwa 1976.
- [9] Sztuff W.: Modelowanie i filozofia. PWN, Warszawa 1971.

Recenzent: Prof. dr inż. Zbigniew KORECKI

Wpłynęło do Redakcji w listopadzie 1984 r.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ УГОЛЬНЫХ СТРУГОВ

Резюме

В статье описаны этапы исследования динамики угольного струга. Представлена физическая и математическая модель динамического угольного струга. Представлены возможности данной модели в сфере исследования динамических свойств угольных стругов с активными раццами.

MATHEMATICAL MODELLING OF DYNAMIC COAL PLOUGHS

Summary

The phases of a dynamic coal plough study have been described. Physical and mathematical models of the dynamic coal plough have been presented. Possibilities of the mathematical model in the range of a study of dynamic properties of the plough with active blades have been given.