

MAREK GOZDALIK¹

BADANIA EKSPERYMENTALNE HYDROSTATYCZNEGO MECHANIZMU PODNOSZENIA Z UKŁADEM REGULACJI STAŁEJ MOCY

Słowa kluczowe: Mechanizm podnoszenia, napęd hydrostatyczny, regulacja stałej mocy.

Streszczenie: W mechanizmie podnoszenia z przekładnią hydrostatyczną korzystne jest zastosowanie obu jednostek o zmiennej objętości jednostkowej, zmiana wydajności jednostkowej pompy wykorzystywana jest do sterowania cyklem roboczym, natomiast zmiana chłonności silnika hydraulicznego do regulacji stałej mocy. W referacie przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych laboratoryjnej wciągarki hydrostatycznej wyposażonej w układ regulacji stałej mocy, dostosowujący chłonność silnika do poziomu obciążenia (ciężaru podnoszonego ładunku). Struktura i parametry układu regulacji zostały określone w oparciu o przeprowadzone uprzednio badania symulacyjne.

1. WPROWADZENIE

Cechą mechanizmów podnoszenia oprócz występowania obciążenia czynnego dla ruchu opuszczania, jest jego zmienność w szerokim zakresie: od ciężaru ładunku nominalnego do ciężaru samego elementu chwytneho (ruch jałowy). Zastosowanie jednej i stałej prędkości podnoszenia powoduje niewykorzystanie w pełni mocy znamionowej zainstalowanej w urządzeniu. Wprowadzenie układu regulacji stałej mocy umożliwia - w zakresie regulacji - wykorzystanie całej mocy, jaką dysponuje mechanizm, poprzez podnoszenie ładunków mniejszych od nominalnego z większymi prędkościami, tak aby iloczyn prędkości v i obciążenia Q był stały i równy mocy nominalnej:

$$N_n = v \cdot Q = \text{const} \quad (1)$$

Przyjęto się określać zakres regulacji (z) jako stosunek maksymalnej prędkości podnoszenia v_m do prędkości nominalnej v_n .

$$z = \frac{v_m}{v_n} \cong 2 \div 4 \quad (2)$$

Ograniczenie zakresu regulacji wynika bezpośrednio z maksymalnych dopuszczalnych ze względów konstrukcyjnych, bądź bezpieczeństwa prędkości podnoszenia.

Przekładnie hydrostatyczne wyposażone w układy regulacji stałej mocy budowane są zazwyczaj jako klasyczne napędy z pompą o zmiennej wydajności jednostkowej i z silnikiem o stałej chłonności. Sterowanie prędkością oraz regulacja stałej mocy realizowana jest w takich

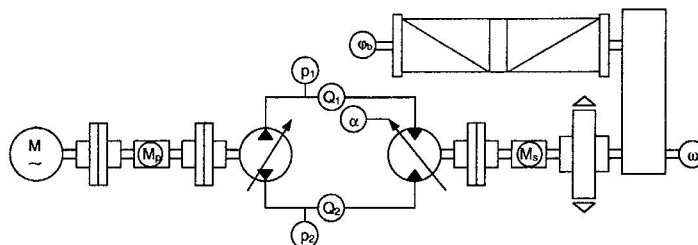
¹ Politechnika Łódzka

układach poprzez zmianę wydajności pompy. Wyposażenie przekładni hydrostatycznej w silnik o zmiennej chłonności jednostkowej q_s i sterowanie tym parametrem zgodnie z zasadą stałej mocy daje szereg korzyści w stosunku do konfiguracji opisanej powyżej. W takim przypadku tylko silnik będzie posiadał wielkość wynikającą z mocy pozornej (z razy większej od mocy znamionowej), pompa natomiast będzie posiadać nominalną wielkość, dobraną jak dla układu bez regulacji stałej mocy. Ponadto w całym zakresie regulacji układ hydrostatyczny będzie pracował w ruchach ustalonych z nominalnym ciśnieniem, a więc w obszarze wysokiej sprawności mechaniczno-hydraulicznej. Dodatkowo rozdzielenie funkcji realizacji sterowania cyklem ruchu roboczego (kształtowanie optymalnych przebiegów prędkości dla rozruchu i hamowania, pozycjonowanie ładunku) oraz regulacji stałej mocy odpowiednio na pompę i silnik hydrostatyczny daje więcej możliwości niezależnego od siebie konfigurowania struktur tych układów.

W referacie przedstawione zostały wyniki wybranych badań eksperymentalnych hydrostatycznego mechanizmu podnoszenia wyposażonego w układ pozycjonowania ładunku oraz układ sterowania chłonnością silnika hydrostatycznego zgodnie z zasadą stałej mocy.

2. BUDOWA STANOWISKA DOŚWIADCZALNEGO

Napęd mechanizmu podnoszenia (rys. 1.) stanowi przekładnia hydrostatyczna o obiegu zamkniętym z pompą Sundstrand 90R042 napędzana pierwotnym elektrycznym silnikiem asynchronicznym. Pompa pracuje w obiegu zamkniętym z silnikiem hydrostatycznym Sundstarand MV22, który napędza poprzez reduktor bęben wciągarki związany układem linowym z ładunkiem poruszającym się w 20 metrowym szybie.



Rys 1. Schemat stanowiska z zaznaczeniem punktów pomiarowych

Zarówno pompa jak i silnik wyposażone są w elektrohydrauliczne serwonastawniki zmiany wydajności (chłonności) jednostkowej. Za pomocą zmiany wydajności pompy w zakresie od -qpm do +qpm realizowany jest rozruch i hamowanie układu dla ruchu podnoszenia i opuszczania w układzie pozycjonowania bębna wciągarki. Realizacja regulacji stałej mocy odbywa się w układzie ze sprzężeniem zwrotnym poprzez dostosowanie chłonności jednostkowej silnika q_s do momentu na jego wale M_s , proporcjonalnego do poziomu obciążenia ładunkiem (rys 2) wg poniższej zależności.

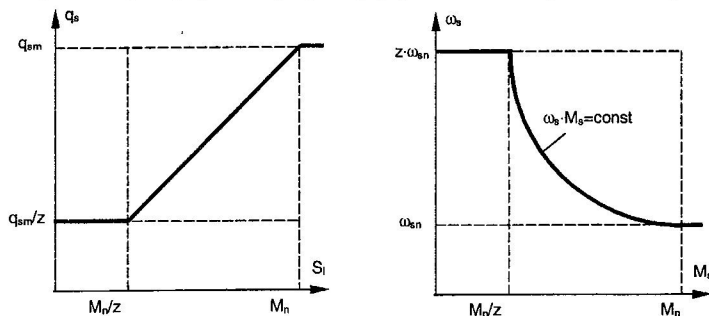
$$q_s = A_{\text{reg}} \cdot M_s \quad (3)$$

gdzie: A_{reg} – stała regulacji, M_s – moment na wale silnika hydraulicznego

W omawianym układzie zakres regulacji określony zależnością (4) ograniczony został cechami konstrukcyjnymi silnika hydrostatycznego (możliwością zmiany chłonności jednostkowej) do poziomu $z=2$.

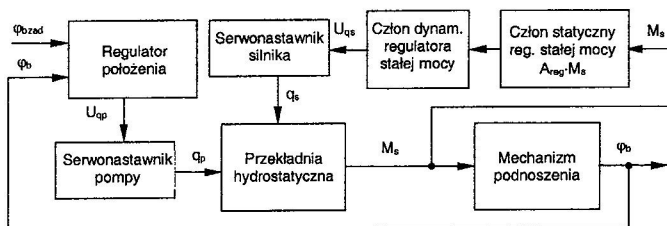
$$z = \frac{v_m}{v_n} = \frac{q_{s \max}}{q_{s \min}} \cong 2 \quad (4)$$

Zatem ładunki o masie równej i mniejszej niż 1/2 masy nominalnej m_n będą podnoszone z ustaloną prędkością 2 razy większą niż nominalna v_n , natomiast wszystkie pozostałe ładunki z zakresu od $m_n/2$ do m_n - z prędkością wynikającą z równania hiperboli stałej mocy (rys. 2).



Rys. 2. Charakterystyka statyczna regulatora stałej mocy

Układ regulacji stałej mocy (rys. 3) zawiera pętlę sprzężenia zwrotnego obejmującą człon statyczny i dynamiczny. Pierwszy dostosowuje sygnał sterujący zmianą chłonności silnika do wartości momentu na jego wale, zgodnie z hiperbolą stałej mocy. Człon dynamiczny ma za zadanie poprawę zachowania układu w stanach nieustalonych. Mechanizm podnoszenia zawiera również układ regulacji położenia realizowany za pomocą pętli sprzężenia zwrotnego między położeniem kątowym bębna wciągarki i serwonastawnikiem wydajności jednostkowej pompy.



Rys. 3. Schemat blokowy układu sterowania i regulacji

Wybór właściwej struktury układu sterowania i regulacji oraz wstępny dobór zakresu parametrów został dokonany w oparciu o badania symulacyjne napędu, opisane w poprzedniej publikacji autora [1].

Do realizacji układów sterowania i regulacji wykorzystano komputer przemysłowy Advantech współpracujący z oprogramowaniem Geni, natomiast do rejestracji przebiegów zastosowano stację akwizycji danych HBM Spider8 przy użyciu oprogramowania Catman.

3. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Przeprowadzono szereg badań przyjętego cyklu pracy, polegającego na podnoszeniu ładunku do zadanego położenia kąowego bębna, a następnie na opuszczaniu go do położenia

początkowego przy włączonym i wyłączonym układzie regulacji stałej mocy. Badania wykonywano dla różnych mas podnoszonego ładunku. Zbadano dwa przypadki rozruchu do góry: rozruch przy więziach wstępnie napiętych ciężarem podnoszonego ładunku („z powietrza”) oraz przy więziach nienapiętych bez luzu („z podłoża”). Porównywano wielkości w torze dynamicznym i kinematycznym dla identycznych cykli pracy (ta sama droga i masa ładunku), zwracając szczególną uwagę na efekt skrócenia czasu trwania cyklu transportowego, przy zachowaniu założonej dokładności pozycjonowania i ograniczeniu przeciążeń dynamicznych.

Na rysunkach 4 i 5 pokazano przykładowe wyniki badań eksperymentalnych dla podnoszenia „z powietrza” i opuszczania ładunku dla zadanego przemieszczenia kąowego bębna wciągarki równego $\varphi_b=8$ obr., co odpowiada wysokości podnoszenia (opuszczania) ładunku $H=7$ m. Wyniki dotyczą cyklu pracy dla 2 różnych mas ładunków, dających na wale silnika w ruchu ustalonym podnoszenia obciążenie równe odpowiednio 100 i 75% momentu nominalnego. Zamieszczono przebiegi czasowe następujących wielkości fizycznych: U_{qp} – napięcie sterujące wydajnością jednostkową pompy – wielkość wyjściowa regulatora położenia kąowego bębna; U_{qs} – napięcie sterujące chłonnością jednostkową silnika – wielkość wyjściowa układu regulacji stałej mocy; q_s – chłonność jednostkowa silnika; ω_s – prędkość kątowa silnika hydrostatycznego; ps_1 – ciśnienie w gałęzi wysokociśnieniowej; Ms – moment na wale silnika.

4. PODSUMOWANIE

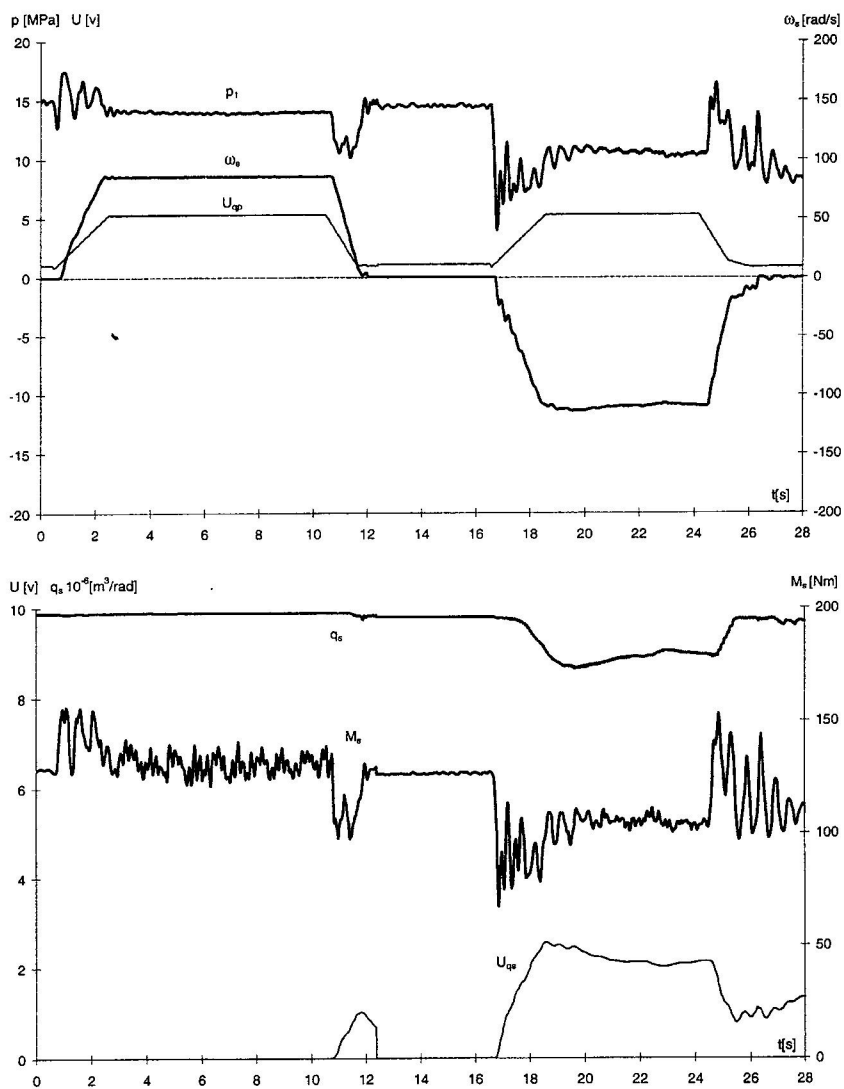
Przeprowadzone badania eksperymentalne posłużyły do skorygowania dobranych na drodze symulacyjnej parametrów układów sterowania i regulacji. Niewielkie zmiany współczynników, bez ingerencji w uprzednio dobraną strukturę zapewniły prawidłowe działanie układu regulacji stałej mocy w całym cyklu roboczym i dla pełnego zakresu obciążeń. Wciągarka wyposażona w powyższy układ wykazuje dobre własności dynamiczne przy zachowaniu założonej dokładności pozycjonowania. Utrzymywanie przez układ (w zakresie regulacji) w ruchach ustalonych ciśnienia zbliżonego do nominalnego daje (przy jednakowym wydatku pompy) w przybliżeniu stały pobór mocy niezależnie od masy ładunku.

Dla ładunku o masie równej 50% masy nominalnej dla opisanego cyklu pracy załączenie układu regulacji stałej mocy daje skrócenie czasu transportu przy podnoszeniu do 3 s (25%), a przy opuszczaniu do 4 s (35%). Przy dłuższym cyklu pracy (mniejszym udziale czasu rozruchu i hamowania) jego skrócenie dochodzi do 40% dla podnoszenia i 50% dla opuszczania w stosunku do identycznego cyklu roboczego wciągarki przy wyłączonym układzie regulacji stałej mocy.

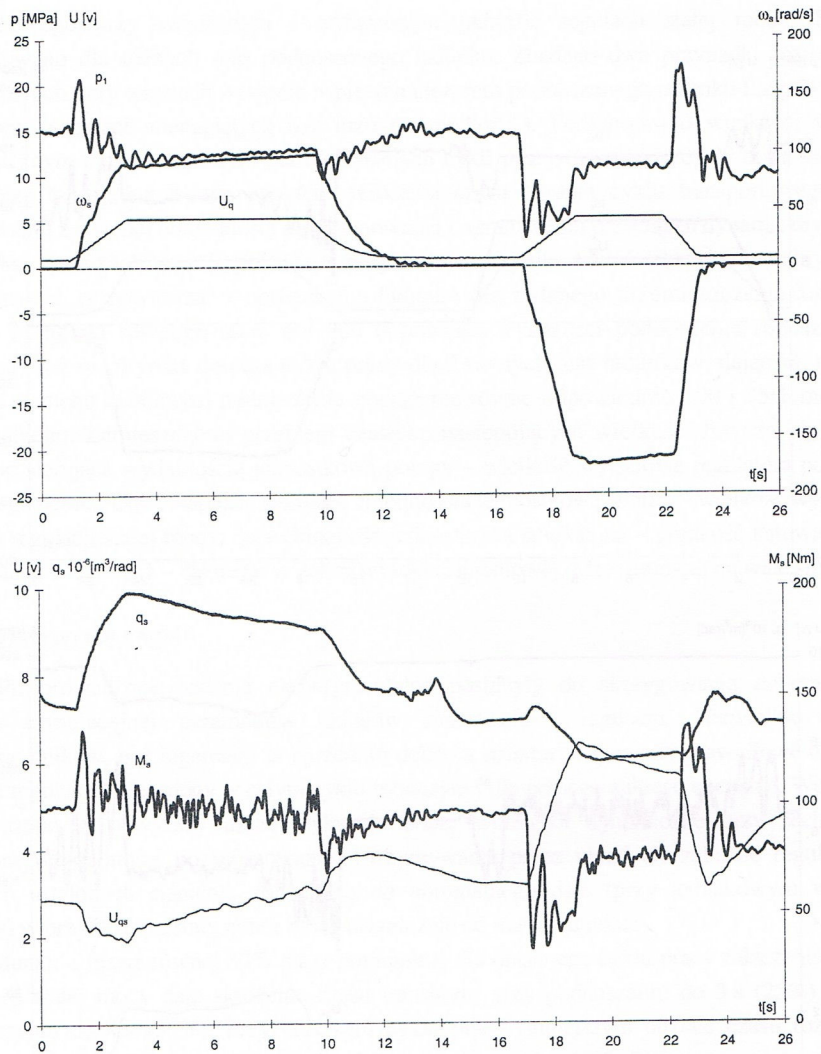
W celu ograniczenia przeciążeń dynamicznych, podczas rozruchu z podłoża i podrywania ładunku, wskazane jest w tym etapie ruchu wyłączenie regulacji stałej mocy i ustawienie silnika na maksymalną chłonność. Załączenie układu następuje automatycznie po tym okresie.

5. LITERATURA

1. Gozdalik M.: *Regulacja stałej mocy w hydrostatycznym mechanizmie podnoszenia*. Materiały konferencyjne: V Konferencja Okrętownictwo i Oceanotechnika – Maszyny i systemy transportowe. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Śląskiej, 2000.
2. Bednarski S., Cink J.: *Pozycjonowanie ładunku w ruchu roboczym wciągarki hydrostatycznej*. Materiały konferencyjne: Napędy i Sterowania hydrauliczne. Polanica Zdrój 1999.
3. Bednarski S., Cink J., Tomczyk J.: *Regulacja mocy w mechanizmie podnoszenia dźwignicy*. Materiały konferencyjne: Napędy Maszyn Transportowych, Ustroń, 1996.



Rys. 4. Podnoszenie „z powietrza” i opuszczanie ładunku nominalnego.
Załączony układ regulacji stałej mocy



Rys.5. Podnoszenie „z powietrza” i opuszczanie ładunku o masie równej 75% masy nominalnej. Załączony układ regulacji stałej mocy

EXPERIMENTAL TESTS OF THE HYDROSTATIC HOISTING WINCH WITH THE CONSTANT POWER REGULATION SYSTEM

Summary

The application of hydrostatic units with variable displacement in hoisting winch gives advantages. Variation of the pump displacement is used for duty cycle control and hydrostatic motor displacement is used for constant power control. In the paper the results of experimental tests of the duty cycle are presented. The control system structure and parameters of the system are defined by previous simulation tests.