

Andrzej NOWAK
Katedra Mechaniki Robotów i Maszyn Roboczych Ciężkich
Politechnika Śląska

ELIMINACJA UKOSOWANIA SUWNICY WYWOŁANEGO ZJAWISKIEM ODBICIA

Streszczenie. W pracy rozpatrzono zagadnienie eliminacji ukosowania podczas jazdy suwnicy, przy uwzględnieniu zjawiska odbicia. Sformułowano algorytm doboru dodatkowych sił sterujących, umożliwiających realizację ruchu postępowego mostu. Przeprowadzony eksperyment numeryczny ilustruje zmiany badanych wielkości, w tym momentów napędowych kół.

ELIMINATION OF CRANE BEVEL EVOKED BY REFLECTION PHENOMENON

Summary. In the paper the problem of elimination of bevel during the crane drive is presented, considering the reflection phenomenon. The algorithm to selection of control forces realize progressive motion of bridge was elaborated. The proved numerical experiment illustrates the changes of investigated magnitudes, in particular the driving moments of wheels.

ЭЛИМИНАЦИЯ ПЕРЕКОСА МОСТОВОГО КРАНА ВОЗБУЖДЕННОГО ЯВЛЕНИЕМ ОТРАЖЕНИЯ

Резюме. В работе рассмотрено проблему элиминации перекоса движения мостового крана, возбужденного явлением отражения. Представлено алгоритм определения дополнительных сил управления для реализации поступательного движения моста. Проведенные численные вычисления иллюстрируют изменения исследованных величин, в особенности моменты двигателей.

1. WSTĘP

Celem pracy jest wyznaczenie sił sterujących dla realizacji ruchu postępowego suwnicy z eliminacją ukosowania, wymuszonego odbiciem sprężystym mostu oraz poślizgami kół. Przedstawiony algorytm umożliwia badanie dynamiki ruchu suwnicy przy uwzględnieniu podatności układu napędowego, jezdni, mostu oraz więzów elektromechanicznych od silników.

Poprawne rozwiązanie tego problemu wymaga uwzględnienia zjawiska odbicia, sił tarcia poślizgowego oraz poślizgów sprężystych kół, przy zastosowaniu symulacji numerycznej ruchu suwnicy. Analiza tego rodzaju stanowi efektywny sposób oceny oddziaływań suwnicy w płaszczyźnie poziomej, a w szczególności sił bocznych i sił tarcia poślizgowego. W analizie rozpatrzono fazę rozruchu, ruchu ustalonego i hamowania suwnicy. Opracowany model matematyczny układu umożliwił ocenę wpływu niedoskonałości geometrycznych jezdni i suwnicy na zmiany charakterystyk dynamicznych, w tym na przebiegi sił i momentów napędowych silników. Korekcji nominalnych charakterystyk napędowych silników dokonano przez wprowadzenie dodatkowych sił sterujących, eliminujących ukosowanie suwnicy. Zagadnienie to rozpatrzono przykładowo w pracach [5,6], bez uwzględnienia jednak wpływu zjawiska odbicia. Wpływ zjawiska odbicia na dynamikę jazdy suwnicy zbadano z kolei w pracach [1,2,3,4].

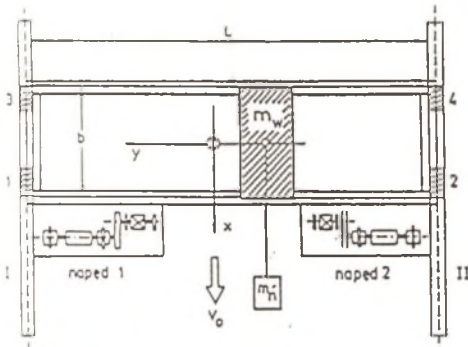
2. MODEL DYNAMICZNY SUWNICY

Schemat fizyczny suwnicy zilustrowano na rys.1. Schemat kinematyczny jednego z układów napędowych jazdy mostu pokazano na rys.2. Model drganiowy suwnicy opracowano przy zastosowaniu metody sztywnych elementów skończonych (SES). Globalny model dynamiczny suwnicy z wyodrębnionymi podukładami (most, jezdnia, układy napędowe wraz ze schematami elektrycznymi silników) przedstawiono na rys.4. W analizie uwzględniono niedoskonałości geometryczne jezdni, ustawień kół oraz założono ukosowane położenie mostu względem osi jezdni. Własności sprężyste jezdni wyrażono zredukowanymi sztywnościami k_{si} . Przez H_j oznaczono siły boczne występujące pomiędzy obrzeżami kół a szyną. Siły tarcia poślizgowego kół wyznaczono na podstawie modelu tarcia sprężystego [7], zgodnie z którym współczynnik tarcia stanowi funkcję poślizgu σ koła.

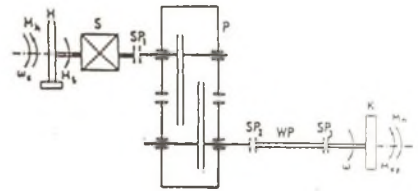
Różniczkowe równania ruchu podukładów suwnicy, wyszczególnionych na rys.1, sformułowano w postaci macierzowej:

- dla mostu

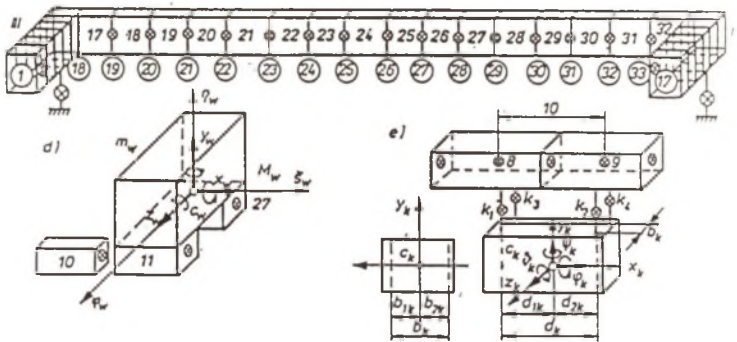
$$M \ddot{q}_m + C_m \dot{q}_m + K q_m = F_t(t) + R_m, \quad (1)$$



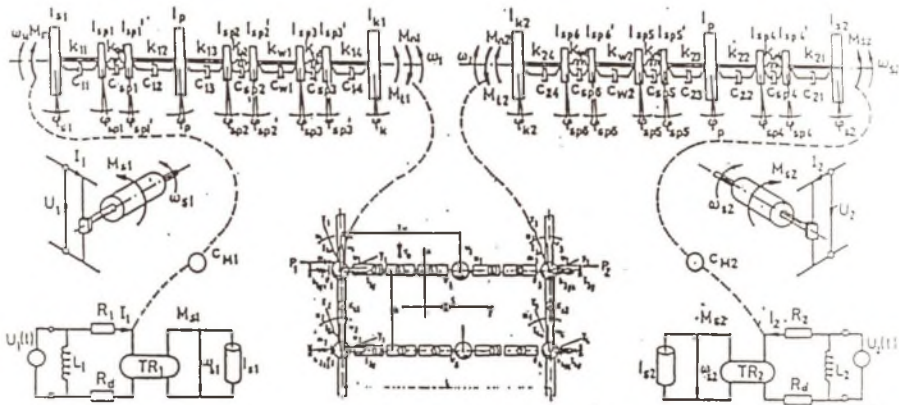
Rys.1. Model fizyczny suwnicy
Fig.1. Physical model of crane



Rys.2. Model układu napędowego
Fig.2. Model of driving system



Rys.3. Model drganiowy SES suwnicy
Fig.3. Vibration model SEM of crane



Rys.4. Globalny dynamiczny model suwnicy
Fig.4. Global dynamic model of crane

- dla układów napędowych

$$J_n \ddot{q}_n + C_n \dot{q}_n + K_n q_n = M_s - M_t \quad , \quad (2)$$

$$L_i \dot{I}_i + R_i I_i = U_0 - k_e \omega_s \quad , \quad M_{si} = k_M I_i \quad , \quad i = 1, 2 \quad (3)$$

- dla ukosowania mostu

$$m_m \ddot{u}_c = F_n + T_x - \psi (T_u + H) \quad , \quad (4.1)$$

$$m_m \ddot{w}_c = T_y + H + \psi (T_x + F_n) \quad , \quad (4.2)$$

$$J_c \ddot{\psi} = M_c^n + M_c^H + M_{cx}^t + M_{cy}^t \quad , \quad (4.3)$$

gdzie:

$$F_n = F_{1n} + F_{3n} \quad , \quad T_x = \sum_{i=1}^4 T_{ix} \quad , \quad T_y = \sum_{i=1}^4 T_{iy} \quad ,$$

$$H = \sum_{i=1}^4 H_i \quad , \quad M_c^H = (H_1 + H_3 - H_2 - H_4) b / 2 \quad , \quad (5)$$

$$M_{cx}^t = (T_{3x} + T_{4x}) d_2 - (T_{1x} + T_{2x}) d_1 \quad , \quad d_1 = y_w \quad , \quad d_2 = L - y_w \quad ,$$

$$M_{cy}^t = (T_{1y} + T_{2y} + T_{3y} + T_{4y}) b / 2 \quad , \quad M_c^n = F_{3n} d_2 - F_{1n} d_1 \quad .$$

W celu eliminacji ukosowania suwnicy do mostu należy przyłożyć dodatkowy moment sterujący:

$$M_{cn}^s = - (M_c^n + M_c^H + M_{cx}^t + M_{cy}^t) \quad , \quad (6)$$

gdzie M_c^n oznacza moment napędowy suwnicy zredukowany do środka masy mostu.

Zakładając dodatkowo postępowy ruch suwnicy ze stałą prędkością v_0 i uwzględniając warunek (5) wyznaczono siły sterujące:

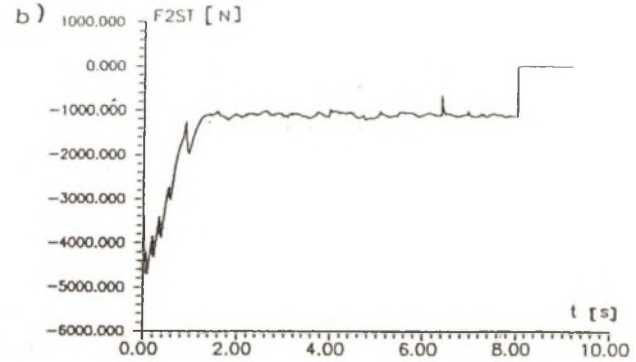
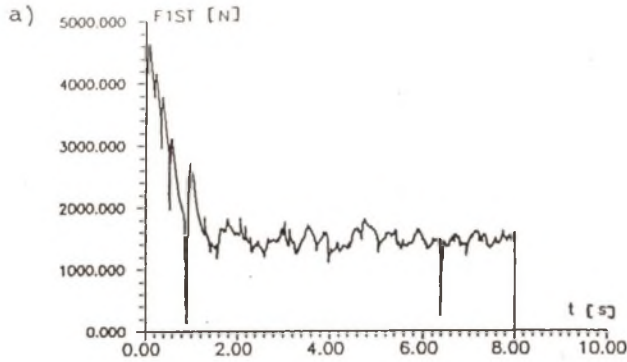
$$F_{1n}^s = - (M_{cn}^s + F_x d_2) / L \quad , \quad F_{3n}^s = (M_{cn}^s - F_x d_1) / L \quad , \quad (7)$$

gdzie

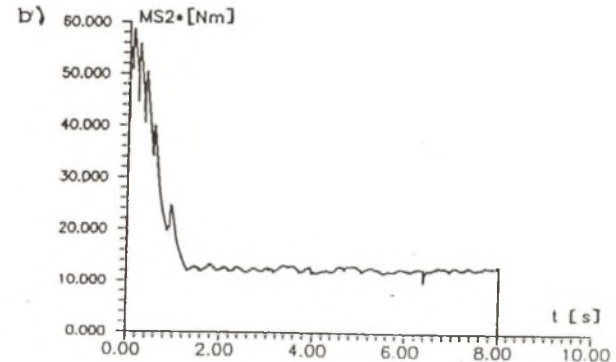
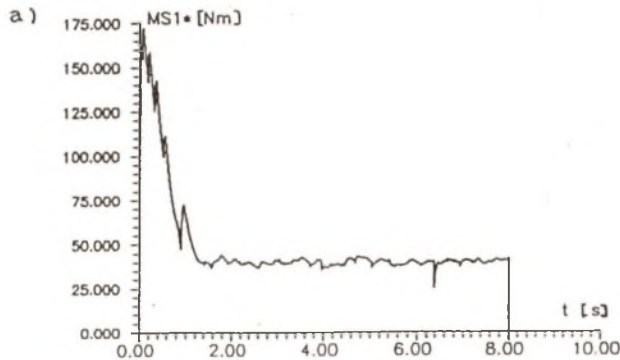
$$F_x = T_x + F_{1n}^0 + F_{2n}^0 \quad .$$

Redukując siłę napędową i sterującą na wał silnika wyznaczono całkowite momenty napędowe:

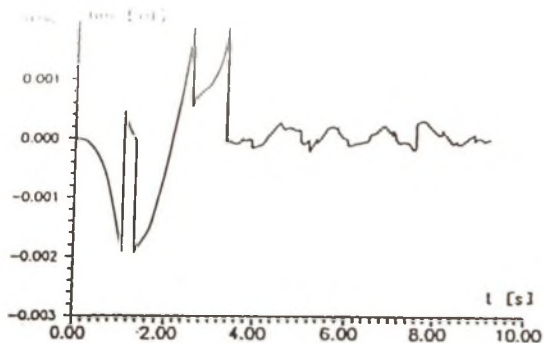
$$M_{is}^n = (F_{in}^0 + F_{in}^s) r_{ki} / i_p \quad , \quad i = 1, 2 \quad . \quad (8)$$



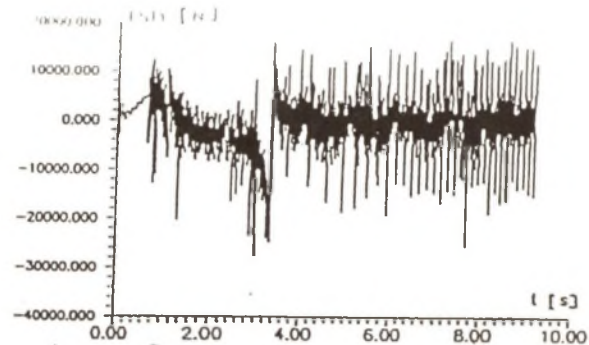
Rys.5. Przebiegi sił sterujących suwnicy
Fig.5. Courses of control forces of crane



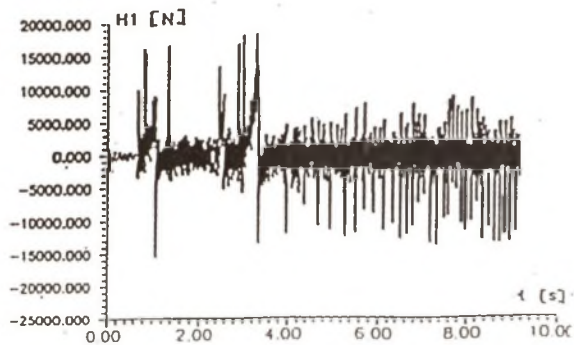
Rys.6. Przebiegi momentów napędowych silników
Fig.6. Courses of driving moments of motors



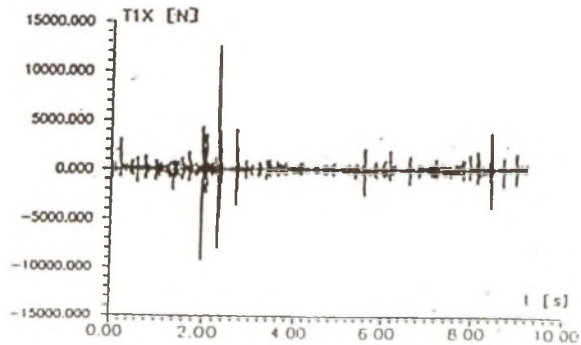
Rys.7. Przebieg kąta ukosowania suwnicy
Fig.7. Course of beveling angel of crane



Rys.8. Wektor główny sił poziomych
Fig.8. Main vector of horizontal forces



Rys.9. Zmiana siły bocznej koła 1
Fig.9. Course of side force of wheel 1



Rys.10. Zmiana siły tarcia poślizgowego koła 1
Fig.10. Course of slip friction force of wheel 1

3. WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Przedstawimy niektóre wyniki obliczeń w zakresie badania sterowalności jazdy suwnicy, uzyskane na podstawie przeprowadzonego eksperymentu numerycznego. Obliczenia wykonano na przykładzie suwnicy pomostowej o rozpiętości $L = 32$ [m] oraz udźwigu $Q = 50$ [kN] z dwoma niezależnymi układami napędowymi jazdy, w których zastosowano silniki prądu stałego o mocy 10 kW.

Na rys.5a,b przedstawiono przebiegi sił sterujących F_{1n}^s , F_{2n}^s dla eliminacji ukosowania suwnicy. Zmiany momentów napędowych silników z uwzględnieniem momentów sterowania, odpowiadających wyznaczonym siłom, ilustrują rys.6a,b. Kąt ukosowania suwnicy podczas jazdy nie przekracza maksymalnej wartości 0.002[rd], a jego przebieg pokazano na rys.7. Zmianę wektora głównego sił w płaszczyźnie poziomej ilustruje rys.8, która uzasadnia niesterowalność ruchu poprzecznego suwnicy. Przebieg siły bocznej jednego z kół zilustrowano na rys.9, natomiast siły tarcia poślizgowego koła w kierunku jazdy przedstawia rys.10.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawiony w pracy algorytm doboru sił sterujących w celu eliminacji ukosowania suwnicy umożliwia uwzględnienie wpływu zjawiska odbicia, poślizgów kół, podatności mostu, jezdni i układów napędowych oraz imperfekcji geometrycznych jezdni. Pełne rozwiązanie tego zadania wymaga opracowania projektu odpowiedniego układu regulacji charakterystyk napędowych silników. W tym zakresie możliwe jest również zastosowanie specjalnych ograniczników ukosowania suwnicy [6], co pozwoli zmniejszyć wartości sił bocznych i asymetrię pola obciążeń poziomych.

LITERATURA

- [1] Wojnarowski J., Nowak A.: Badanie zjawiska odbicia podczas ruchu suwnicy pomostowej. ZN Politechniki Śl., zbiór refer. XXX Sympozjum "Modelowanie w Mechanice", Gliwice - Wisła 1991.
- [2] Nowak A., Wojnarowski J.: Ocena energetyczna oporów ruchu suwnicy przy uwzględnieniu zjawiska odbicia. Zb. refer. Konfer."Dynamika Konstrukcji", Rzeszów-Jawor 1993
- [3] Nowak A., Wojnarowski J.: Pole obciążeń suwnicy podczas jazdy wywołane zjawiskiem odbicia. ZN Politechniki Śl., s. Mechanika, z. 113, Gliwice 1993, ss. 299-304.

- [4] Wojnarowski J., Oziemski S., Nowak A.: Modelling of reflection phenomenon during the bridge crane drive. *Prace nauk. CPBP 02.05, t. 04.09.02. Wydaw. Nauk. Politechn. Warszawska. Warszawa 1990.*
- [5] Tomczyk J., Wolski T., Kosucki A.: Układ kompensacji ukosowania suwnicy pomostowej. *Zb. refer. VI Konfer. "Rozwój podstaw budowy, eksploatacji i badań MRC - w tym budowlanych". Cz. II, Warszawa 1993, ss. 213-220.*
- [6] Grabowski E., Pielorz J., Stefurak W.: Zagadnienie ograniczania zukosowania suwnic. *Biul. Techn. OBRDiUT, Detrans - Bytom, nr 2, 1986.*
- [7] NNeugebauer R.: Zur Fahrmechanik nichtidealer Brueckenkrane. *Der Stahlbau 6, 1983, pp. 173-179.*

Recenzent: Prof. dr hab. inż. tadeusz Lamber

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1993 r.

Abstract

The aim of paper consists on determination of the control force for realize of progressive motion of crane without its bevel. In the analysis the influence of the reflection phenomenon on dynamics of crane has been considered. To determination of the control forces of crane the numerical algorithm was elaborated. The vibrating model of crane by use of Rigid Elements Method (REM) was formulated. The proved numerical experiment illustrates the changes of control forces and driving moments of the motors. The presented results have confirmed the influence of the reflection phenomenon on the dynamics of crane in range of the determination of side and slip friction forces and in consequence the course of bevel angel of crane. The presented algorithm gives possibility to design of control system for elimination of crane bevel.

Praca realizowana jest w Grancie nr 3 P402 05504