

**SŁAWOMIR HALUSIAK**

Zakład Maszyn Roboczych i Napędów Hydraulicznych  
Politechnika Łódzka

## **BADANIA WPLYWU STRUKTURY I PARAMETRÓW UKŁADU REGULACJI PRĘDKOŚCI SILNIKA HYDROSTATYCZNEGO ZE STEROWANIEM WTÓRNYM NA DYNAMIKĘ MECHANIZMU PODNOSZENIA**

Słowa kluczowe: mechanizm podnoszenia, napęd hydrostatyczny, sterowanie wtórne, regulacja prędkości, sieć stałościśnieniowa.

Streszczenie: W referacie przedstawiono model mechanizmu podnoszenia napędzanego silnikiem hydrostatycznym wyposażonym w układ regulacji prędkości, zasilanym z sieci stałościśnieniowej. Przeprowadzono badania symulacyjne mechanizmu dla typowych przypadków pracy. Do regulacji prędkości zastosowano regulator PID oraz PID nieliniowy. Dokonano oceny wpływu struktury regulatora oraz nastaw regulatora na własności dynamiczne mechanizmu podnoszenia. W ocenie wzięto pod uwagę przeciążenia cięgien, stabilność pracy oraz jakość regulacji.

### **1. WSTĘP**

Można zaobserwować stopniowy rozwój napędów hydrostatycznych zasilanych ze stałościśnieniowych sieci hydraulicznych. Zasilanie centralne wielu odbiorników z jednego źródła stałego ciśnienia przynosi znaczne oszczędności, zapewnia dużą trwałość jednostek hydrostatycznych, zmniejszenie wymaganej chłonności jednostkowej silników oraz umożliwia odzysk energii przy pracy pompowej silników.

Omawiane napędy znajdują zastosowanie głównie w zautomatyzowanych liniach obróbkowych, w liniach montażowych wielkoseryjnej produkcji potokowej, w przemyśle ciężkim

oraz w mechanizmach pokładowych jednostek pływających. Należy tu wymienić przede wszystkim różnego rodzaju wciągarki jak np. wciągarki cumownicze i urządzenia kotwiczne, wciągarki ładunkowe i urządzenia trapowe, wciągarki trałowe, kablowe oraz żurawie [5].

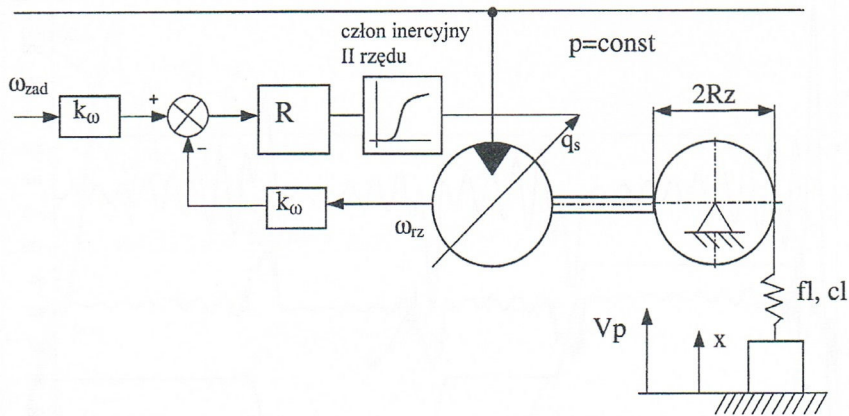
Przedmiotem badań, przedstawionych w referacie, jest wciągarka laboratoryjna zainstalowana w laboratorium Zakładu MRiNH Politechniki Łódzkiej [2]. Na drodze symulacji komputerowej zamodelowano zasilanie silnika hydrostatycznego wciągarki ze stałociśnieniowej sieci hydraulicznej [3,4]. Silnik wyposażono w regulator prędkości typu PID; nastawnik zmiany chłonności zamodelowano jako człon inercyjny II rzędu. Przeprowadzono symulację pracy zamodelowanego układu dla typowych przypadków obciążenia oraz dla przykładowego cyklu pracy wciągarki. Za cel postawiono określenie wpływu struktury układu regulacji oraz nastaw regulatora prędkości na zachowanie dynamiczne wciągarki. Jako kryterium oceny przyjęto: stabilność pracy, jakość regulacji oraz obciążenia dynamiczne w układzie.

## 2. MODEL UKŁADU

Opracowany został model dynamiczny układu napędowego mechanizmu podnoszenia wraz z generatorem stałego ciśnienia. Generator został opisany we wcześniejszych pracach [1,4] i nie był przedmiotem badań. W modelu mechanizmu podnoszenia uwzględniono cechy napędu hydrostatycznego, jak ciśnienie w sieci hydraulicznej, przecieki i podatność obwodu hydraulicznego, opory ruchu silnika hydrostatycznego, oraz własności części mechanicznej, jak sprężystość lin, tłumienie i sprawność, moment bezwładności elementów obrotowych mechanizmu zredukowany do wału silnika hydrostatycznego, przełożenie mechanizmu, sygnały napięciowe członów regulatora ciśnienia, sygnały napięciowe członów regulatora prędkości.

W opisie matematycznym modelu wykorzystano równania ruchu Newtona dla elementów posiadających masy, równania bilansu przepływu w obwodzie hydraulicznym oraz zależności kinematyczne. Wybrano następujące zmienne stanu modelu:  $\omega_s$  – prędkość kątową silnika hydrostatycznego,  $d_s$  – sygnał członu różniczkującego w regulatorze PID,  $i_s$  – sygnał członu całkującego w regulatorze PID,  $q_s$  – chłonność jednostkową silnika hydrostatycznego,  $q_{sp}$  – zmienną pomocniczą członu inercyjnego II rzędu.

Wielkością sterującą jest zadana prędkość kątowna wału silnika hydrostatycznego  $\omega_z$ . Opis modelu mechanizmu podnoszenia przedstawiono w przestrzeni zmiennych stanu. Model mechanizmu przedstawiono na rysunku 1.



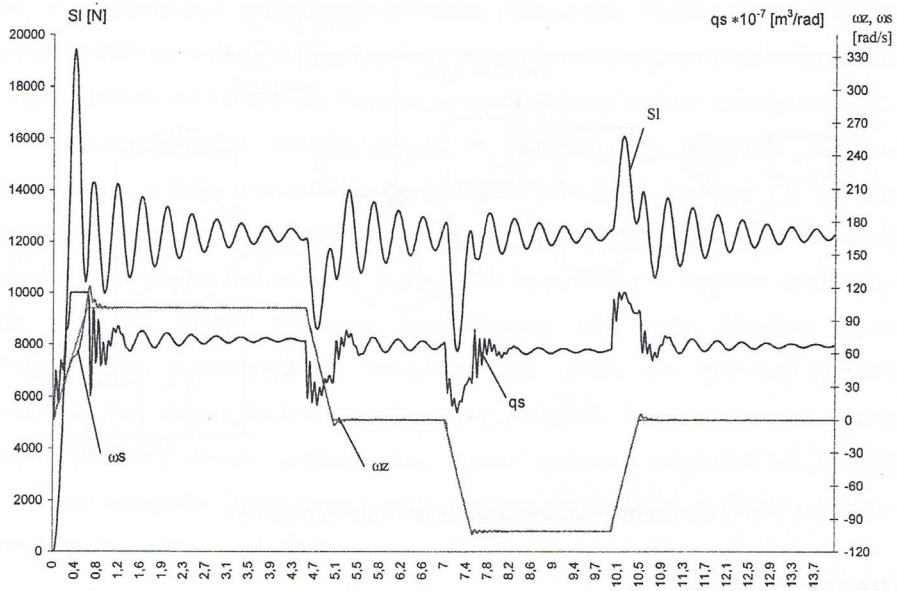
Rys. 1. Model mechanizmu podnoszenia. Układ regulacji prędkości

### 3. BADANIA SYMULACYJNE

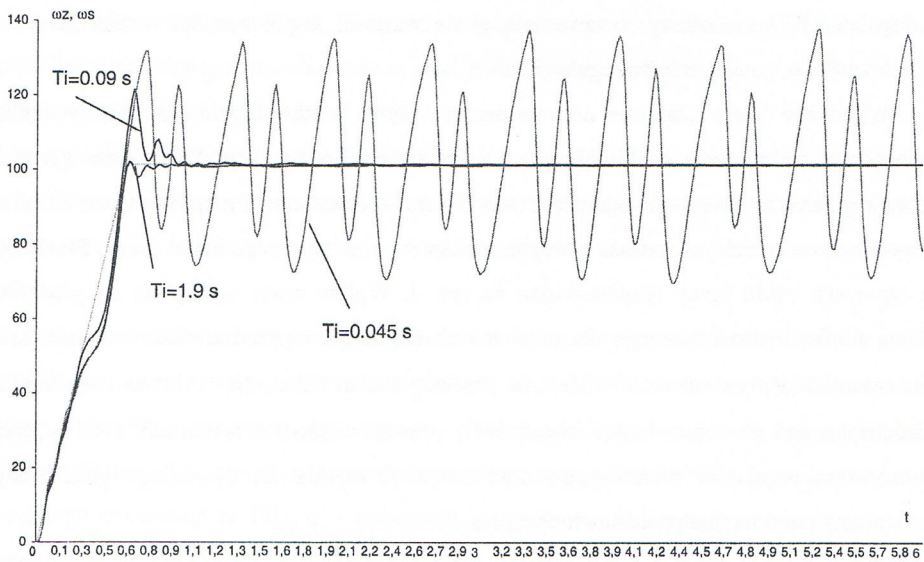
Badania symulacyjne przeprowadzono dla mechanizmu podnoszenia wyposażonego w dwa rodzaje regulatorów prędkości:

- regulator PID
- regulator PID nieliniowy (o zmieniającej się wartości współczynnika wzmocnienia w zależności od znaku uchybu regulacji).

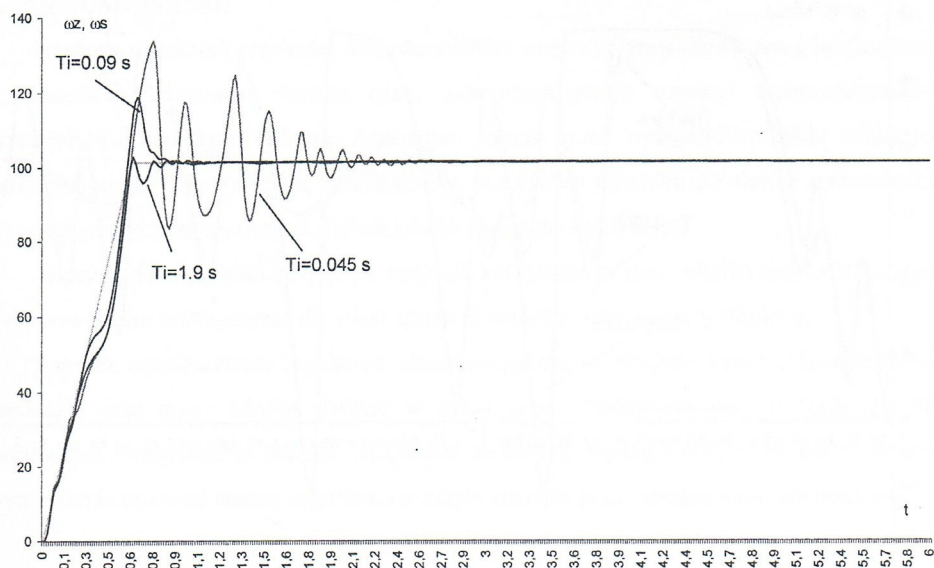
Wykonano badania mające na celu ocenę wpływu nastaw regulatorów na dynamikę mechanizmu podnoszenia, stabilność pracy silnika i jakość regulacji. Wyjściowe wartości nastaw regulatorów dobrano zgodnie z zasadą Ziglera – Nickolsona. Przeprowadzono badania dla przypadku rozruchu z podłoża z więzią nienapiętą oraz typowego cyklu pracy. Przebiegi dla typowego cyklu pracy przedstawiono na rys. 2. Wpływ czasu zdwojenia na prędkość kątową silnika hydrostatycznego dla omawianych regulatorów przedstawiono na rysunkach 3÷4, natomiast wpływ czasu zdwojenia na przebieg zmian chłonności jednostkowej silnika hydrostatycznego dla omawianych regulatorów przedstawiono na rysunkach 5÷6. Wpływ zastosowania regulatora nieliniowego oraz czasu zdwojenia na dynamikę cyklu pracy mechanizmu podnoszenia przedstawiono na rys. 7.



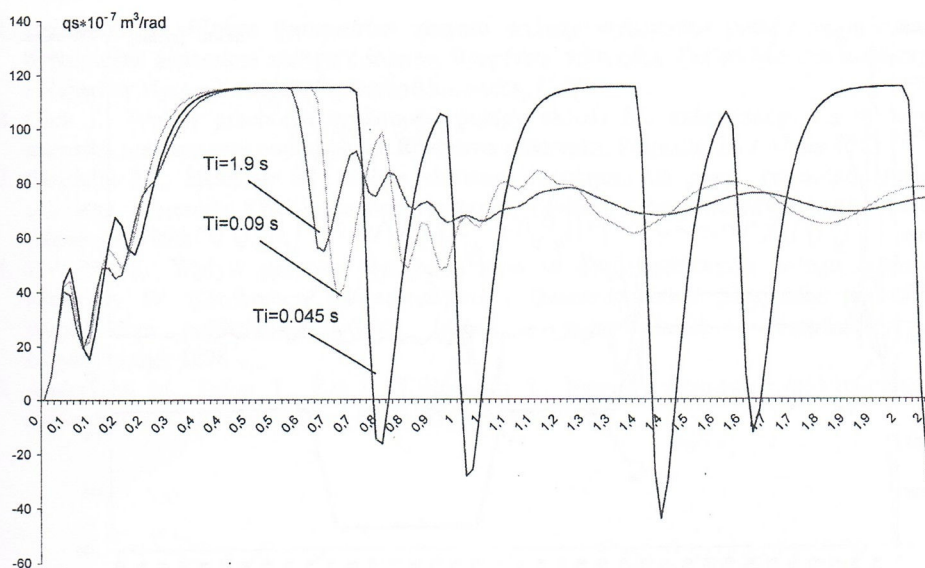
Rys. 2. Badania symulacyjne. Przebieg badanych wielkości dla typowego cyklu pracy



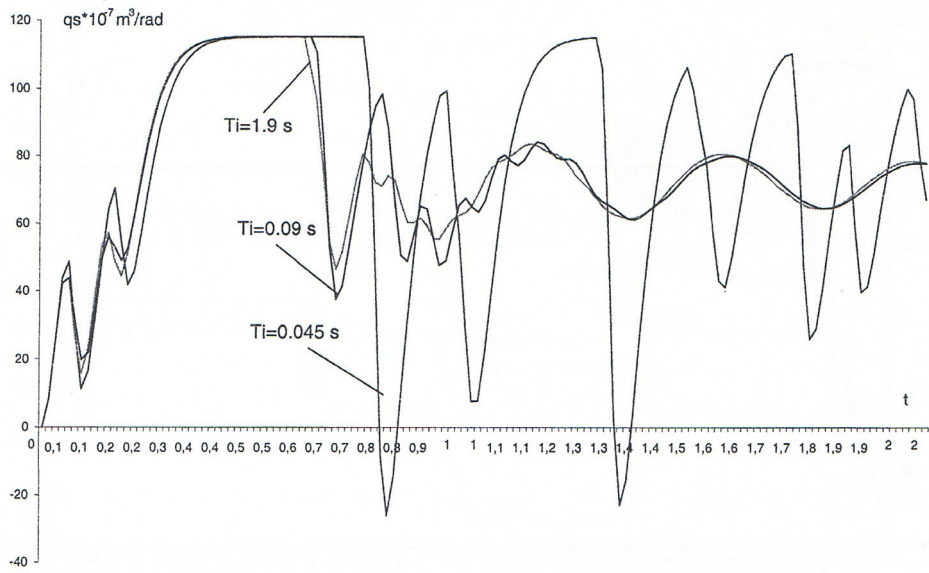
Rys. 3. Badania symulacyjne. Regulator PID. Przebiegi prędkości kątowej silnika hydrostatycznego w zależności od nastaw czasu zdwojenia  $T_i$



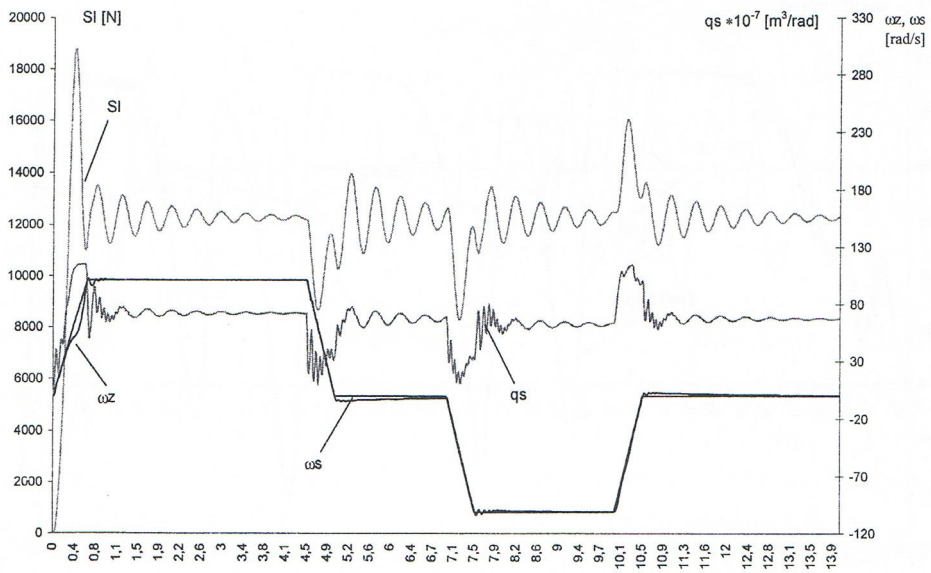
Rys. 4. Badania symulacyjne. Regulator PID - nieliniowy. Przebiegi prędkości kątowej silnika hydrostatycznego w zależności od nastaw czasu zdwojenia  $T_i$



Rys. 5. Badania symulacyjne. Regulator PID. Przebiegi chłonności jednostkowej silnika hydrostatycznego w zależności od nastaw czasu zdwojenia  $T_i$



Rys. 6. Badania symulacyjne. Regulator PID - nieliniowy. Przebiegi chłoności jednostkowej silnika hydrostatycznego w zależności od nastaw czasu zdwojenia  $T_i$



Rys. 7. Badania symulacyjne. Regulator nieliniowy. Przebieg badanych wielkości dla typowego cyklu pracy przy zmienionej nastawie czasu zdwojenia

#### **4. PODSUMOWANIE**

- Nastawy regulatora prędkości mają decydujący wpływ na prawidłową pracę mechanizmu podnoszenia. Zmieniając wartość czasu zdwojenia można uzyskać zminimalizowanie przeregulowań prędkości silnika. Analizując jednak pracę wciągarki w cyklu roboczym zaobserwowano pojawienie się niestabilności pracy przy rozruchu do dołu i opuszczaniu; wartości odchyłek są niewielkie, jednak jakość regulacji obniżyła się.
- Zmiana wartości czasu zdwojenia wpłynęła korzystnie na pracę silnika hydrostatycznego. Zaobserwowano zmniejszenie oscylacji zmian chłonności jednostkowej silnika  $q_s$ .
- Poprzez wprowadzenie regulatora nieliniowego można uzyskać lepszą jakość regulacji prędkości oraz pracy silnika. Jednak w cyklu pracy zaobserwowano niestabilności dla hamowania i opuszczania ładunku. Regulator nieliniowy wymaga odrębnych badań, w celu wyznaczenia wartości nastaw regulatora w całym zakresie pracy mechanizmu podnoszenia.

#### **5. LITERATURA**

1. Bednarski S.: Wpływ parametrów zespołu zmiany wydajności pompy na własności dynamiczne generatora stałego ciśnienia. Rozprawa doktorska, Zakład Maszyn Roboczych i Napędów Hydraulicznych, Politechnika Łódzka, 1996.
2. Cink J.: Wpływ przebiegu wydajności pompy układu hydrostatycznego na dynamikę rozruchu mechanizmu podnoszenia. Rozprawa doktorska, Politechnika Łódzka 1983.
3. Gozdałik M., Halusiak S.: Wpływ struktury regulatora na pracę generatora stałego ciśnienia. Materiały XII Konferencji Naukowej Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych. Zakopane, 1999.
4. Halusiak S.: Wpływ sposobu obciążenia sieci na pracę generatora stałego ciśnienia. Materiały IV Konferencji Okrętownictwo i Oceanotechnika. „Technika portowa i wyposażenie pokładowe statków. Jakość – niezawodność – bezpieczeństwo”. Międzyzdroje, 1998.
5. Andersohn M., Bauer T., Raś I., Witkiewicz S.: Napęd i sterowanie hydrauliczne na statkach morskich. Sterowanie i Napęd Hydrauliczny 4/89.

**THE RESEARCH OF THE INFLUENCE OF PARAMETERS AND SPEED CONTROL STRUCTURE OF SOCONDARY CONTROLLED HYDROSTATIC DRIVES ON DYNAMICS OF HOISTING WINCH**

## Summary

The parameters and speed control structure have the decisive meaning for the stabilization of the work hydrostatic drives, overload and control quality. Changing the parameters of the PID speed regulator it is possible to minimize the speed oscillation. Though in the work cycle of hydrostatic hoisting winch worse control quality for lowering and braking phases was observed. The introduction of the non-linear controller with variable proportional coefficient slightly corrects the control quality but the problem of the speed stability for for lowering and braking phases still remains.