

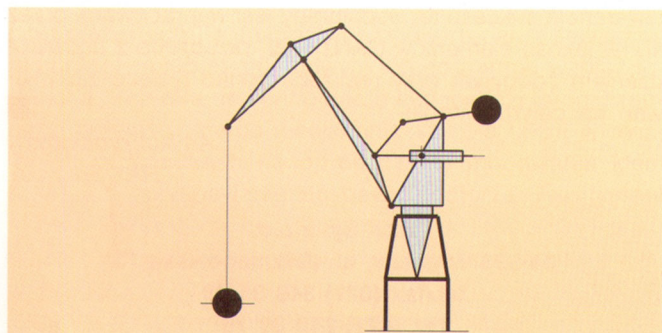
Wpływ zmienności masy zredukowanej na dynamikę mechanizmu obrotu i wypadu żurawia portowego

Jacek Cink

W żurawiu portowym wypadowym przy transporcie poziomym ładunku, realizowanym przy jednoczesnej pracy mechanizmu obrotu i wypadu, zmiana ulega maso wy moment bezwładności części obrotowej oraz zredukowana do osi siłownika masa elementów ruchomych, związanych z mechanizmem wypadu. Uwzględnienie tego faktu w modelowaniu dynamicznym prowadzi do bardziej złożonego opisu matematycznego. W artykule pokazano, w jaki sposób można uwzględnić prędkość zmiany mas zredukowanych, związanych z mechanizmem obrotu i wypadu żurawia oraz jaki ma to wpływ na ich obciążenia dynamiczne.

W żurawiu portowym z czteroprzegubowym układem wypadowym transport poziomy ładunku prowadzony jest przy skojarzonych ruchach mechanizmu obrotu i wypadu. Przy pracy mechanizmu wypadu żurawia i zmianie długości x siłownika wypadu zmienia się geometria układu czteroprzegubowego, co wpływa na zmianę parametrów geometrycznych zarówno mechanizmu obrotu, jak i wypadu. Zmiana położenia elementów układu wypadowego powoduje zmianę masowego momentu bezwładności I_o całej części obrotowej względem osi obrotu żurawia. W mechanizmie wypadu przyjęło się dokonywać redukcji mas wszystkich elementów ruchomych związanych z mechanizmem do siłownika wypadu, w szczególności do punktu jego połączenia z konstrukcją części obrotowej. Zredukowaną masę m_z wyznacza się, stosując zasadę zachowania energii kinetycznej.

Przy ruchach skojarzonych obrotu i wypadu pojawia się zmiana momentu bezwładności I_o , natomiast zmiana masy zredukowanej m_z ma miejsce przy ruchu samego mechanizmu wypadu. Wynika stąd, że nawet przy jednostajnym ruchu siłownika wypadu elementy poruszają się ruchem przyspieszonym, co ma wpływ na dynamikę mechanizmu obrotu i wypadu.

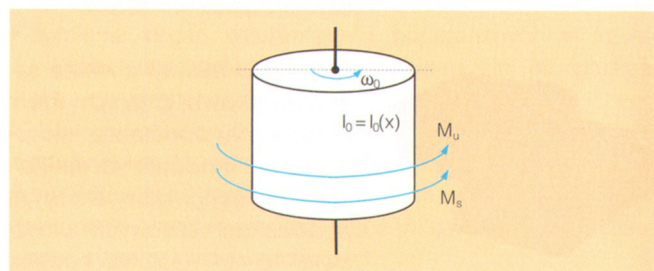


Rys. 1 Schemat żurawia z czteroprzegubowym układem wypadowym

Odpowiednie badania teoretyczne i symulacyjne wykonane zostały dla żurawia laboratoryjnego z czteroprzegubowym układem wypadowym o udźwigu $Q = 5000$ N i zasięgu $R = 6$ m zainstalowanego w Zakładzie Maszyn Roboczych i Napędów Hydraulicznych Politechniki Łódzkiej. Schemat żurawia pokazano na rys. 1.

Modele mechanizmów

Przy pominięciu sztywności elementów układu wypadowego można potraktować części mechaniczne mechanizmów obrotu i wypadu jako układy jednomasowe, których parametry uzależnione zostały od aktualnego położenia elementów układu, określonego długością x siłownika wypadu (rys. 1).



Rys. 2 Model części mechanicznej mechanizmu obrotu

Model mechanizmu obrotu

Model uproszczony mechanizmu obrotu zredukowany do osi obrotu żurawia przedstawiono na rys. 2.

I_o – masowy moment bezwładności części obrotowej jako funkcja długości x siłownika wypadu żurawia;

ω_o – prędkość kątowna części obrotowej żurawia;

M_s – moment napędowy silników mechanizmu obrotu zredukowany do osi obrotu;

M_u – moment oporu części obrotowej.

Przy skojarzonych ruchach obrotu i wypadu zmiana ulega masowy moment bezwładności części obrotowej I_o , zatem do opisu matematycznego modelu należy zastosować twierdzenie o pochodnej krętu układu względem osi obrotu żurawia.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt}(I_o \cdot \omega_o) &= M_s + M_u \\ \frac{d}{dt}(I_o \cdot \omega_o) &= \frac{dI_o}{dt} \omega_o + I_o \frac{d\omega_o}{dt} \end{aligned} \right\} (1)$$

Moment I_o jest funkcją długości x siłownika wypadu, zatem można jego pochodną względem czasu dI_o/dt określić zależnością (2).

$$\frac{dI_o}{dt} = \frac{dI_o}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{dI_o}{dx} \cdot v \quad (2)$$

v – prędkość siłownika wypadu żurawia w miejscu jego połączenia z konstrukcją.

Podstawiając (2) do (1) i dokonując prostych przekształceń, można wyznaczyć moment napędowy M_s potrzebny do realizacji założonego ruchu roboczego.

$$M_s = -M_u + I_o \frac{d\omega_o}{dt} + \frac{dl_o}{dx} \cdot v \cdot \omega \quad (3)$$

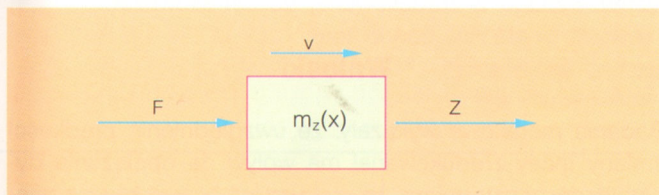
Dla dokładnego określenia wartości momentu napędowego M_s niezbędna jest znajomość zależności momentu bezwładności I_o oraz jego pochodnej dl_o/dx od długości x siłownika wypadu.

W wielu przypadkach prędkość zmiany momentu bezwładności dl_o/dt jest traktowana jako pomijalnie mała. Wówczas opis matematyczny rozważanego zagadnienia przyjmuje postać uproszczoną (4).

$$\left. \begin{aligned} I_o \cdot \frac{d\omega_o}{dt} &= M_s + M_u \\ M_s &= -M_u + I_o \frac{d\omega_o}{dt} \end{aligned} \right\} (4)$$

Model mechanizmu wypadu

Model uproszczony mechanizmu wypadu zredukowany do siłownika wypadu w miejscu jego połączenia z konstrukcją części obrotowej pokazano na rys. 3.



Rys. 3 Model części mechanicznej mechanizmu wypadu

m_z – zredukowana do osi siłownika wypadu masa elementów ruchomych, związanych z mechanizmem wypadu jako funkcja długości x siłownika;

v – prędkość siłownika wypadu żurawia w miejscu połączenia z konstrukcją;

F – siła napędowa mechanizmu wypadu zredukowana do osi siłownika;

Z – siła oporu mechanizmu wypadu zredukowana do osi siłownika;

Przy ruchu mechanizmu wypadu zmianie ulega masa zredukowana m_z , która jest wyznaczona przy wykorzystaniu zasady zachowania energii kinetycznej wszystkich elementów ruchomych związanych z układem wypadowym. Wykorzystując tę właściwość, można wykazać, że opis matematyczny modelu przyjmuje postać (5).

$$m_z \frac{dv}{dt} + \frac{1}{2} \cdot \frac{dm_z}{dt} \cdot v = F + Z \quad (5)$$

Masa zredukowana m_z jest funkcją długości x siłownika wypadu, zatem jej pochodną względem czasu dm_z/dt można określić zależnością (6).

$$\frac{dm_z}{dt} = \frac{dm_z}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{dm_z}{dx} \cdot v \quad (6)$$

Podstawiając (6) do (5) i dokonując prostych przekształceń, można wyznaczyć siłę napędową F potrzebną do realizacji założonego ruchu roboczego.

$$F = -Z + m_z \cdot \frac{dv}{dt} + \frac{dm_z}{dx} \cdot v^2 \quad (7)$$

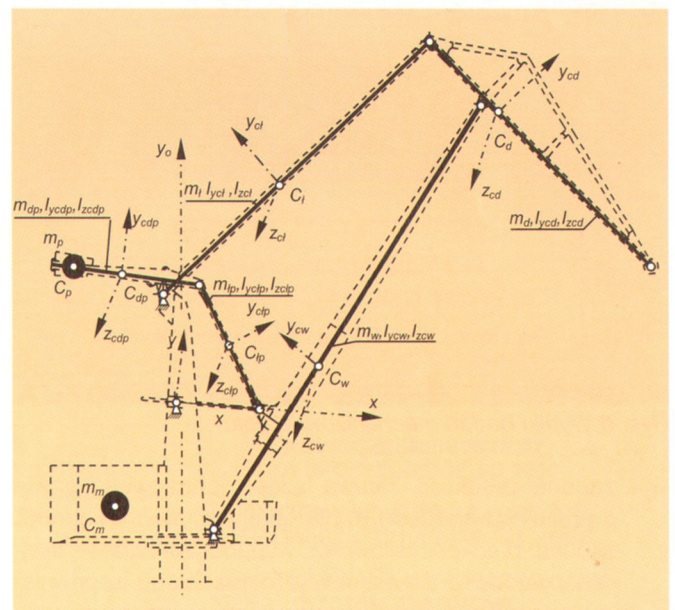
Dla dokładnego określenia wartości siły napędowej F niezbędna jest znajomość zależności masy zredukowanej m_z oraz jej pochodnej dm_z/dx od długości x siłownika wypadu.

W wielu przypadkach prędkość zmiany masy zredukowanej dm_z/dt jest traktowana jako pomijalnie mała. Wówczas opis matematyczny rozważanego zagadnienia przyjmuje postać uproszczoną (8), zgodnie z zastosowaniem II zasady dynamiki Newtona dla punktów materialnych o stałej masie.

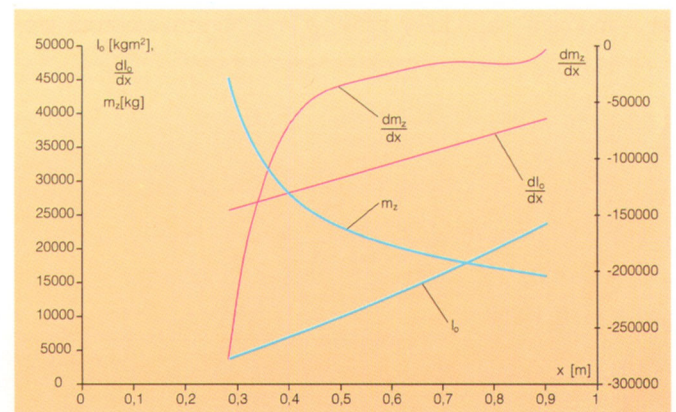
$$\left. \begin{aligned} m_z \cdot \frac{dv}{dt} &= F + Z \\ F &= -Z + m_z \cdot \frac{dv}{dt} \end{aligned} \right\} (8)$$

Parametry modeli

Na podstawie cech geometrycznych i parametrów części obrotowej żurawia laboratoryjnego, której schemat pokazano na rys. 4, ułożone zostały procedury obliczeniowe



Rys. 4 Schemat części obrotowej żurawia laboratoryjnego



Rys. 5 Zależność parametrów masowych żurawia od długości x siłownika wypadu

dla wyznaczenia wartości parametrów masowych obrotu i wypadu dla dowolnej wartości zmiennej x .

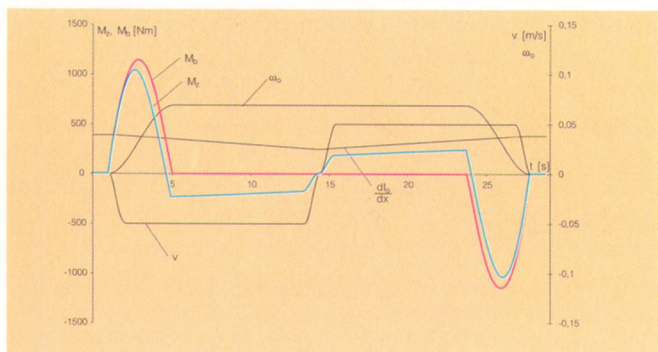
Procedury umożliwiają określenie masowego momentu bezwładności części obrotowej I_0 oraz jego pochodnej dI_0/dx , jak również masy zredukowanej m_z oraz jej pochodnej dm_z/dx w funkcji długości x siłownika wypadu. Odpowiednie wykresy pokazano na rys. 5.

Badania symulacyjne

Przeprowadzone zostały badania symulacyjne ruchów roboczych w celu określenia wpływu zmienności parametrów masowych na obciążenia dynamiczne mechanizmu obrotu i wypadu żurawia laboratoryjnego.

Badania mechanizmu obrotu

Zbadany został ruch roboczy mechanizmu obrotu obejmujący rozruch, ruch ustalony i hamowanie przy całkowitym kącie obrotu równym 180° w skojarzeniu z ruchem mechanizmu wypadu. W pierwszej połowie ruchu w zakresie kąta obrotu od zera do 90° wysięg żurawia maleje się od maksymalnego do minimalnego, w drugiej połowie ruchu w zakresie kąta obrotu od 90° do 180° wysięg rośnie ponownie do wartości maksymalnej. Przebiegi czasowe zbadanych wielkości pokazano na rys. 6.



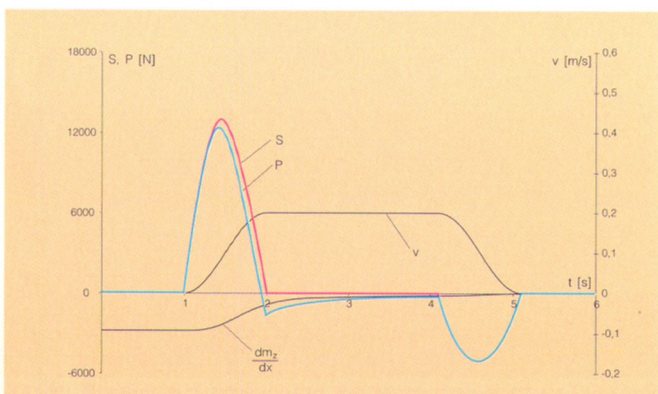
Rys. 6 Wyniki badań mechanizmu obrotu

ω_0 – zadana prędkość kątowa części obrotowej żurawia o przebiegu niezbędnym dla obrotu żurawia o kąt 180° ,

v – zadana prędkość siłownika wypadu żurawia w miejscu połączenia z konstrukcją o przebiegu zapewniającym realizację omówionego ruchu roboczego,

dI_0/dx – pochodna masowego momentu bezwładności części obrotowej względem długości x siłownika wypadu,

M_z – moment napędowy silników mechanizmu obrotu zre-



Rys. 7 Wyniki badań mechanizmu wypadu

dukowany do osi obrotu żurawia ($M_z = M_s$) obliczony dla modelu pełnego wg zależności (3),

M_b – moment napędowy silników mechanizmu obrotu zredukowany do osi obrotu żurawia ($M_b = M_s$) obliczony dla modelu uproszczonego wg zależności (4).

W badaniach przyjęto zerową wartość momentu obciążenia M_u .
Badania mechanizmu wypadu

Zbadany został ruch roboczy mechanizmu wypadu obejmujący rozruch, ruch ustalony i hamowanie siłownika wypadu przy zmianie wysięgu od maksymalnego do minimalnego. Przebiegi czasowe zbadanych wielkości fizycznych pokazano na rys. 7.

v – zadana prędkość siłownika wypadu żurawia w miejscu połączenia z konstrukcją o przebiegu zapewniającym zmianę wysięgu od minimalnego do maksymalnego w ruchu roboczym;

dm_z/dx – pochodna masy zredukowanej układu wypadowego względem długości x siłownika wypadu;

P – siła napędowa mechanizmu wypadu zredukowana do osi siłownika ($P = F$), obliczona dla modelu pełnego wg zależności (7);

S – siła napędowa mechanizmu wypadu zredukowana do osi siłownika ($S = F$), obliczona dla modelu uproszczonego wg zależności (8),

W badaniach przyjęto zerową wartość siły oporu mechanizmu wypadu Z zredukowanej do osi siłownika.

Wnioski

Badania modelowe wykazały, że uwzględnienie prędkości zmiany masy zredukowanej ma wpływ na obciążenia dynamiczne, występujące w elementach napędowych mechanizmu obrotu i wypadu żurawia.

W mechanizmie obrotu różnice momentu napędowego zredukowanego do osi obrotu żurawia są znaczące i sięgają 20% wartości maksymalnych. W mechanizmie wypadu różnice siły napędowej zredukowanej do osi siłownika są rzędu 13% wartości maksymalnych.

Wpływ prędkości zmian masowego momentu bezwładności I_0 części obrotowej na wielkość momentu napędowego mechanizmu obrotu zaznacza się silnie przy dużych prędkościach obrotu i wypadu (jest proporcjonalny do ich iloczynu), a więc w okresach ruchu ustalonego obu mechanizmów.

Wpływ prędkości zmian masy zredukowanej m_z na wielkość siły napędowej zredukowanej do osi siłownika mechanizmu wypadu zależy od kwadratu prędkości siłownika v oraz wartości pochodnej dm_z/dx i jest największy w okresach ruchu ustalonego mechanizmu wypadu. ■

Literatura

[1] Leyko J.: *Dynamika Układów Materialnych*. PWN, Warszawa 1959.

[2] Borkowski W., Konopka S., Prochowski L.: *Dynamika maszyn roboczych*. WNT, Warszawa 1996.

[3] Bednarski S., Kosucki A.: *Analiza obciążeń żurawia w ruchu obrotowym i wypadowym*. Maszyny i systemy transportowe. Politechnika Szczecińska, Szczecin 2000 (s. 15-22).

[4] Tomczyk J. i in.: *Eliminacja wahań ładunku i pozycjono-*

wanie dźwignic o ruchach obrotowych i wypadowych sterowanych za pomocą mikroprocesorów. Prace dla komitetu badań naukowych. Łódź 1999.

The influence of the reduced mass variation on dynamics of slew and jib mechanisms of the level luffing jib crane

In the level luffing jib crane the horizontal load transport is leaded by simultaneous work of slew and jib mechanisms. The turn-part moment of inertia and the reduced to the axis of servo mass of moving elements connected with jib mechanism are varying. When this fact is taken into consideration in dynamic modelling the mathematical description of the model is more complicated. In the paper there is shown how to take into account the speed of variation of the reduced masses connected with slew and jib mechanisms and what is its influence on their dynamic overloads.

dr inż. Jacek Cink
Zakład Maszyn Roboczych i Napędów Hydraulicznych
Instytut Konstrukcji Maszyn
na Politechnice Łódzkiej

Recenzował
prof. dr hab. inż. Marek Trombski
Politechnika Łódzka
filia Bielsko-Biała



Oferta:

- ▶ Projektowanie
- ▶ Engineering
- ▶ Konstrukcje stalowe
- ▶ Silosy
- ▶ Urządzenia do transportu materiałów sypkich
- ▶ Silosy samorozładowcze

Gałęzie przemysłu:

- ▶ cementowo-wapienniczy
- ▶ spożywczy
- ▶ wydobywczy
- ▶ chemiczny
- ▶ energetyczny

WTW Engineering

WTW ENGINEERING

Maszyny i Urządzenia Przemysłowe Sp. z o.o.
ul. Tarnogajska 18, 50-512 Wrocław
tel. +48 71 782 50 20, fax +48 71 782 50 21
e-mail: info@wtw-engineering.com.pl
www.wtw-engineering.com.pl

EMAG® CENTRUM ELEKTRYFIKACJI
I AUTOMATYZACJI GÓRNICTWA
JEDNOSTKA BADAWCZO-ROZWOJOWA

40-189 Katowice, ul. Leopolda 31
tel. +48/32/2007-700, fax +48/32/2007-701, 2007-704,
e-mail: centrum@emag.katowice.pl

ELEKTROTECHNIKA, ENERGOELEKTRONIKA, AUTOMATYZACJA, BEZPIECZEŃSTWO

SYSTEMY KONTROLNO-POMIAROWE

do ciągłej kontroli jakości węgla surowego i produktów jego wzbogacania, kontroli masy ciał sypkich oraz wybranych parametrów technologicznych, m.in.:

Popiolomierz RODOS-U (bez izotopu)

do pomiaru zawartości popiołu w węglu w oparciu o jego naturalną promieniotwórczość gamma;

(certyfikat do pracy w podziemiach kopalń)

Gęstościomierz izotopowy

do pomiaru gęstości cieczy ciężkiej, mieszanin pyłowo-powietrznych itp.;



Przekształtniki tyrystorowe z komutacją zewnętrzną typu KT6

sprawną, płynną regulacją prędkości obrotowej napędów z silnikami asynchronicznymi pierścieniowymi, znaczne oszczędności energii elektrycznej

Mikroprocesorowy system sterowania przenośników i urządzeń załadunkowych składu typu MS-UZS

nowoczesny system sterowania, monitorowania i wizualizacji pracy przenośników taśmowych, podajników zgrzeblowych i urządzeń załadunkowych składu

Zespół kompensacyjny typu ZK-6/2

w pełni automatyczna kompensacja mocy biernej szczególnie w podziemnych sieciach elektroenergetycznych o napięciu 6 kV, w pomieszczeniach niemietanowych i metanowych o stopniu zagrożenia niebezpieczeństwem wybuchu „a”

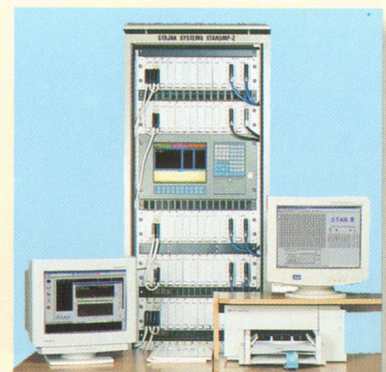
Kompleksowa ochrona ziemnozwarciowa sieci niskich napięć z izolowanym punktem neutralnym, próżniowa aparatura łączeniowa sterownicza – styczniki, rozłączniki i łączniki

NOWOCZESNE SYSTEMY DYSPOZYTORSKIE SD 2000

SYSTEMY KONTROLI ZAGROŻEŃ SEJSMICZNYCH ARAMIS-M, ARES

ZINTEGROWANY ISKROBEZPIECZNY SYSTEM ALARMOWO-ROZGŁOSZENIOWY I METANOWO-POŻAROWY STARSMP-Z

z czujnikami stężenia metanu, tlenu i dwutlenku węgla, zawartości tlenu w powietrzu, temperatury, różnicy ciśnień oraz sygnalizatoro-telefonami



Skorzystaj z naszej wiedzy!