

SYMPOZJON "MODELOWANIE W MECHANICE"

POLSKIE TOWARZYSTWO MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ

Beskid Śląski, 1990

Józef Wojnarowski, Andrzej Nowak

Instytut Mechaniki i Podstaw

Konstrukcji Maszyn

Politechnika Śląska

O MODELOWANIU ZJAWISKA ODBICIA PODCZAS JAZDY SUWNICY

Streszczenie: W pracy sformułowano model zjawiska odbicia, jakie może wystąpić wskutek ukosowania mostu w czasie jej jazdy. Wskutek imperfekcji geometrycznych jezdni i asymetrii obciążeń następują w czasie jazdy mostu suwnicy poślizgi kół, ukosowanie się mostu z możliwością zakleszczenia i w takim przypadku może zaistnieć zjawisko odbicia. Te złożone stany dynamiczne w czasie jazdy suwnicy mogą wywołać odkształcenia w układzie tor - most suwnicy. Zjawiska te opisano przy zastosowaniu metody sztywnych elementów skończonych, przyjmując model tarcia ślizgowego.

1. Wprowadzenie

Mechanikę ruchu mostu rozważymy na podstawie założeń :

- jazdę suwnicy rozpatruje się w jej ruchu ustalonym,
- most suwnicy i jezdnię traktuje się jako układy sprężysto-odkształcalne,
- siły boczne są przekazywane przez kontakt obrzeża koła i szyny,
- rozpatrzono jedynie imperfekcje geometryczne jezdni oraz ustawienia kół względem osi jezdni.

Omawiane zagadnienia ustalają zależności pomiędzy siłami działającymi w płaszczyźnie ustawienia koła a wielkościami kinematycznymi przejezdnych suwnic.

Przy dostatecznie dużym luzie pomiędzy obrzeżem koła a szyną suwnica

ustawia się w ten sposób, że jeden z elementów prowadzących styka się z szyną, powodując działanie układu sił poziomych. Przekazywanie sił bocznych może się odbywać przez koła jezdne oraz elementy prowadzące (rolki). Występuje przy tym koniunkcja obciążeń od ukosowania mostu ruchu wózka lub nosiwa. Efektem działania wymienionych czynników jest wystąpienie takich zjawisk, jak: poślizgi kół i ukosowanie mostu, uderzenia obrzeży kół o szyny wywołujące odbicia. Zjawiska te są przyczyną szybkiego zużycia się ciernego kół. Eliminacja tych zjawisk ma istotne znaczenie techniczne.

Niektóre przypadki imperfekcji geometrycznych jezdni zilustrowano na rys. 1, wyróżniając kąty znoszenia kół α_1 .

2. Modelowanie poślizgów sprężystych

Poślizg σ definiowany jest jako iloraz prędkości względnej punktu styku koła z szyną do prędkości bezwzględnej środka koła. Wyróżnimy poślizg koła na kierunku wzdłużnym σ_x oraz na kierunku poprzecznym σ_y (rys. 1a), którym odpowiadają siły tarcia poślizgowego:

$$S_x = f_x R_z \quad , \quad S_y = f_y R_z \quad , \quad (1)$$

gdzie

f_x, f_y są współczynnikami tarcia ślizgowego, będącymi funkcjami poślizgów σ_x, σ_y [2]:

$$f_x = f_x(\sigma_x, \sigma_y) \quad , \quad f_y = f_y(\sigma_x, \sigma_y) \quad , \quad (2)$$

Układ (x, y, z) jest układem współrzędnych związanym z jezdnią, przez $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ zaznaczono układ współrzędnych związany na sztywno z kołem (rys. 2a), R_z oznacza siłę nacisku koła na szynę. Poślizgi sprężyste są nazywane również mikro-poślizgami w odróżnieniu od poślizgów posuwistych (makro-poślizgów).

Zgodnie z wynikami badań eksperymentalnych zamieszczonych w pracy [1] przyjmujemy następujące wyrażenia analityczne dla współczynników tarcia poślizgowego:

$$\begin{aligned} f_x &= f_{x0} \left(1 - e^{-a_1 |\sigma_x|} \right) \left(1 - a_2 \frac{|\sigma_y|}{\sigma_0} \right) \text{sign}(\sigma_x) \quad , \\ f_y &= f_{y0} \left(1 - e^{-a_3 |\sigma_y|} \right) \left(1 - a_4 \frac{|\sigma_x|}{\sigma_0} \right) \text{sign}(\sigma_y) \quad , \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie współczynniki $a_1, a_2, a_3, a_4, f_{x_0}, f_{y_0}$ są wielkościami stałymi wyznaczonymi doświadczalnie [1].

Zależności (3) są słuszne dla poślizgów :

$$|\sigma_{\bar{x}}| \leq 0.015 \quad , \quad |\sigma_{\bar{y}}| \leq 0.015 \quad (4)$$

Nierówności (4) określają zakresy stosowalności wzorów (3). Dla poślizgów większych od podanych wartości granicznych występuje zjawisko tarcia rozwinętego. Zależność współczynnika tarcia poślizgowego od poślizgu zilustrowano na rys.2b. W przypadku, gdy poślizg σ przyjmuje wartości większe od granicznego, krzywą można aproksymować prostą.

3. Równanie ruchu obrotowego koła napędowego

Uwzględniając poślizg równanie ruchu obrotowego koła przyjmuje postać:

$$J_o \ddot{\phi} + D \dot{\phi} = M_{yo} - (S_{\bar{x}} r + M_t) \quad , \quad (5)$$

gdzie

$D = M_{yo} / \dot{\phi}_m$, $\dot{\phi}_m$ jest synchroniczną prędkością kątową koła, J_o jest zredukowanym momentem bezwładności koła „1” mechanizmu przekładni ,

$M_{yo} = i_p \eta M_a$ jest momentem napędowym koła , i_p oznacza przełożenie η - jest sprawnością .

Moment napędowy koła przy uwzględnieniu poślizgu wynosi :

$$M_y(\phi) = M_{yo} (1 - \dot{\phi} / \dot{\phi}_m) \quad (6)$$

Siłę wzdłużną $S_{\bar{x}}$ tarcia poślizgowego występującą w równaniu (5) określa zależność (1) i zależy ona od poślizgów koła $\sigma_{\bar{x}}, \sigma_{\bar{y}}$. Poślizgi te spełniają następujące równania więzów kinematycznych

$$r \dot{\phi} (1 - \sigma_{\bar{x}}) - \dot{u}_{\bar{x}} = 0 \quad , \quad r \dot{\phi} \sigma_{\bar{y}} + \dot{u}_{\bar{y}} = 0 \quad , \quad (7)$$

gdzie $u_{\bar{x}}, u_{\bar{y}}$ są składowymi wektora prędkości środka koła na kierunkach osi \bar{x}, \bar{y} , przy uwzględnieniu ruchu drgającego mostu w płaszczyźnie poziomej. Szczegółowy model drganiowy mostu przedstawiono w następnym punkcie pracy.

4. Model drganiowy mostu

W pracy [3] sformułowano model drganiowy mostu przy zastosowaniu metody SES w postaci ogólnego równania macierzowego :

$$M^0 \ddot{q} + C^0 \dot{q} + K^0 q = R^0, \quad (8)$$

gdzie M^0 , C^0 , K^0 są globalnymi macierzami bezwładności, tłumienia i sztywności układu,

$$q = [q_1, q_2, \dots, q_N]^T$$

oznacza macierz kolumnową współrzędnych uogólnionych układu, N jest liczbą elementów sztywnych. Oznaczając przez K_i macierz obrotu macierz wymuszeń R^0 przedstawimy w postaci :

$$R^0 = [R_1^0, R_2^0, \dots, R_N^0] \quad (9)$$

gdzie R_i^0 oznacza macierz wymuszeń w układzie globalnym dla elementu o numerze „i” :

$$R_i^0 = [K_i^l \ R_i^r] \quad (10)$$

Elementami tej macierzy są siły oporu ruchu, siły tarcia poślizgowego jak również siły czynne i siły prowadzące.

Model drganiowy jezdni sformułowano dla każdego toru oddzielnie i ujęto równaniami :

$$M_I^0 \ddot{q}_I + C_I^0 \dot{q}_I + K_I q_I = R_I^0 \quad (11)$$

$$M_{II}^0 \ddot{q}_{II} + C_{II}^0 \dot{q}_{II} + K_{II} q_{II} = R_{II}^0 \quad (12)$$

Równania (5), (8), (11), (12) przedstawiają nieliniowy układ równań różniczkowych opisujący dynamikę jazdy suwnicy z uwzględnieniem poślizgów sprężystych.

5. Ukosowanie i odbicie mostu suwnicy w czasie jej jazdy

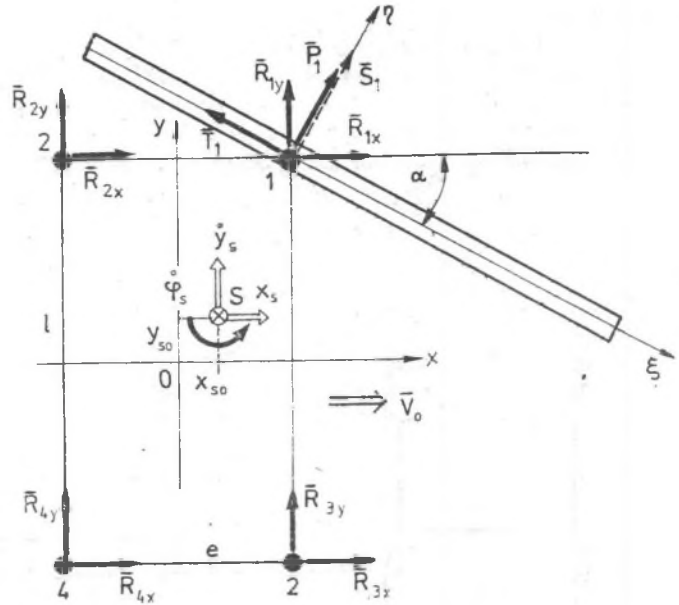
W wyniku ukosowania mostu następuje uderzenie koła obrzeżem o szynę. Powstaje przy tym dodatkowa siła zderzeniowa powodująca odbicie mostu. Model dynamiczny mostu w fazie odbicia i po odbiciu uwzględnia układ sił pokazany na rys.3. Siła zderzeniowa koła „i” przy uderzeniu o szynę przyjmuje postać :

$$S_i(t) = (1+k) \frac{m_i m_{si}}{m_i + m_{si}} v_{iy} \delta(t-t_{i1}) \quad (13)$$

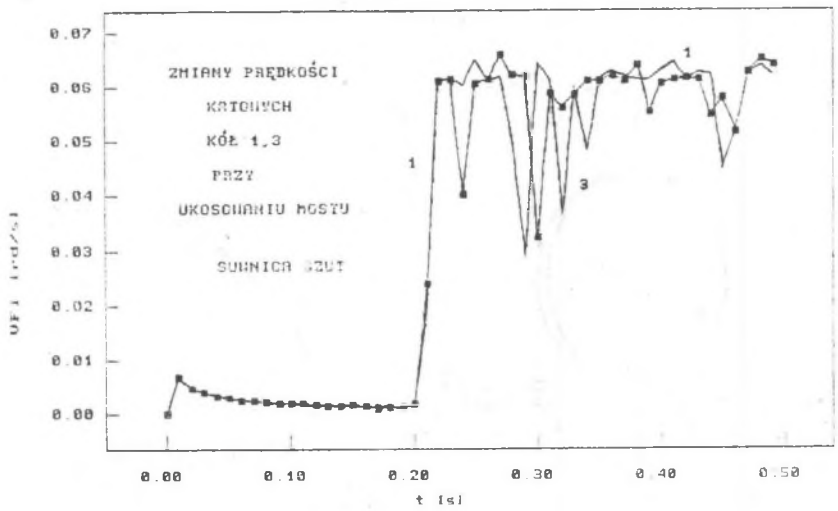
gdzie

m_i , m_{si} są masami elementów sztywnych incydentnych z kołem i szyną, v_{iy} jest prędkością względną środka koła.

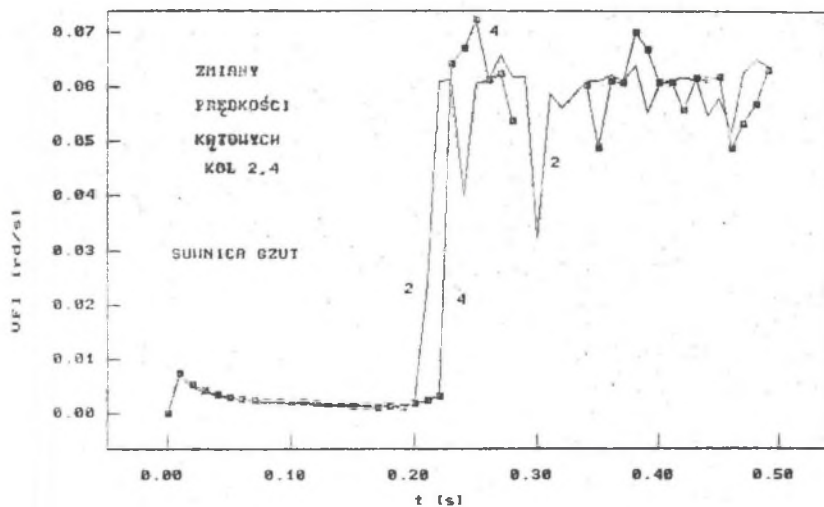
Po uwzględnieniu tych sił w równaniach ruchu (8), (11), (12) i dokonaniu ciągu przekształceń z uwzględnieniem dyskretyzacji szyn i jezdni wyznaczono przemieszczenia środka koła oraz punktu szyny pozostającego w



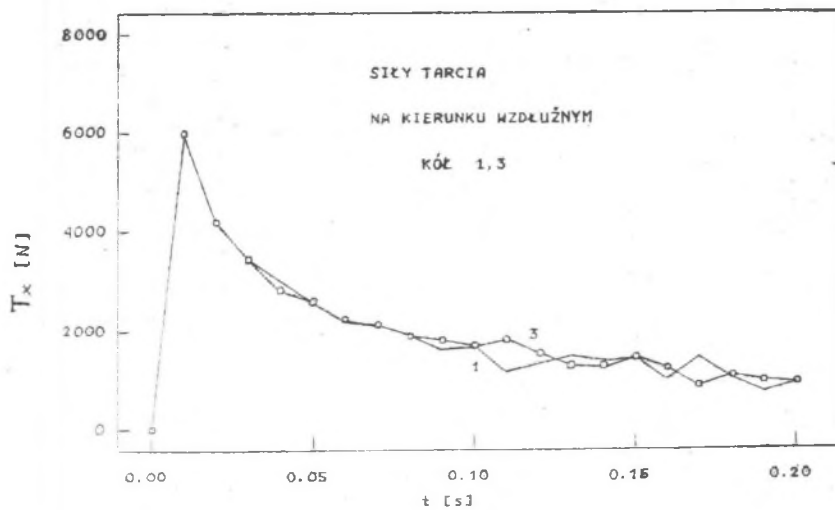
Rys. 3



Rys. 4a



Rys. 4b



Rys. 5

6. Uwagi końcowe

Sformułowany model zjawiska ukosowania i odbicia suwnicy umożliwia ustalenie zależności pomiędzy oddziaływaniami w układzie koło-szyna a wielkościami kinematycznymi oraz imperfekcjami geometrycznymi jezdni. Stosując metodę SES określono algorytm badania tych zjawisk i przeprowadzono obliczenia numeryczne dla wybranej suwnicy pomostowej. Uzyskane zależności funkcyjne uwiadcniają charakterystyczne fazy w procesie ukosowania i odbicia suwnicy.

LITERATURA

- [1] R. Neugebauer : Zur Fahrmechanik nichtidealer Brueckenkrane. Der Stahlbau 6, 1983, (173-179)
- [2] Deng Zhe Ma : Zur Elastokinetik fahrender nichtidealer Brueckenkrane. Der Stahlbau 57, 1988, (51-57)
- [3] Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej : Wpływ asymetrii obciążeń na jazdę suwnicy z uwzględnieniem zjawiska odbicia, wykonanej pod kierunkiem prof. J. Wojnarowskiego w ramach CPBP 02.05, Gliwice 1989.

О МОДЕЛИРОВАНИИ ЯВЛЕНИЯ ОТРАЖЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ДВИЖЕНИЯ МОСТОВОГО КРАНА

Резюме

В работе формулируется модель явления отскока которые может возникнуть в результате перекоса моста мостового крана во время его движения. Вследствие несовершенства геометрии подкрановых путей и асимметрии нагрузок наступает во время движения мостового крана скольжение ходовых колес, перекашивание моста с возможностью заедания и явление отражения. Эти сложные динамические состояния во время движения мостового крана могут вызвать деформации в системе подкрановый путь-мост мостового крана. Данные явления были описаны с применением метода жестких конечных элементов с использованием модели трения скольжения.

ON MODELLING THE PHENOMENON OF REBOUND DURING THE CRANE MOVEMENT

Summary

In the paper the model of rebound which can occur because of the scarf of bridge crane applied during its movement has been formulated. The phenomenon of rebound can appear as a result of geometrical imperfection and asymetry of loads during the movement of the bridge crane when wheel spin and scarf of bridge crane happen and in consequence the sticking is possible. These complex dynamic states existing during the movement of the crane can evoke elastic strain in the system: track-bridge of the crane. The phenomena are described using the method of rigid finite elements.