

Sławomir HALUSIAK¹, Jerzy TOMCZYK^{1,2}

WPLYW AKUMULATORA HYDRAULICZNEGO NA DYNAMIKĘ NAPĘDÓW ZASILANYCH Z SIECI STAŁOCIŚNIENIOWEJ

Streszczenie. W referacie przedstawiono wyniki badań dynamiki hydrostatycznego mechanizmu podnoszenia ze sterowaniem wtórnym zasilanego z sieci stałociśnieniowej. Określono wpływ akumulatora na stabilizację ciśnienia w sieci hydraulicznej oraz dynamikę cyklu roboczego hydrostatycznego mechanizmu ponoszenia. Opracowane modele dynamiczne mogą być wykorzystane przy projektowaniu tego typu układów do określenia minimalnej pojemności akumulatora wymaganej dla poprawnej pracy układów. Wykazano korzystny wpływ akumulatora na dynamikę pracy mechanizmów oraz odporność układów na zakłócenia wynikające z jednoczesnej pracy mechanizmów.

THE INFLUENCE OF HYDRAULIC ACCUMULATOR ON THE DYNAMIC OF DRIVES SUPPLIED WITH CONSTANT PRESSURE NETWORK

Summary. The researches of dynamic of the hydrostatic hoisting winch with secondary control supplied from constant pressure hydraulic network have been presented in the paper. The influence of the hydraulic accumulator on the network pressure stability and hoisting winch duty cycle dynamic has been specified. The worked out dynamic models of the system can be used at the drive system designing for determination the minimal accumulator capacity required for correct operation of the systems. The profitable influence of hydraulic accumulator on the drives works dynamic and immunity to disturbances coming from simultaneous mechanisms work has been found.

1. WSTĘP

Podstawową cechą napędów hydrostatycznych zasilanych z sieci stałociśnieniowej jest możliwość zasilania wielu mechanizmów z jednego generatora mocy w postaci pompy lub pomp hydrostatycznych. Napędy mechanizmów muszą być wyposażone w silniki hydrostatyczne o zmiennej pojemności jednostkowej i czujniki pomiaru prędkości obrotowej ich wałów. Umożliwia to płynne sterowanie prędkością członów końcowych mechanizmów. Pozytywną cechą układu jest możliwość odzyskiwania energii potencjalnej i kinetycznej w cyklach roboczych mechanizmów. Odzyskiwana przy pracy jednego z mechanizmów energia może być wykorzystana poprzez sieć hydrauliczną do zasilania innych będących w stanie pracy mechanizmów. Nadmiar energii odzyskiwanej może być przesyłany do sieci elektrycznej w przypadku napędu pompy zasilającej sieć hydrauliczną za pomocą indukcyjnego silnika elektrycznego lub może być akumulowany w akumulatorach

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Katedra Maszyn Roboczych Napędów i Sterowania, tel. (+48 42) 6312257

² OBRDiUT „Detrans” - Bytom

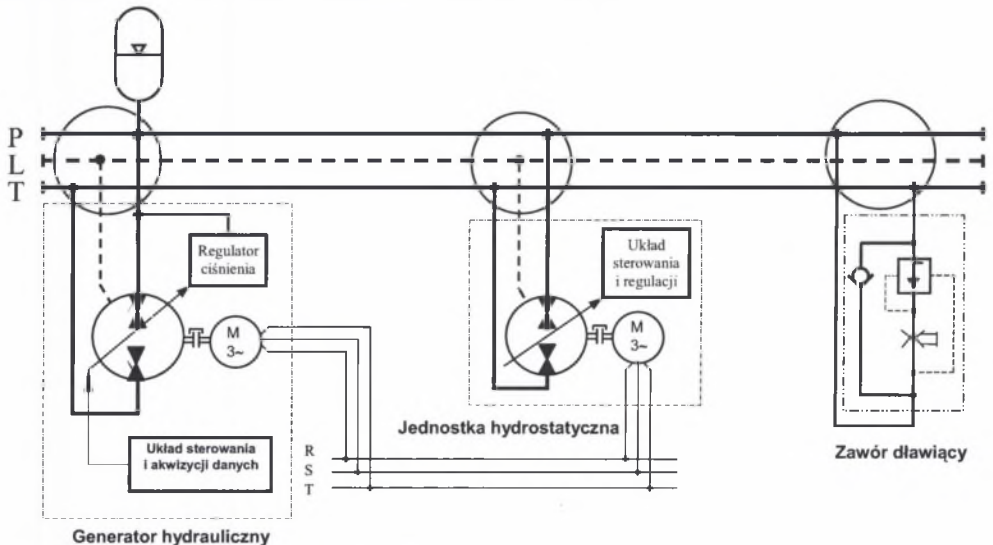
hydraulicznych w przypadku innego rodzaju silnika pompy, np. silnika spalinowego. W układach elektro-hydraulicznych zastosowanie akumulatora hydraulicznego wpływa korzystnie na dynamikę pracy układów napędowych w specyficznych fazach cykli roboczych.

Pierwsze zastosowania stałociśnieniowych układów napędowych dotyczyły napędu zamykania i otwierania drzwi wodoszczelnych na statkach pasażerskich. Obecnie układy tego rodzaju wykorzystywane są na statkach do napędu różnych mechanizmów pokładowych takich, jak wciągarki trałowe, kablone, kotwiczne, cumownicze, rampy rufowe i dziobowe, żurawie itp.

W Katedrze Maszyn Roboczych Napędów i Sterowania Politechniki Łódzkiej przeprowadzono szereg badawczych prac teoretycznych i eksperymentalnych związanych z hydrostatycznymi napędami zasilanymi z sieci stałociśnieniowej przy wykorzystaniu zbudowanego w tym celu stanowiska laboratoryjnego. Przeprowadzone badania symulacyjne dotyczyły między innymi wpływu, jaki na dynamikę pracy układu wywiera przyłączony do sieci akumulator hydro-pneumatyczny.

2. BADANY UKŁAD NAPĘDOWY

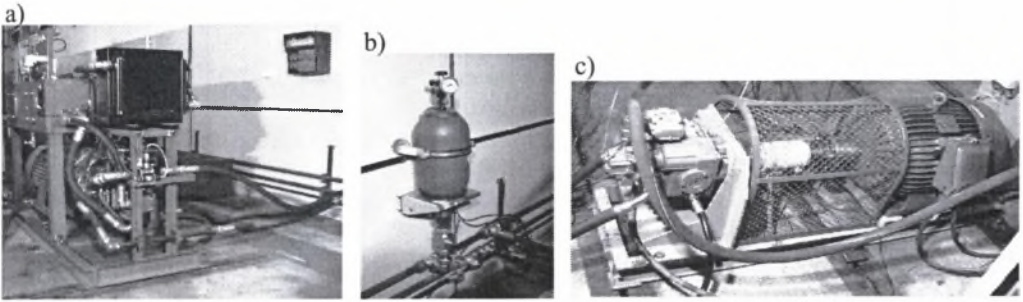
Na rys. 1 przedstawiono ogólny schemat badanego układu z hydrauliczną siecią stałociśnieniową. Sieć hydrauliczna o długości 15 m zasilana jest z generatora hydraulicznego o mocy 55 kW z wielotłokową pompą hydrostatyczną A4VSG z wychylną tarczą wyposażoną w regulator ciśnienia. Do sieci podłączony jest akumulator hydro-pneumatyczny o pojemności 10 dm³. Obciążenie sieci wywołuje jednostka hydrostatyczna PV22 współpracująca z elektrycznym silnikiem indukcyjnym. Przewidziano również możliwość upustowego obciążenia sieci za pomocą zaworu dławiącego.



Rys. 1. Schemat układu z siecią stałociśnieniową

Fig. 1. The diagram of the constant pressure network system

Ogólny widok generatora hydraulicznego zasilającego sieć hydrauliczną z przyłączonym do niej akumulatorem hydro-pneumatycznym oraz układ obciążający sieć w postaci zespołu pompa hydrostatyczna o zmiennej pojemności jednostkowej – asynchroniczny silnik indukcyjny przedstawiony jest na rys. 2.



Rys. 2. Zasilanie i obciążenie sieci stałociśnieniowej; a) generator ciśnienia, b) akumulator, c) układ obciążający

Fig. 2. Supply and load of constant pressure network: a) the hydraulic generator, b) the hydraulic accumulator, c) the system of loading the network

Badania eksperymentalne układu umożliwiły weryfikację modeli dynamicznych agregatu hydraulicznego wraz z jego układem sterowania i regulacji ciśnienia przy zasilaniu obciążanej w różny sposób sieci hydraulicznej z możliwością przyłączenia do niej akumulatora hydro-pneumatycznego. Dla tego celu układ wyposażono w elektroniczne układy sterowania agregatem oraz jednostką hydrostatyczną oraz w układy zbierania i elektronicznego przetwarzania danych dynamicznych.

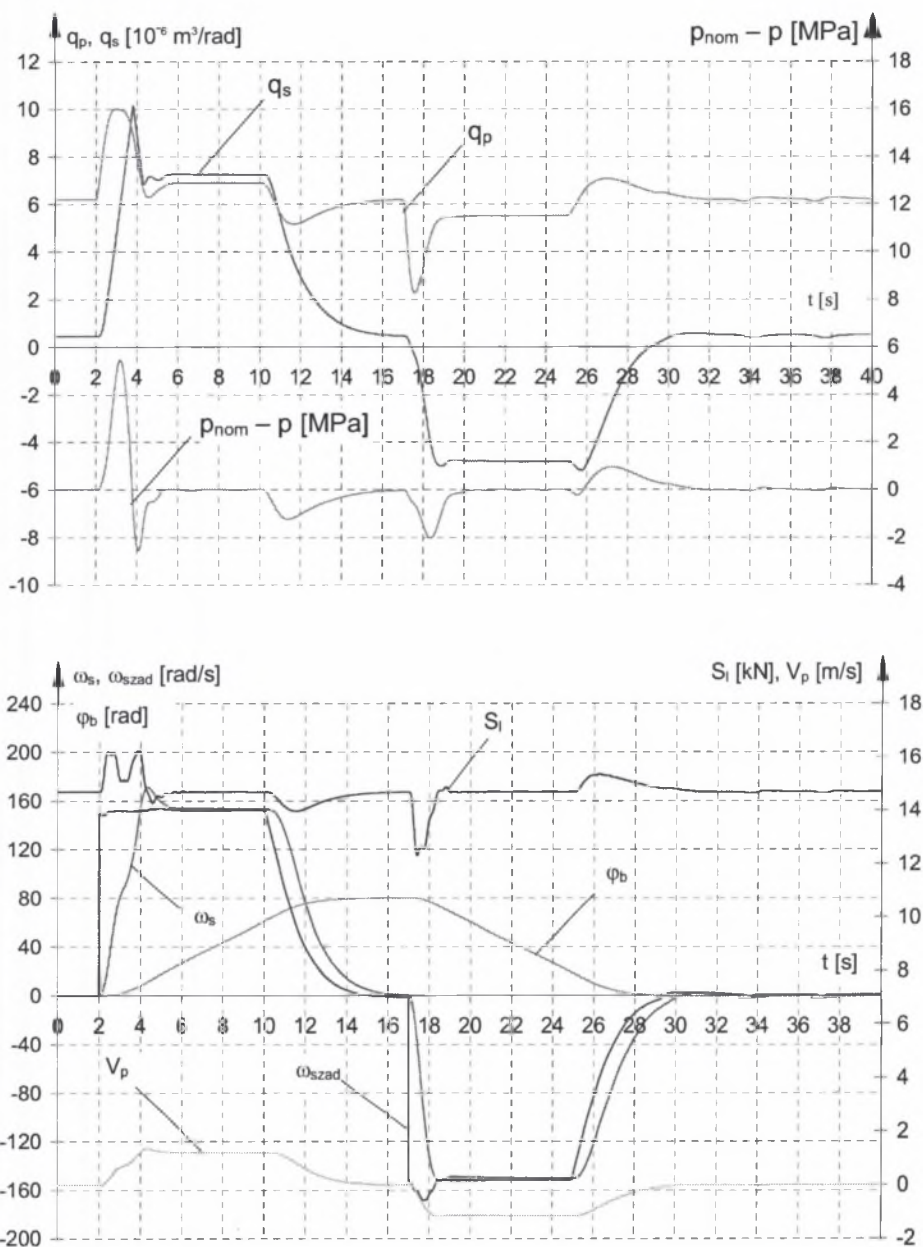
Zweryfikowane eksperymentalnie modele dynamiczne wykorzystano do badań symulacyjnych mających na celu zbadanie dynamiki pracy układu sieciowego obciążonego mechanizmem podnoszenia oraz określenia struktur i parametrów układów sterowania i regulacji, a także wpływu, jaki na dynamikę pracy całego układu wywiera akumulator hydro-pneumatyczny.

Przykładowe przebiegi dynamiczne odpowiednich wielkości dla automatycznie sterowanego cyklu roboczego mechanizmu podnoszenia zasilanego z sieci hydraulicznej bez akumulatora hydro-pneumatycznego i zasilanej z pompy o „wolnej dynamice” (minimalny czas zmiany wydajności pompy $t_{sp} = 1,5$ s) przedstawiono na rys. 3. Na rysunku tym widoczne są znaczne wahania ciśnienia w sieci zasilającej scharakteryzowane różnicą Δp ciśnienia nominalnego p_{nom} i chwilowego p oraz przekraczanie prędkości ω_s w stosunku do prędkości ruchu ustalonego wywołane pracą mechanizmu podnoszenia. Zastosowanie pompy o „szybszej dynamice”, nie zawsze możliwe dla agregatów zasilających o większej mocy, poprawia stabilizację ciśnienia sieci zasilającej oraz jakość regulacji prędkości przy podnoszeniu ładunku wywołuje jednak zjawisko przepadania ładunku przy jego opuszczaniu.

Poprawa jakości stabilizacji ciśnienia sieci zasilającej oraz jakości sterowania prędkością mechanizmu podnoszenia może być uzyskana poprzez przyłączenie do sieci zasilającej akumulatora hydro-pneumatycznego o odpowiedniej pojemności.

3. BADANIA WPŁYWU AKUMULATORA NA DYNAMIKĘ UKŁADU

Przeprowadzone badania miały na celu określenie jak wielkość akumulatora hydro-pneumatycznego wpływa na stabilizację ciśnienia w sieci hydraulicznej oraz dynamikę cyklu roboczego mechanizmu podnoszenia zasilanego z tej sieci.



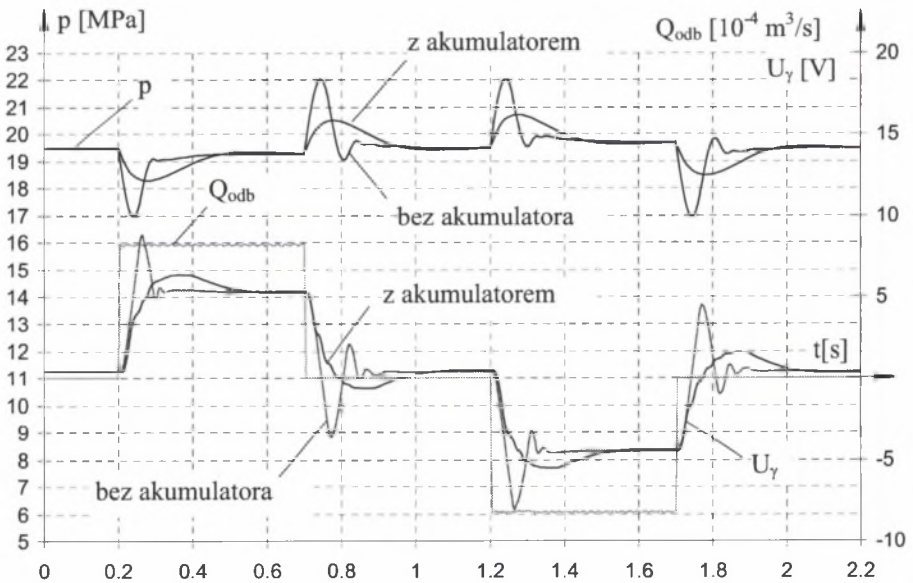
Rys. 3. Dynamika cyklu pracy mechanizmu podnoszenia; q_p, q_s – pojemności jednostkowe pompy i silnika hydraulicznego, $\Delta p = p_{\text{nom}} - p$ – odchyłka ciśnienia sieci od wartości nominalnej, S_1 – siła w linii mechanizmu podnoszenia, $\omega_s, \omega_{\text{szad}}$ – prędkość kątowa i zadana wału silnika hydraulicznego, ϕ_b – kąt obrotu bębna, v_p – prędkość liniowa ładunku

Fig. 3. The dynamics of working cycle of a hoisting gear q_p, q_s – input capacities of the hydraulic pump and motor, $\Delta p = p_{\text{nom}} - p$ – deviation of the network pressure from nominal value, S_1 – force in line of hoisting gear, $\omega_s, \omega_{\text{szad}}$ – the angle and task speed of shaft of hydraulic's motor, ϕ_b – rotary angle of drum, v_p – linear speed of load

3.1. Stabilizacja ciśnienia w sieci hydraulicznej

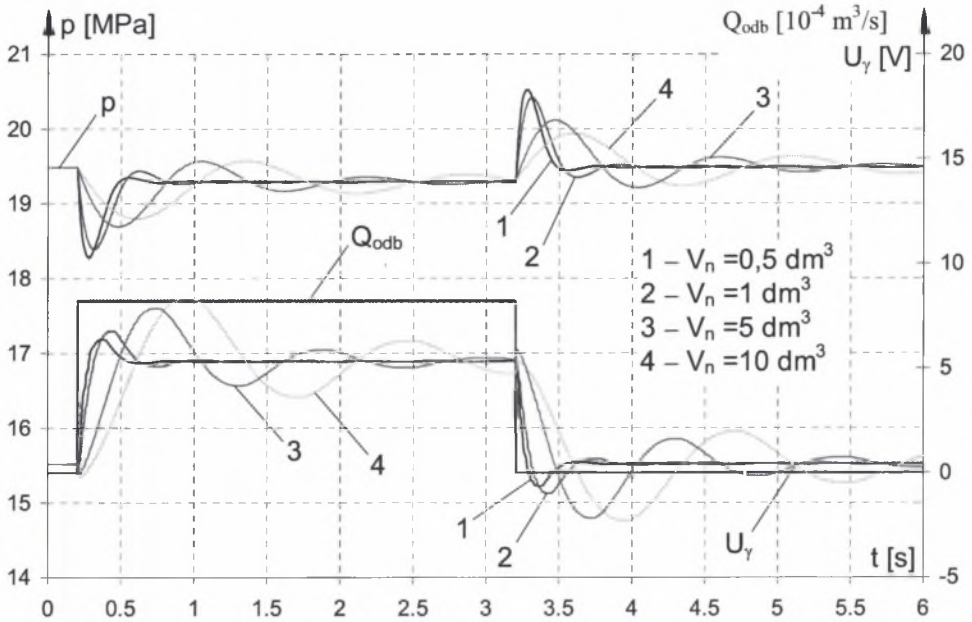
Do zbadania wpływu akumulatora na stabilizację ciśnienia w sieci hydraulicznej zastosowano obciążenie sieci za pomocą skokowego odpływu i dopływu cieczy roboczej do sieci hydraulicznej obciążonej zaworem dławiącym. Na rys. 4 przedstawiono przebiegi dynamiczne ciśnienia w sieci przy tego rodzaju obciążeniu dla układu z odłączonym i załączonym akumulatorem o pojemności $0,5 \text{ dm}^3$. Obserwuje się znaczne zmniejszenie wahań ciśnienia w sieci przy podłączeniu do niej akumulatora zarówno dla odpływu, jak i dopływu cieczy roboczej do sieci.

Zweryfikowany eksperymentalnie model dynamiczny takiego procesu wykorzystano do badań symulacyjnych określających wpływ pojemności akumulatora na dynamikę układu. Na rys. 5 przedstawiono przebiegi dynamiczne ciśnienia w sieci oraz kąta wychylenia tarczy pompy generatora zasilającego przy skokowym odpływie cieczy z sieci dla akumulatorów o różnej pojemności V_n . Powiększanie pojemności akumulatora zmniejsza nadwyżki dynamiczne ciśnienia, wydłuża jednak czas relaksacji drgań ciśnienia w sieci. Opracowany model dynamiczny może być wykorzystany przy doborze pojemności akumulatora dla sieci o zadanych parametrach technicznych.



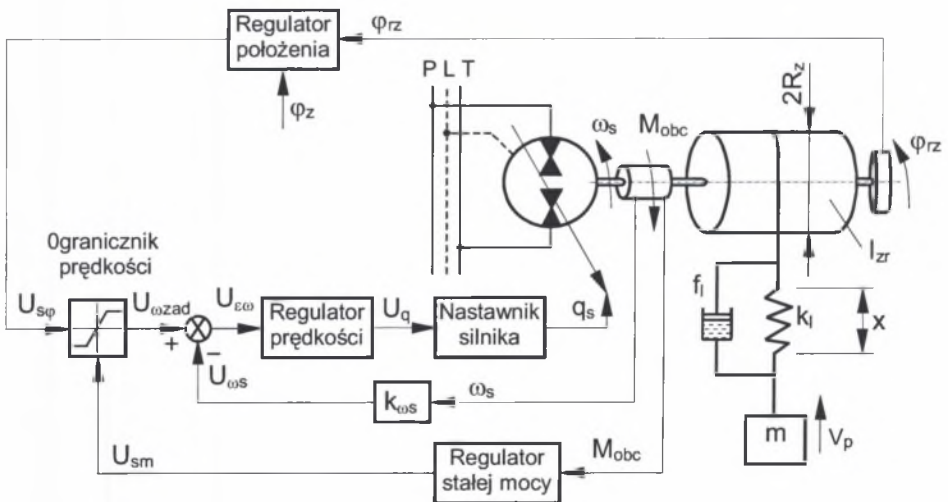
Rys. 4. Dynamika sieci hydraulicznej obciążonej zaworem dławiącym przy skokowym odpływie i dopływie cieczy roboczej; p – ciśnienie w sieci, Q_{odb} – natężenie przepływu przez zawór dławiący, U_γ – napięcie proporcjonalne do kąta wychylenia tarczy pompy generatora zasilającego

Fig. 4. The dynamics of hydraulic network loads throttle at load as an impulsive fluid inlet and outlet from the system; p – pressure in network, Q_{odb} – throttle's flow intensity, U_γ – the tension proportional to swivel angle of pump's generator's disc



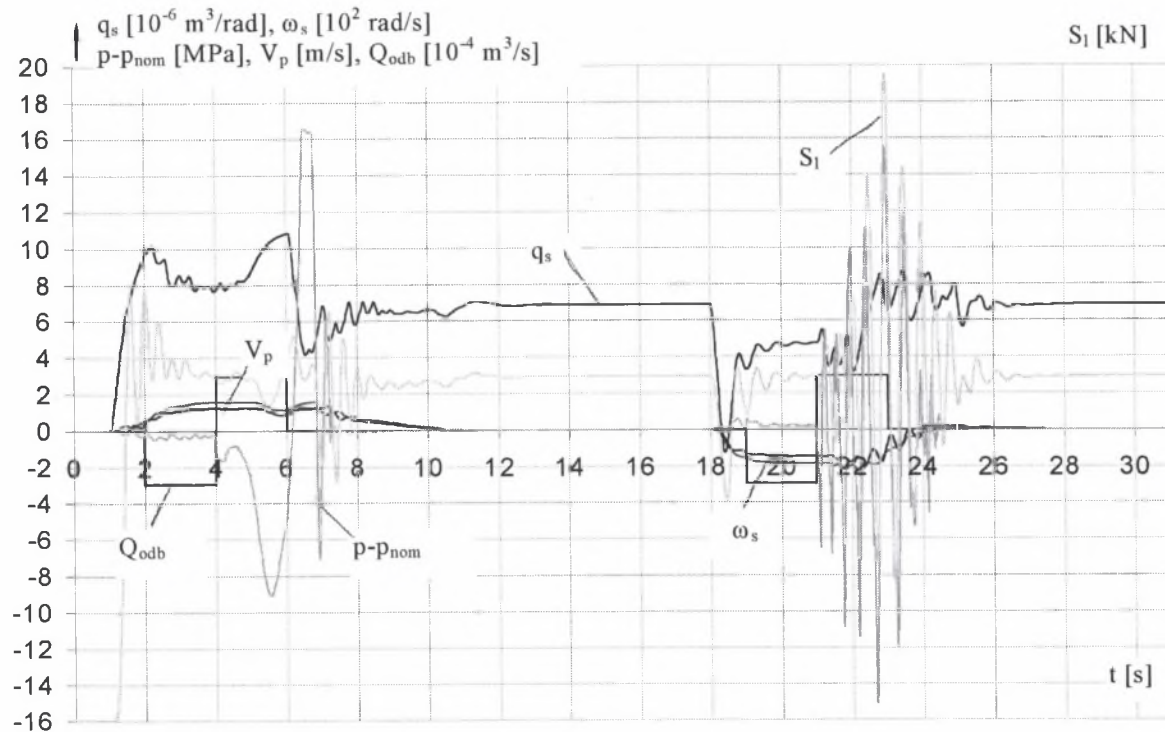
Rys. 5. Wpływ pojemności akumulatora na dynamikę sieci hydraulicznej obciążonej zaworem dławiącym (oznaczenia jak na rys. 4)

Fig. 5. The influence of the hydraulic accumulator's capacity on dynamic of hydraulic network loads throttle (marks such as on fig. 4)



Rys. 6. Zweryfikowany eksperymentalnie model dynamiczny mechanizmu wraz z układem sterowania i regulacji

Fig. 6. The dynamic model of the mechanism with automatic control and regulation system experimental verification



Rys. 7. Dynamika układu napędowego bez akumulatora przy ekstremalnym zakłóceniu przepływem w sieci hydraulicznej; p , p_{nom} – ciśnienie chwilowe i nominalne w sieci, q_s – pojemność jednostkowa silnika hydraulicznego mechanizmu podnoszenia, S_1 – siła w linii mechanizmu podnoszenia, ω_s – prędkość kątowa wału silnika hydraulicznego, v_p – prędkość liniowa ładunku

Fig. 7. The dynamic of power transmission system without hydraulic accumulator at extreme disturbance of flow in hydraulic network; p , p_{nom} – temporary and nominal pressure in network, q_s – input capacity of the hydraulic motor of hoisting gear, S_1 – force in line of hoisting mechanism, ω_s , ω_{szad} – the angle and task speed of shaft of hydraulic's motor v_p – linear speed of load

3.2. Dynamika mechanizmu podnoszenia zasilanego z sieci hydraulicznej

Wykonane obszerne badania dynamiki mechanizmu podnoszenia obejmowały między innymi badania wpływu, jaki na dynamikę pracy mechanizmu podnoszenia wywiera akumulator hydro-pneumatyczny. Zweryfikowany eksperymentalnie model dynamiczny mechanizmu wraz z układem sterowania i regulacji przedstawiony jest na rys. 6.

Cały układ napędowy wraz z siecią i agregatem zasilającym opisano w przestrzeni 24 zmiennych stanu sterowania i zakłóceń o postaci wektorowej:

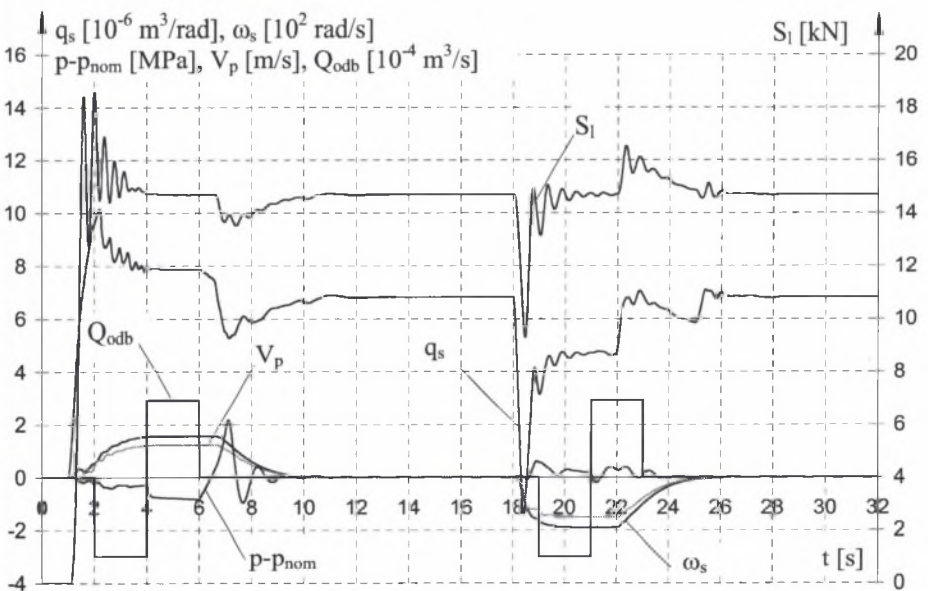
$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \mathbf{z}) \quad (1)$$

gdzie:

\mathbf{x} – wektor zmiennych stanu, \mathbf{u} – wektor zmiennych sterowania, \mathbf{z} – wektor zakłóceń.

Interesujące wyniki, obrazujące wpływ akumulatora hydro-pneumatycznego na dynamikę pracy mechanizmu podnoszenia i całego układu napędowego, otrzymano dla przypadku zakłócenia cyklu roboczego mechanizmu podnoszenia dodatkowym obciążeniem sieci hydraulicznej przez inne współpracujące z siecią odbiorniki mocy. Zakłócenie to wprowadzono w postaci skokowego odpływu i dopływu natężenia przepływu w czasie pracy mechanizmu sięgającego 98% sumarycznego zapotrzebowania natężenia przepływu w stosunku do nominalnej wydajności agregatu zasilającego.

Na rys. 7 przedstawiono dynamikę układu napędowego dla przedstawionego wyżej ekstremalnego przypadku obciążenia układu przy odłączonym od sieci akumulatorze. Wprowadzone zakłócenie wywołuje wzrost ciśnienia w sieci, które powoduje otwarcie zaworu ciśnieniowego pompy generatora, znaczne przeciążenia układu i utratę stabilności prędkości a zatem i przemieszczania ładunku.



Rys. 8. Dynamika układu napędowego z akumulatorem o poj. 10 dm^3 przy ekstremalnym zakłóceniu przepływem w sieci hydraulicznej (oznaczenia jak na rys. 7)

Fig. 8. The dynamic of power transmission system with hydraulic accumulator at extreme disturbance of flow in hydraulic network (marks such as on fig. 7)

Na rys. 8 przedstawiona jest dynamika układu napędowego z przyłączonym do sieci akumulatorem dla takiego samego, jak poprzednio, przypadku pracy i zakłócenia. Podłączenie do sieci akumulatora hydro-pneumatycznego o pojemności 10 dm^3 przynosi zdecydowaną poprawę dynamiki pracy układu zwiększając jego odporność na zakłócenia, które mogą wynikać z jednoczesnej pracy kilku mechanizmów zasilanych z sieci hydraulicznej.

4. PODSUMOWANIE

W wyniku badań układów napędowych ze sterowaniem wtórnym zasilanych z sieci stałociśnieniowych określono wpływ, jaki na dynamikę układu wywiera akumulator hydro-pneumatyczny. Ogólnie można stwierdzić korzystny wpływ akumulatora na dynamikę pracy mechanizmów oraz odporność układów na zakłócenia wynikające z jednoczesnej pracy mechanizmów. Opracowane modele dynamiczne mogą być wykorzystane przy projektowaniu tego typu układów do określenia minimalnej pojemności akumulatora wymaganej dla poprawnej pracy układów.

Literatura

1. Bednarski S., Cink J., Saryusz Wolski T.: Badania symulacyjne wciągarki hydrostatycznej ze sterowaniem wtórnym. Materiały Ogólnopolskiej Konferencji Maszyn Włókienniczych i Dźwigowych, Bielsko Białą 1993.
2. Bednarski S., Cink J., Saryusz Wolski T.: Stałociśnieniowe układy napędowe. Materiały VI Konferencji Rozwoju Podstaw, Budowy, Eksploatacji i Badań Maszyn Roboczych Ciężkich – w tym Budowlanych, Zakopane 1993.
3. Bednarski S., Gozdałik M., Halusiak S.: Regulacja prędkości odbiornika z uwzględnieniem dynamiki generatora stałego ciśnienia. *Hydraulika i Pneumatyka* 6, 2002.
4. Halusiak S.: Wpływ sposobu obciążenia sieci na pracę generatora stałego ciśnienia. Materiały II Konferencji Rozwoju Maszyn Pokładowych i Technik Przeladunkowych. Międzyzdroje 1995.
5. Halusiak S., Tomczyk J.: Wpływ pojemności akumulatora hydraulicznego na parametry dynamiczne regulatora ciśnienia. Materiały Konferencji „Transhydro 2001, Wrocław – Szklarska Poręba 2001.
6. Kollek W., Zarzycki M.: Tendencje rozwojowe hydraulicznych układów napędowych maszyn roboczych. *Problemy Maszyn Roboczych* Z.10, vol. 10, Warszawa 1997.
7. Kordak R.: Sekundärgeregelte hydrostatische Antriebe. *Ölhydraulik und Pneumatik* 9, 1985.
8. Nikolaus H.: Dynamik sekundärgeregelter Hydroeinheiten am eingepprägten Drucknetz. *Ölhydraulik und Pneumatik* 2, 1982.
9. Sobolewski W.: Napęd hydrostatyczny z regulacją wtórną. *Zeszyty Naukowe AGH, Mechanika*, t. 16, Kraków 1997.
10. Tomczyk J.: Modele dynamiczne elementów i układów napędów hydrostatycznych. WNT, Warszawa 1999.