

**SŁAWOMIR BEDNARSKI, ANDRZEJ KOSUCKI**

Zakład Maszyn Roboczych i Napędów Hydraulicznych  
Politechnika Łódzka

## **ANALIZA OBCIĄŻEŃ ŻURAWIA W RUCHU OBROTOWYM I WYPADOWYM**

Słowa kluczowe: automatyzacja, maszyny robocze, żurawie, dynamika.

Streszczenie: W referacie przedstawiono wyniki analizy obciążeń żurawia portowego. Wyniki uzyskane przy wykorzystaniu programu komputerowego będącego częścią systemu analizującego obciążenia mechanizmów obrotu i wypadu w zautomatyzowanych cyklach roboczych.

### **1. WSTĘP**

Postępujący rozwój napędów i sterowań maszyn roboczych umożliwiające ciągłe sterowanie prędkością ruchu oraz dowolne kształtowanie charakteru ich przebiegów stwarza możliwości zautomatyzowania pracy tych maszyn. W Zakładzie MRiNH Politechniki Łódzkiej prowadzone są prace nad automatyzacją pracy maszyn roboczych. W ramach prowadzonych badań zbudowano rzeczywiste zautomatyzowane układy napędowe dla wszystkich mechanizmów suwnicy pomostowej. Mechanizm podnoszenia wyposażony był w układ pozycjonowania ładunku oraz układ regulacji stałej mocy. Dla mechanizmów jazdy mostu i wózka suwnicy pomostowej zbudowano układy pozycjonowania realizując funkcje sterujące, tak aby wytłumić wahania ładunku oraz wyeliminować ukosowanie mostu suwnicy. Kolejnym etapem prac była analiza pracy żurawia portowego gdzie dla jego głównych mechanizmów roboczych odpowiadających za ruch ładunku w płaszczyźnie poziomej (mechanizmu obrotu i wypadu) opracowano układy pozycjonowania i eliminacji wahań ładunku. Badania te prowadzono w ramach grantu pt.: „Eliminacja wahań ładunku i pozycjonowanie dźwignic o

ruchach obrotowych i wypadowych sterowanych za pomocą mikroprocesorów”. Miały one na celu rozpoznanie możliwości zastosowania opracowanej dla suwnic pomostowych technologii w zakresie uzyskania cech automatycznego prowadzenia ładunku z eliminacją jego wahań i pozycjonowaniem dla maszyn o ruchach wypadowych i obrotowych (żurawie). Jako podstawowy obiekt służący do badań wybrano rzeczywisty portowy żuraw wypadowy, zbudowany ostatnio dla portu w Gdyni i zainstalowany na Nabrzeżu Szwedzkim. W żurawiu tym zostały zainstalowane napędy elektro-mechaniczne zasilane z elektro-energetycznych przetwornic częstotliwości, umożliwiające płynne sterowanie prędkościami ruchów roboczych.

Jednym z zasadniczych problemów pracy było rozpoznanie dynamiki maszyny dla ruchów obrotowego i wypadowego. W tym celu opracowano własny, specjalny program komputerowy z wizualizacją graficzną dla wyznaczania obciążeń oraz parametrów masowych dla mechanizmów obrotu i wypadu.

## 2. ANALIZA OBCIĄŻEŃ ŻURAWIA

Na rys. 1. przedstawiono, schemat obciążeń mechanizmu obrotu i wypadu żurawia.

Program umożliwia wyznaczanie wypadkowej siły  $Z$  w śrubie napędowej mechanizmu wypadu w całym zakresie położen wysięgnika.

Siłę tą wyznaczono uwzględniając następujące obciążenia:

- ciężary elementów układu wypadowego:

$G_p$  – przeciwwagi,

$G_{dp}$  – dźwigni przeciwwagi,

$G_l$  – łącznika,

$G_w$  – wspory,

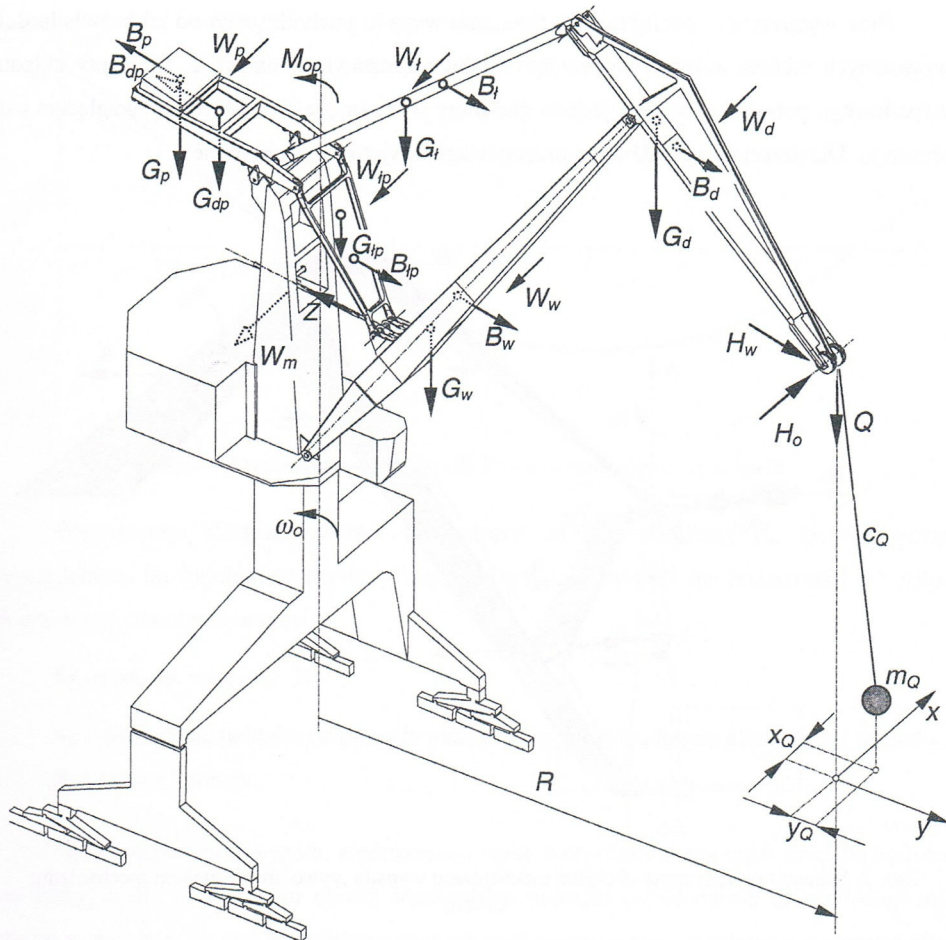
$G_d$  – dzioba,

$G_{lp}$  – łącznika przeciwwagi.

- ciężar ładunku  $Q$ ,

- oddziaływanie spowodowane wychyleniem wiotko podwieszonoego ładunku:

$$H_w = c_Q \cdot y_Q$$

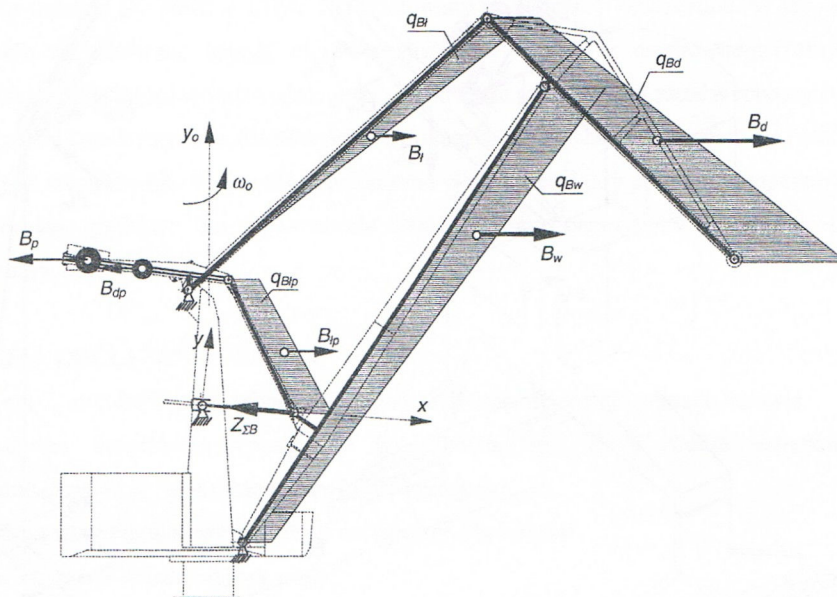


Rys. 1. Schemat obciążeń mechanizmów obrotu i wypadu żurawia

$H_w$  – siła pozioma działająca w płaszczyźnie wypadu,  
 $c_Q$  – sztywność pozioma zawieszenia ładunku,  
 $y_Q$  – odchylenie ładunku od pionu mierzone w płaszczyźnie wypadu.

- parcie wiatru na elementy układu wypadowego w płaszczyźnie jego pracy:  
 $W_p$  – przeciwwagi,  $W_l$  – łącznika,  $W_w$  – wspory,  $W_d$  – dzioba,  $W_{lp}$  – łącznika przeciwwagi.
- siły bezwładności wywołane ruchem obrotowym pochodzące od mas elementów układu wypadowego:  
 $B_p$  – przeciwwagi,  $B_{dp}$  – dźwigni przeciwwagi,  $B_l$  – łącznika,  $B_w$  – wspory,  $B_d$  – dzioba,  $B_{lp}$  – łącznika przeciwwagi.

Przy wyznaczaniu obciążenia mechanizmu wypadu pochodzącego od sił bezwładności wywołanych ruchem obrotowym przyjęto model przedstawiony na rys. 2. Elementy układu wypadowego potraktowano jako jednorodne pręty wykonujące ruch obrotowy względem osi obrotu  $y_0$ . Dla przeciwwagi i dźwigni przeciwwagi przyjęto masy skupione.



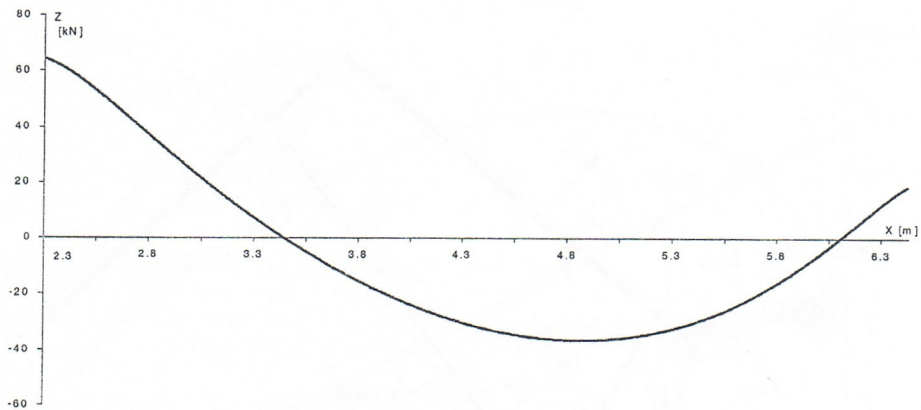
Rys. 2. Schemat wyznaczania obciążeń mechanizmu wypadu wywołanych ruchem mechanizmu obrotu

Program umożliwia wyznaczanie obciążeń mechanizmu wypadu dla różnych udźwignów i prędkości obrotowych w całym zakresie pracy.

Na rys.3. przedstawiono przykładowy przebieg siły wypadkowej w śrubie  $Z$  w zależności od jej długości  $x$ , proporcjonalnej do wysięgu żurawia dla udźwigu  $Q = 160$  kN i stałej prędkości mechanizmu obrotu  $\omega_0$ .

Można zauważyć, że w czasie zmiany wysięgu przy ruchu obrotowym śruba podlega rozciąganiu i ściskaniu

Dla mechanizmu obrotu program umożliwia określanie zredukowanego momentu oporów  $M_0$  działającego w osi obrotu żurawia, wywołanego parciem wiatru na powierzchnie elementów żurawia biorących udział w ruchu obrotowym.



Rys. 3. Przykładowy przebieg siły  $Z$  w śrubie mechanizmu wypadu

Wyznaczono również moment pochodzący od siły poziomej  $H_0$  spowodowanej wychyleniem lin ładunku w płaszczyźnie pionowej prostopadłej do płaszczyzny wypadu. Wartość tego momentu wynosi

$$M_H = M_0 \cdot R = c_Q \cdot x_Q \cdot R$$

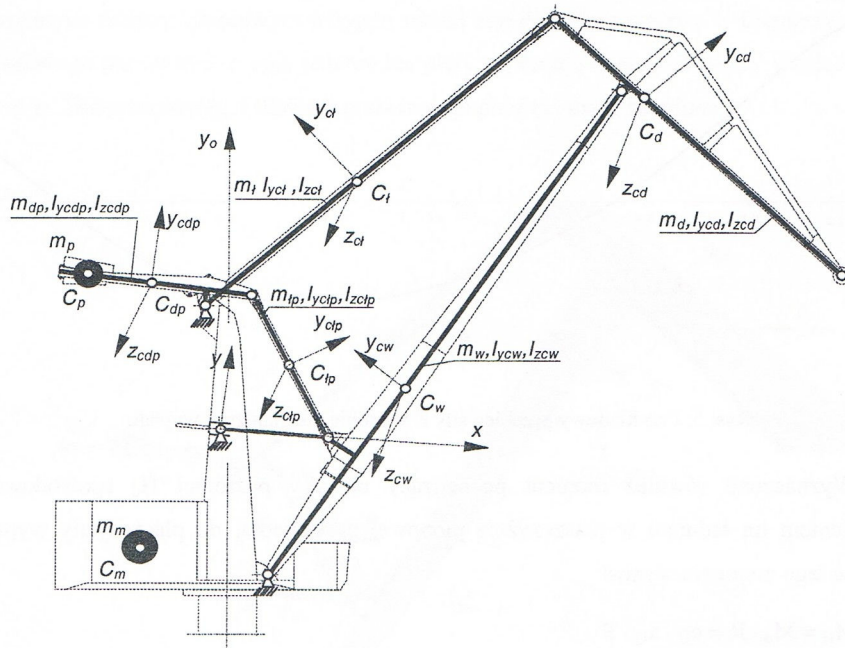
$x_Q$  – odchylenie ładunku od pionu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny wypadu,  
 $R$  – wysięg żurawia.

Dla mechanizmu wypadu zredukowano masy wszystkich elementów mechanizmu do osi śruby, a dla mechanizmu obrotu wyznaczono moment bezwładności  $I_0$  względem osi obrotu  $y_0$  żurawia. Na rys. 4. przedstawiono schemat wyznaczania parametrów masowych dla mechanizmu obrotu i wypadu.

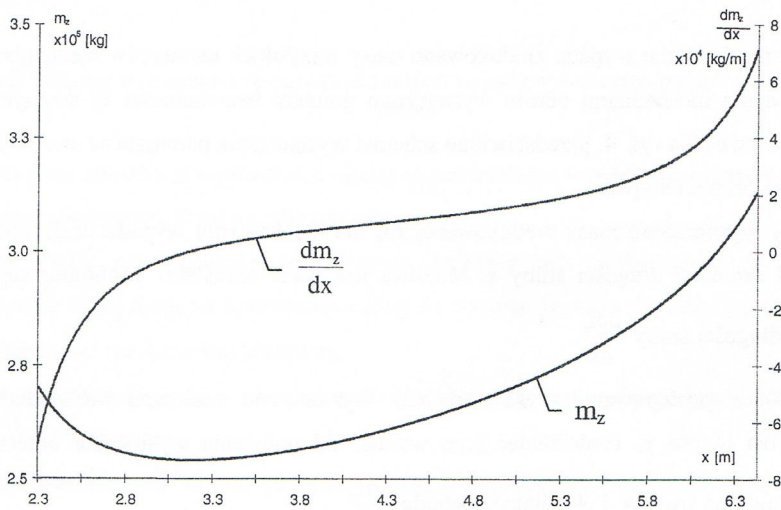
Przy wyznaczaniu masy zredukowanej  $m_z$  dla mechanizmu wypadu uzależniono jej wartość od aktualnej długości śruby  $x$ . Możliwe jest także określenie pochodnej tej masy względem długości śruby  $\frac{dm_z}{dx}$ .

Podobne postępowanie wykonano przy wyznaczaniu momentu bezwładności  $I_0$  względem osi obrotu  $y_0$  uzależniając jego wartość od położenia wysięgnika określonego aktualną długością śruby  $x$  i określając pochodną  $\frac{dI_0}{dx}$ .

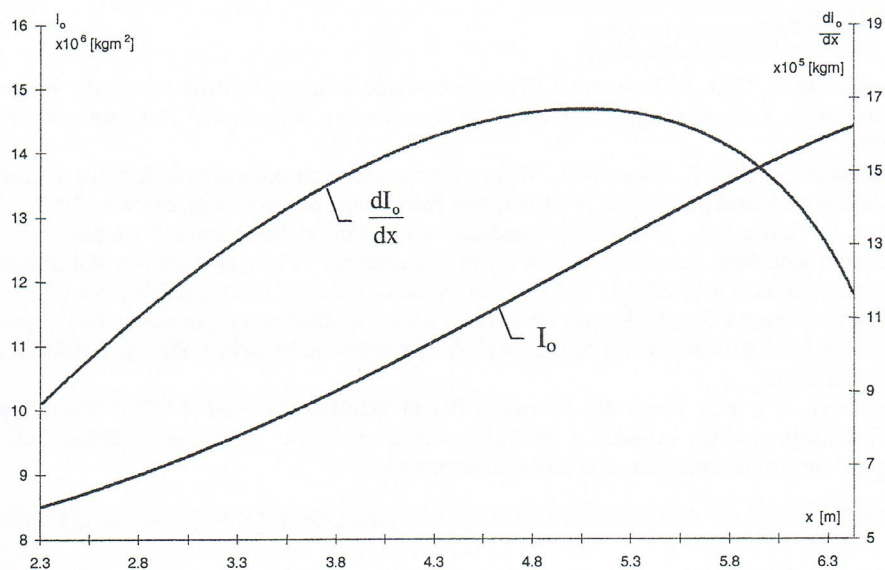
Na rys. 5. i 6. przedstawiono przebiegi tych wielkości w funkcji długości śruby  $x$ , proporcjonalnej do wysięgu żurawia.



Rys. 4. Schemat wyznaczania parametrów masowych mechanizmu obrotu i wypadu



Rys. 5. Przebieg masy zredukowanej  $m_z$  i jej pochodnej  $\frac{dm_z}{dx}$  w zależności od długości śruby  $x$



Rys. 6. Przebieg momentu bezwładności  $I_o$  i jego pochodnej  $\frac{dI_o}{dx}$  w zależności od długości śruby  $x$

Wyniki badań przedstawione na rysunkach 5 i 6 wskazują, że układ dynamiczny złożony z mechanizmów obrotu i wypadu żurawia jest układem o zmiennych parametrach. Jest to jednak układ stacjonarny, ponieważ zmienne parametry masowe zostały uzależnione od zmiennej stanu  $x$ . Parametr układu zależny od zmiennej stanu prowadzi do nieliniowego układu dynamicznego.

### 3. PODSUMOWANIE

Przedstawiona analiza obciążeń oraz parametrów masowych dla mechanizmów obrotu i wypadu rozpatrywanego żurawia umożliwiła zbadanie na drodze symulacyjnej modelu pracującego w porcie, rzeczywistego żurawia

Opracowanie programu komputerowego do wykonywania obliczeń parametrów statycznych i dynamicznych żurawia pozwoliło opracować metodę kompensacji zakłóceń powodowanych działaniem wiatru.

**LITERATURA**

1. Bednarski S., Cink J., Tomczyk J.: Pozycjonowanie ładunku w ruchu roboczym żurawia portowego. X Konferencja „Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych” Zakopane, Styczeń 1997.
2. Bednarski S., Cink J., Tomczyk J.: Wpływ parcia wiatru na prowadzenie ładunku w ruchu roboczym żurawia portowego. Wydawnictwa Politechniki Szczecińskiej, czerwiec 1997.
3. Cink J., Tomczyk J.: „Rozwiązanie podstawowych problemów transportu wiotko podwieszonych ładunków suwnicami sterowanymi numerycznie”. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: TRANSPORT z. 33 Nr kol. XXXX, Gliwice, Ustroń, październik 1998.
4. Cink J., Tomczyk J.: „Zakłócenia działaniem wiatru w automatycznym sterowaniu maszyn roboczych”. XIII Konferencja Naukowa Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych. Zakopane, styczeń 2000.
5. Tomczyk J. i inn.: Praca dla Komitetu Badań Naukowych - Nr 7 T07C 001 15 pt. „Eliminacja wahań ładunku i pozycjonowanie dźwignic o ruchach obrotowych i wypadowych sterowanych za pomocą mikroprocesorów”

**THE ANALYSE OF THE LOADS OF THE JIB CRANE DURING THE ROTATION AND LUFFING MOTION**

## Summary

In the paper the results of analyse of the loads of the jib crane are presented. These results are obtained by using the computer program which is the part of the system for analyse of the loads of the slewing and luffing mechanisms during automatic duty cycles.