

Sławomir BEDNARSKI, Jacek CINK, Piotr MALENTA

Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny

Zakład Maszyn Roboczych i Napędów Hydraulicznych

## **POZYCJONOWANIE ŁADUNKU W RUCHU ROBOCZYM WCIĄGARKI BĘBNOWEJ Z NAPĘDEM FAŁOWNIKOWYM**

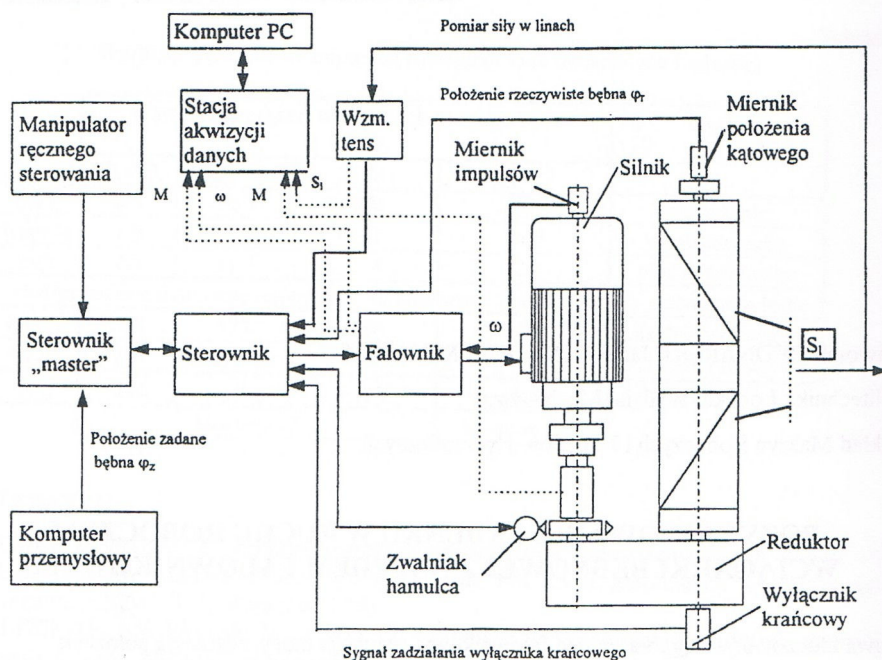
Słowa kluczowe: wciągarka, napęd fałownikowy, regulacja mocy, regulacja położenia.

Streszczenie. W referacie przedstawione zostały wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych ruchu roboczego wciągarki bębnowej napędzanej silnikiem asynchronicznym zwartym współpracującym z przetwornicą częstotliwości, zaopatrzoną w system „vector” umożliwiający rozwijanie przez silnik elektryczny momentu napędowego przy zerowej prędkości kątowej. Pracą przetwornicy zarządza sterownik mikroprocesorowy pełniący funkcję regulatora stałej mocy oraz regulatora położenia.

### **1. WSTĘP**

W Zakładzie Maszyn Roboczych i Napędów Hydraulicznych Instytutu Konstrukcji Maszyn Politechniki Łódzkiej przeprowadzone zostały badania symulacyjne i eksperymentalne dźwigowego mechanizmu podnoszenia z napędem fałownikowym. Schemat mechanizmu, układu sterowania oraz układu pomiarowego pokazano na rys. 1.

Silnik asynchroniczny zwarty 3 Slg 180 L8 - v o mocy znamionowej  $N_{zn} = 11 \text{ kW}$  i obrotach znamionowych  $n_{zn} = 725 \text{ obr/min}$  (prędkość synchroniczna  $750 \text{ obr/min}$ ) napędza - poprzez sprzęgła, wał dystansowy i reduktor o przełożeniu  $i_r = 17,73$  - bęben linowy o średnicy  $D_b = 280 \text{ mm}$ . Z bębnem związany jest układ linowy dwupasmowy zdwojony, który za pośrednictwem zespołu krążków i bębnow odchyłających napędza obciążnik posiadający możliwość ruchu pionowego w prowadnicach w 20 - metrowym szybie.



Rys. 1. Schemat blokowy mechanizmu podnoszenia, układu sterowania oraz schemat układu pomiarowego.

Masa obciążnika może być zmieniana, co umożliwia zbadanie działania regulatora stałej mocy. Ładunek nominalny podnoszony jest z prędkością  $v_p = 0,62$  m/s odpowiadającą częstotliwości napięcia zasilającego silnik elektryczny  $f = 50$  Hz i jego prędkości synchronicznej  $n_s = 750$  obr/min.

Z silnikiem elektrycznym współpracuje falownik czyli przetwornica częstotliwości firmy „Yaskawa” typu VARISPEED 616 G 5, która może zasilac silnik napięciem o częstotliwości z zakresu od  $-150$  Hz do  $+150$  Hz, co odpowiada sygnałowi sterującemu z zakresu od  $-3 \cdot I_b$  do  $+3 \cdot I_b$ . Sygnał sterujący o wartości  $I_b$  odpowiada częstotliwości napięcia zasilającego silnik elektryczny  $f = 50$  Hz i jego prędkości synchronicznej  $n_s = 750$  obr/min. Maksymalnej wartości sygnału sterującego  $3 \cdot I_b$  odpowiada częstotliwość  $150$  Hz i prędkość kątowa silnika elektrycznego  $3 \cdot 750 = 2\,250$  obr/min. Zastosowany silnik elektryczny jest przystosowany do

współpracy z falownikiem i dzięki specjalnej konstrukcji ma możliwość uzyskiwania tak dużych prędkości obrotowych.

Falownik przeznaczony jest specjalnie do współpracy z mechanizmem podnoszenia i posiada system „vector” umożliwiający rozwijanie przez silnik momentu napędowego przy zatrzymanym wale, co odpowiada utrzymaniu w spoczynku ładunku zawieszonego na haku.

Na wale silnika elektrycznego umieszczone jest sprzęgło hamulcowe współpracujące z hamulcem szczękowym zaciskany sprężyną i luzowanym zwalniaikiem elektrohydraulicznym. Hamulec zapada jedynie w czasie postoju przy zerowej wartości sygnału sterującego prędkością silnika. Samo hamowanie wstrzymujące i zatrzymujące realizowane jest falownik, silnik oraz współpracujący z nimi zespół oporników.

Na wale bębna zainstalowany jest wyłącznik krańcowy, który odłącza napęd w przypadku przekroczenia przez bęben i ładunek jednego z granicznych położzeń.

Na wale silnika elektrycznego umieszczony jest optoelektroniczny przetwornik obrotowo - impulsowy typu MHW amerykańskiej firmy „MEGATRON”, który przekazuje do falownika informację o prędkości kątowej silnika i stanowi element układu regulacji prędkości. Układ regulacji prędkości umieszczony jest w samym falowniku. Zapewnia on proporcjonalność prędkości kątowej silnika do sygnału sterującego I niezależnie od zakłóceń, jakie stanowi zmienne obciążenie mechanizmu podnoszenia.

Pracą falownika zarządza sterownik mikroprocesorowy, wykonany i oprogramowany przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Dźwignic i Urządzeń Transportowych „Detrans” w Bytomiu. Sterownik zapewnia realizację dwóch ważnych funkcji mechanizmu.

Pełni funkcję quasi-regulatora stałej mocy, który w początkowej fazie ruchu roboczego wypracowuje sygnał ograniczający maksymalną prędkość ładunku, tak aby uzyskać stałą poziom mocy w ruchu ustalonym. Ładunki nominalne podnoszone są z prędkością  $v_p = 0,62$  m/s odpowiadającą częstotliwości napięcia zasilającego silnik elektryczny  $f = 50$  Hz, ładunki lżejsze - z prędkościami odpowiednio większymi.

Ponadto sterownik zawiera regulator położenia ładunku, który wypracowuje sygnał sterujący dla falownika proporcjonalnie do różnicy między zadanim i rzeczywistym położeniem bębna linowego. Położenie zadane bębna przekazywane jest do sterownika z komputera pokładowego, bezwzględne położenie rzeczywiste bębna mierzone jest za pomocą



optoelektronicznego wieloobrotowego przetwornika kodowego typu M 524 amerykańskiej firmy „MEGATRON”.

Przy pracy w trybie sterowania programowego z komputera pokładowego do sterownika przekazana zostaje informacja o zadanym położeniu końcowym bębna. Ładunek podnoszony musi być zaczepiony do haka. Po załączeniu przycisku „start sterownika” uruchomiona zostaje następująca procedura ruchu roboczego.

- a) Sygnał sterujący rośnie skokowo od zera do wartości  $0,1 \cdot I_b$  i utrzymuje się na tym poziomie przez 5 sekund (odpowiada to rozruchowi i podnoszeniu ładunku z prędkością ustaloną silnika równą 75 obr/min).
- b) W piątej sekundzie ruchu następuje pomiar wartości siły w linach mechanizmu podnoszenia i określenie na tej podstawie maksymalnej wartości sygnału sterującego  $I_m$  do wartości wynikającej z poziomu mocy rozwijanej przez silnik w ruchu ustalonym.

$$t = 5s \Rightarrow S_{l|t=5s} = S_l \quad I_m = \frac{A}{S_{l|t=5s}} \wedge I_m \leq 3 \cdot I_b$$

$$A = I_b \cdot m_Q \cdot g$$

$I_b$  - wartość sygnału sterującego odpowiadająca częstotliwości napięcia zasilającego  $f = 50$  Hz oraz synchronicznej prędkości obrotowej silnika  $n_s = 750$  obr/min,

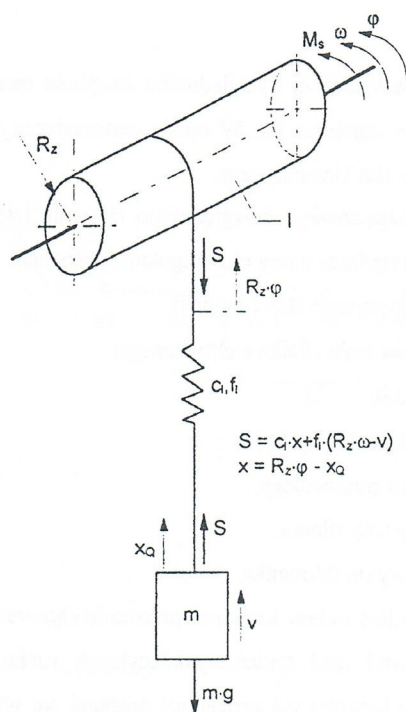
$A$  - współczynnik stały zależny od poziomu mocy regulowanej,

$m_Q$  - masa ładunku nominalnego.

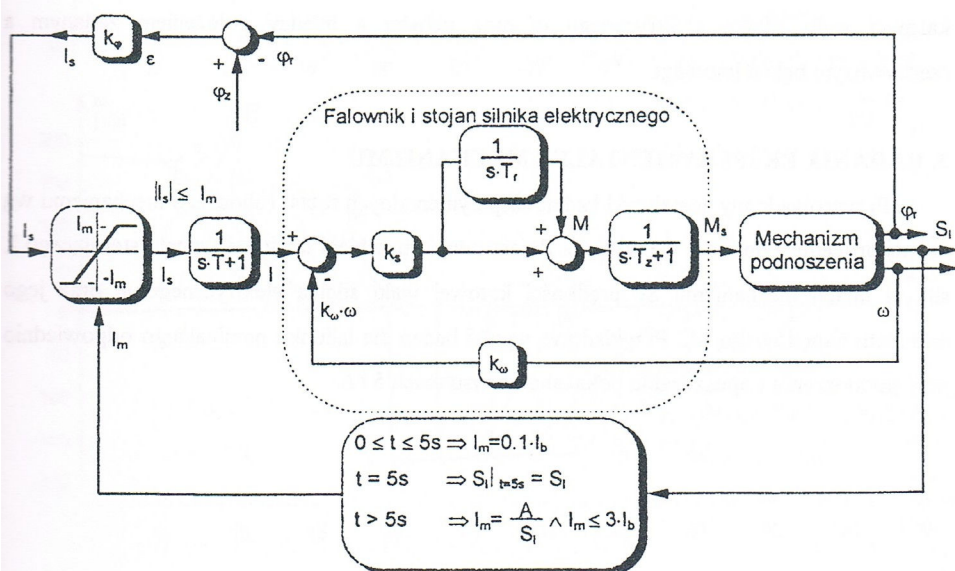
- c) Sygnał sterujący rośnie skokowo do wartości  $I_m$  i następuje rozruch układu do prędkości odpowiadającej poziomowi mocy regulowanej.
- d) Sygnał  $I_m$  jest dodatkowo ograniczony przez regulator położenia. W miarę zbliżania się bębna do zadanego położenia sygnał ten maleje stopniowo proporcjonalnie do uchybu położenia, aby osiągnąć wartość zero po dojeździe układu do położenia końcowego.

## 2. MODEL DYNAMICZNY I BADANIA SYMULACYJNE MECHANIZMU

W oparciu o doświadczenia posiadane przez pracowników Zakładu utworzony został model dynamiczny omawianego mechanizmu podnoszenia, obejmujący część mechaniczną przedstawioną na rys. 2 oraz zespół napędowy (silnik elektryczny, falownik, sterownik mikroprocesorowy) przedstawiony na rys. 3.



Rys. 2. Model dynamiczny części mechanicznej.



Rys. 3. Model dynamiczny zespołu napędowego.

W modelu części mechanicznej uwzględniono skupione masy części obrotowych oraz ładunku, sztywność i opór tłumienia lin. W opisie matematycznym wykorzystano równania ruchu Newtona oraz zależności kinematyczne.

W modelu zespołu napędowego uwzględniono falownik i stojan silnika elektrycznego, układ regulacji prędkości, regulator mocy oraz regulator położenia.

Wybrano następujące zmienne stanu modelu:

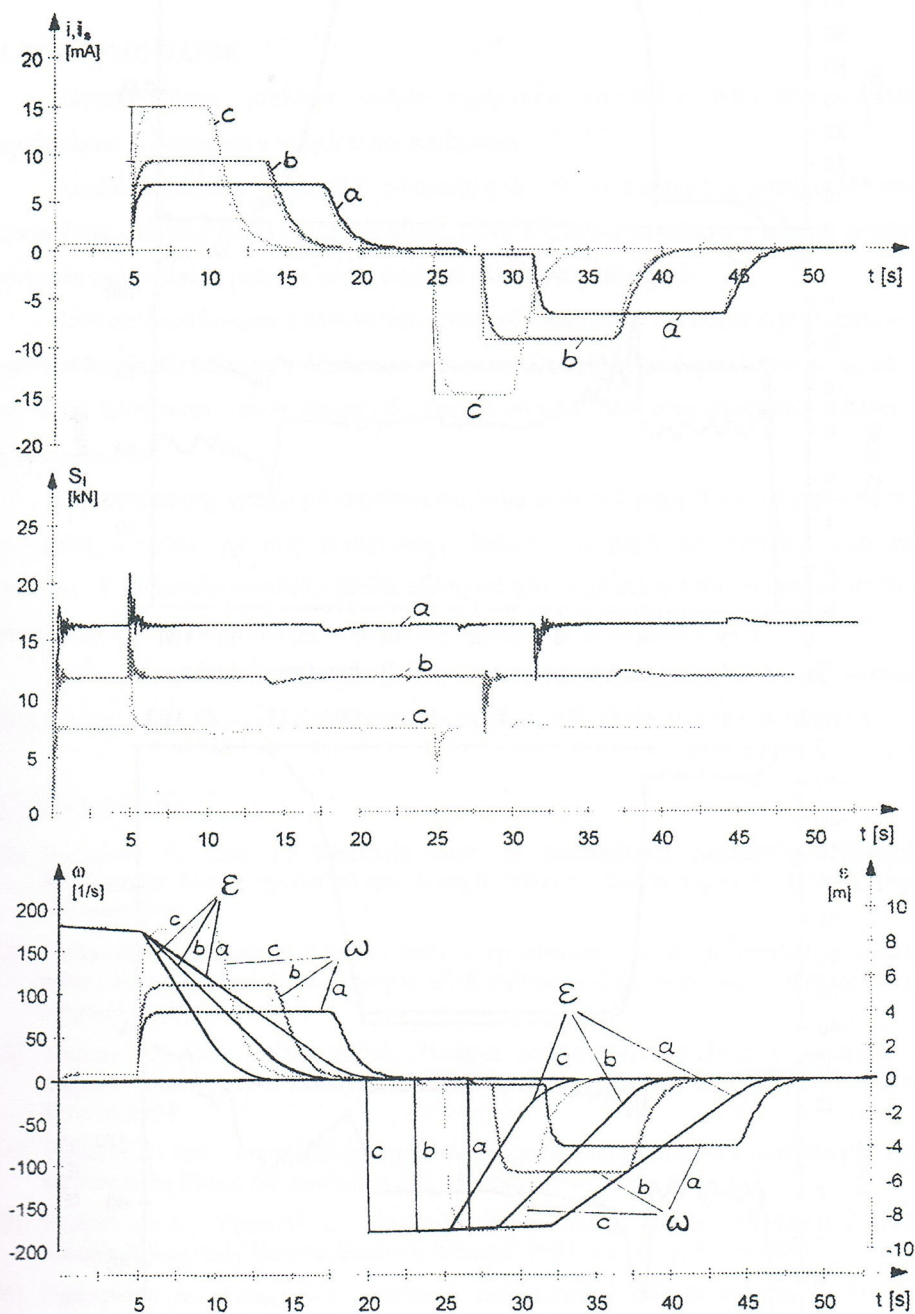
- $\omega$  - prędkość kątowna wału silnika elektrycznego,
- $v$  - prędkość ładunku,
- $x$  - chwilowe wydłużenie liny.
- $M$  - fikcyjny moment pomocniczy,
- $M_s$  - moment elektryczny silnika,
- $I$  - sygnał wejściowy do falownika.

Sygnałem sterującym jest zadane końcowe położenie kątowe bębna linowego.

Przeprowadzony został cykl badań symulacyjnych ruchu roboczego obejmującego podnoszenie i opuszczanie ładunku wg procedury opisanej we wstępie. Przykładowe wyniki badań symulacyjnych dla ładunku nominalnego pokazano na rys. 4. Zamieszczono na nim przebiegi czasowe sygnałów sterujących  $I$  oraz  $I_s$ , siły w linach mechanizmu  $S_l$ , prędkości kątowej wału silnika elektrycznego  $\omega$  oraz uchybu  $\varepsilon$  między położeniem zadany a rzeczywistym bębna linowego.

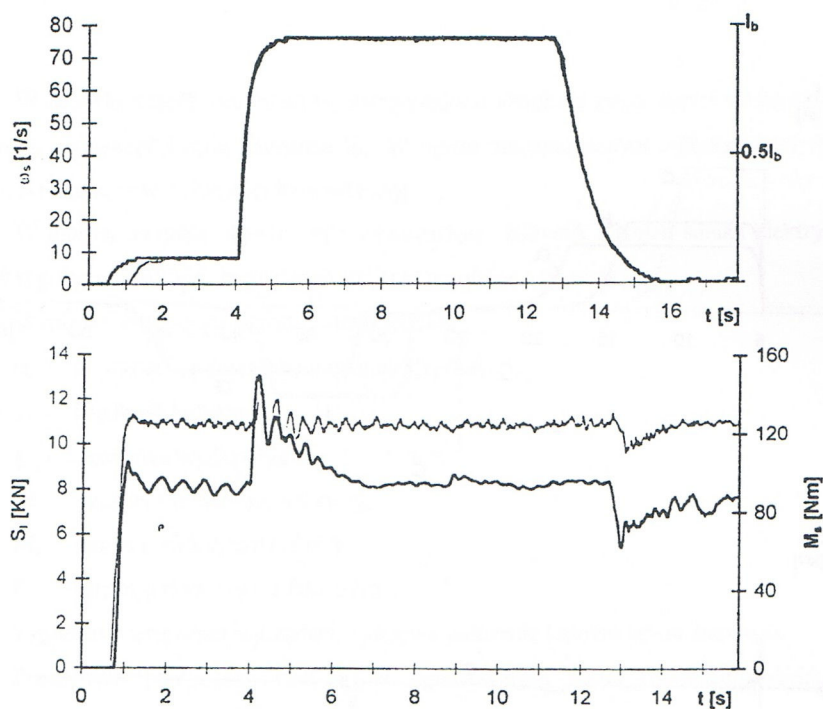
### 3. BADANIA EKSPERYMENTALNE MECHANIZMU

Przeprowadzony został cykl badań eksperymentalnych ruchu roboczego mechanizmu wg znanej procedury opisanej we wstępie. Rejestrowano przebiegi czasowe sygnału sterującego  $I$ , siły w linach mechanizmu  $S_l$ , prędkości kątowej wału silnika elektrycznego  $\omega$  oraz jego momentu napędowego  $M_s$ . Przykładowe wyniki badań dla ładunku nominalnego odpowiednio przy podnoszeniu i opuszczaniu pokazano na rysunkach 5 i 6.

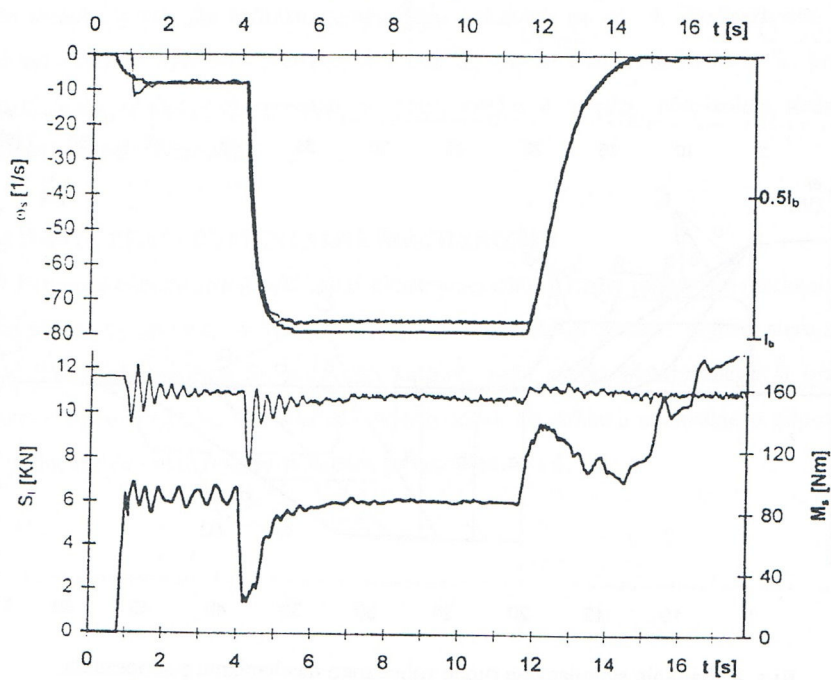


Rys. 4. Badania symulacyjne ruchu roboczego mechanizmu podnoszenia.





Rys. 5. Wyniki badań eksperymentalnych. Podnoszenie ładunku.



Rys. 6. Wyniki badań eksperymentalnych. Opuszczanie ładunku.



#### 4. PODSUMOWANIE

Zaproponowana struktura układu sterowania umożliwia prawidłowe działanie mechanizmu podnoszenia z napędem falownikowym.

Analiza zbadanych przebiegów symulacyjnych i eksperymentalnych pozwala stwierdzić prawidłowe działanie quasi-regulatora mocy, który wypracowuje właściwy poziom prędkości ustalonej na podstawie pomiaru siły w linach w piątej sekundzie ruchu.

Zaobserwować można działanie regulatora położenia, który ogranicza sygnał sterujący w miarę zbliżania się ładunku do zadanego położenia. Dokładność dojazdu bębna wciągarki do położenia końcowego należy ocenić jako bardzo wysoką. Błąd pozycjonowania ładunku nie przekracza 1 cm.

Zaproponowany system prowadzenia rozruchu w dwóch etapach; na początku do małej prędkości, a potem, już przy podniesionym ładunku, do prędkości ustalonej, daje dobre rezultaty. Przeciążenia momentu silnika elektrycznego w okresach ruchów nieustalonych nie przekraczają 40%, natomiast przeciążenia siły w linach nie przekraczają 20%.

Umieszczenie członu inercyjnego w torze sterowania (rys. 3) polepsza własności dynamiczne układu, czyniąc go niewrażliwym na gwałtowne zmiany sygnału sterującego.

#### 5. LITERATURA

- [1] Bednarski S, Cink J.: Regulacja mocy w mechanizmie podnoszenia dźwignicy. Konferencja Naukowo-Techniczna Napędy Maszyn Transportowych. Ustroń Śląski, wrzesień 1996.
- [2] Bednarski S, Malenta P.: Model i badania symulacyjne oraz eksperymentalne wciągarki bębnowej z napędem falownikowym. III Konferencja Okrętownictwo i Oceanotechnika. Międzyzdroje 1997.
- [3] Tomczyk J., Cink J., Kosucki A.: Badania podstawowych problemów automatyzacji maszyn roboczych. VII Konferencja Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane, Styczeń 1994.
- [4] Tomczyk J i inni.: Automatyzacja sterowania suwnicy do przeładunku kontenerów. Prace dla Komitetu Badań Naukowych, Łódź - Bytom 1994.
- [5] Piątkiewicz A., Tomczyk J.: Problemy automatyzacji maszyn roboczych. Problemy Maszyn Roboczych, Komitet Budowy Maszyn PAN, z.1 vol. 1, W-wa 1993.
- [6] Piątkiewicz A., Tomczyk J.: Problemy automatyzacji maszyn roboczych. Problemy Maszyn Roboczych, Komitet Budowy Maszyn PAN, z.1 vol. 1, W-wa 1993.

## THE LOAD POSITIONING IN THE DUTY MOTION OF THE HOISTING WINCH WITH THE FREQUENCY CONVERTER

### Summary

In the paper the results of the simulation and experimental tests of the hoisting winch duty motion with the asynchronous electric motor co-operating with the frequency converter are presented. The frequency converter contains the „vector” system which enables to rich the different from zero torque of the electric motor without its angular velocity. The control of the frequency converter is organised by the microprocessor controller which works as the power and position regulator.