ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994

Seria: MECHANIKA z. 115 Nr kol. 1230

Andrzej GARBACIK, Wieslaw CICHOCKI
Instytut Maszyn Roboczych
Politechnika Krakowska

NOWE SPOJRZENIE NA WPLYW ZAPOWIETRZENIA HYDRAULICZNEGO UKLADU W ŚWIETLE BADAŃ SYMULACYJNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawione zostały wyniki symulacyjnych badań nad wpływem zapowietrzenia hydraulicznego układu napędowego. W badaniach tych wykorzystano metodę bond grafu do modelowania przebiegu zjawisk dynamicznych. Ocena wpływu stopnia zapowietrzenia na przebieg zjawisk dynamicznych w układzie hydraulicznym przedstawiona zostala w oparciu o wartość amplitud i częstotliwości przebiegów ciśnieniowych uzyskanych przy wymuszeniu skokowym.

THE EFFECT OF AIR INFLUENCE IN A HYDRAULIC SYSTEM – SIMULATION MODELS

Summary. The paper presents the results of simulation reasearch of discrete models of a hydraulic system. The influence of air content has been numerically analysed with the use of bond-graphs notation.

VERPESTUNG HYDRAULISCHEN ANTRIEBSSYSTEME

Zusammenfaßung. In der vorliegenden Arbeit wurden den neuzeitlichen Blick auf der Einfluss der Verpestung Hydraulischen Antriebssysteme von schweren Baumaschinen im Lichte der Numerischuntersuchung dargestellt. Die vorgestellte Methode wurde auf die Notation von Bondgraphen gestutzt.

1. WSTĘP

Identyfikacja zjawisk dynamicznych zachodzących w hydraulicznych układach napędowych i sterujących maszyn jest niezwykle istotna przy projektowaniu i eksploatacji współczesnych układów hydraulicznych, gdy ma się na uwadze ich automatyzację. Stąd wynika potrzeba prowadzenia prac teoretycznych w zakresie modelowania matematycznego i identyfikacji zjawisk występujących w hydraulicznych elementach i układach mających realizować założone parametry dynamiczne [2].

W literaturze prezentowane są różne sposoby rozwiązania zagadnień dynamiki układów hydraulicznych przy czym wśród licznych problemów badawczych z tego zakresu warto zauważyć, że pomijane jest bardzo istotne zagadnienie wpływu stopnia zapowietrzenia układu hydraulicznego. Szkodliwy wpływ zapowietrzenia układu na jego pracę jest dotychczas niedoceniany [1].

W praktyce rozpowszechniony jest np. pogląd, że przy wzroście zapowietrzenia cieczy roboczej zjawiska dynamiczne związane z nagłym przesterowaniem układu mają charakter łagodniejszy, ponieważ moduł ściśliwości cieczy ulega znacznemu obniżeniu. Stąd przy obliczeniach układów korzysta się z modułu sprężystości niezapowietrzonej cieczy, który jak wiadomo może być w szerokim zakresie ciśnień traktowany jako stały, zakładając że działa się na rzecz zwiększenia zapasu bezpieczeństwa dla układu [3]. W przedstawianym artykule uwidocznione zostanie, że nieuwzględnienie stopnia zapowietrzenia układu hydraulicznego stanowić może źródło bardzo dużych błędów ilościowych i jakościowych oraz że problem zapowietrzenia należy traktować jako istotną nieliniowość przy modelowaniu hydraulicznych układów napędowych i sterujących. Warto tu podkreślić, że przedstawione przykładowe wyniki badań symulacyjnych znalazły pełne potwierdzenie w przeprowadzonych badaniach doświadczalnych, których ze względu na wymagania redakcyjne nie zamieszcza się w tym artykule.

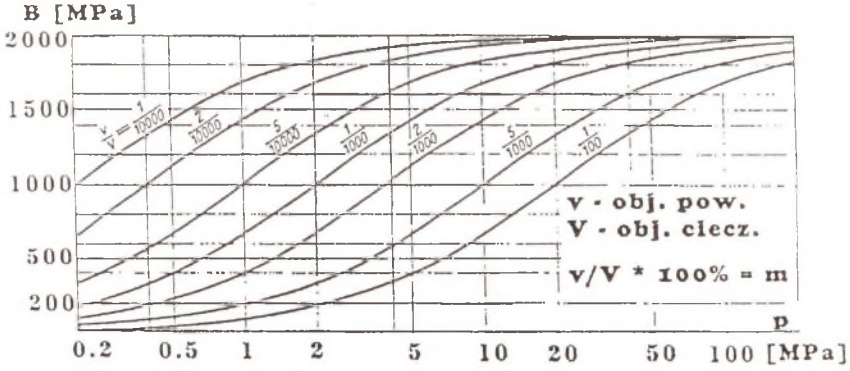
2. WŁAŚCIWOŚCI ZAPOWIETRZONEJ CIECZY ROBOCZEJ

W pracującym układzie hydraulicznym zachodzi ciągły ruch cieczy i zmienność warunków pracy, które mają wpływ zarówno na proces zapowietrzania się układu, jak również na inne zjawiska wynikające z zapowietrzenia cieczy. Stąd powietrze rozpuszczone w cieczy (które jak wiadomo nie ma wpływu na jej własności sprężyste) podlega dysorpcji i ujawnia się w układzie w postaci pęcherzyków powietrza. Ilość powietrza nie rozpuszczonego w cieczy zależna jest od wielu czynników, wśród których najważniejsze to: czas pracy układu, warunki pracy (w tym temperatura i ciśnienie), zmienność obciążeń, sposób zabudowy układu i jego stopień skomplikowania, rodzaj cieczy hydraulicznej, itp.. Innymi słowy w pracującym układzie hydraulicznym trzeba się liczyć zawsze z występowaniem pewnej ilości powietrza nierozpuszczonego, ilość którego ma decydujący wpływ na ściśliwość czynnika roboczego. Układ hydrauliczny tylko w pierwszej fazie pracy (przy rozruchu) może być traktowany jako pozbawiony powietrza nierozpuszczonego. Przy opisie zjawisk zachodzących podczas pracy układu i związanych z nią procesów sprężania i rozprężania cieczy roboczej zauważyć należy, że [1]:

- wzrostowi ciśnienia towarzyszy wzrost zdolności rozpuszczania powietrza w oleju, stąd zmienna jest objętość i wartość stopnia zapowietrzenia,
- obniżenie ciśnienia związane jest z obniżeniem granicy nasycenia i wydzielaniem z roztworu dodatkowej ilości powietrza w postaci pęcherzyków.
- zmiany stopnia zapowietrzenia "m" przy sprężaniu i rozprężaniu różnią się ze względu na "niejednokładność czasową" (w znaczeniu, że procesy te nie są wzajemnie odwzorowywalne) zachodzących procesów.

Ponadto istotna jest także szybkość sprężania i rozprężania cieczy. Przy bardzo powolnym sprężaniu ciepło powstałe w pęcherzykach powietrza ulega rozproszeniu w mieszaninie i proces przebiega izotermicznie, natomiast przy bardzo szybkim narastaniu ciśnienia proces sprężania pęcherzyków jest adiabatyczny.

Powyższe powoduje, że ujęcie procesu sprężania i rozprężania mieszaniny oleju i powietrza w ścisłe zależności matematyczne napotyka na przeszkody trudne do pokonania. Stąd przy analizie pracy hydraulicznego układu celowe jest prowadzenie analizy przy określonym doświadczalnie stopniu zapowietrzenia i przy wykorzystaniu charakterystyk określających moduł ściśliwości danego czynnika roboczego w funkcji ciśnienia i stopnia zapowietrzenia. Przykładowo (wg [4]) na rys.1 przedstawiono wykres zmiany adiabatycznego modułu sprężystości B dla oleju hydraulicznego typu HYDROL w funkcji ciśnienia i stopnia zapowietrzenia m. Na podstawie przedstawionej rys.1 charakterystyki dokonana została analiza numeryczna prezentowanego problemu.



Rys. 1. Wpływ zawartości powietrza na moduł sprężystości mieszaniny oleju z powietrzem dla cieczy o module $B=2\cdot10^3$[MPa] w funkcji ciśnienia p i procentowej zawartości powietrza m

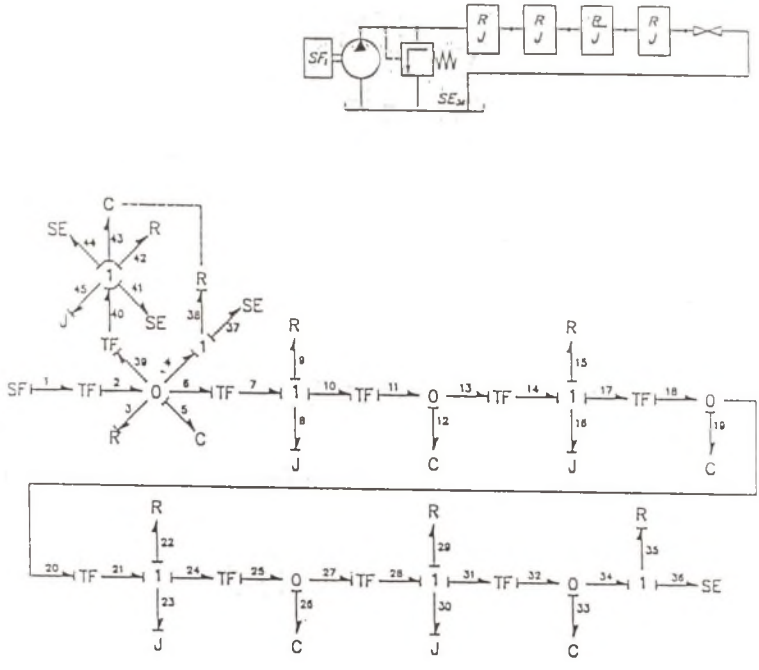
Fig. 1. Relationship between pressure and bulk modulus of aerated oil

3. BADANIA SYMULACYJNE

Badania symulacyjne prowadzono dla układu zasilania składającego się z pompy o stałym wydatku, zaworu przelewowego i linii hydraulicznej reprezentowanej przez czteromasowy układ oraz zawór odcinający. Przy obliczeniach numerycznych przyjęto następujące dane: objętościowe natężenie przepływu $Q=f_2=160$ l/min; ciśnienie ustawienia zaworu przelewowego $p_z=8.0$ MPa; gęstość oleju $\rho=840$ kg/m^3 ; średnica i długość przewodu wynosiły odpowiednio d=20 mm, l=12 m ; ciśnienie w linii zlewowej $p_0 = 0$. Wymuszenie w układzie realizowano poprzez skokowe przesterowanie zaworu odcinającego (czas zamknięcia zaworu t_z =0). Badania symulacyjne prowadzono wykorzystując do opisu

układu metodę bond-grafów (pakiet systemowy CADSIM). Na rys. 2 przedstawiono bond-graf tego układu z uwzględnieniem wszystkich istotnych parametrów jego pracy. Parametry dynamiczne układu odwzorowane są w poszczególnych jego węzłach poprzez kapacytancję - C, inertancję - I oraz rezystancję - R.

Sprężystość cieczy zapowietrzonej (uwzględniającej nieliniową zależność jej modułu ściśliwości w funkcji zapowietrzenia m i odpowiadającej wartości ciśnienia lokalnego w analizowanym punkcie linii hydraulicznej) odzwierciedlają grafy C_6, C_{12}, C_{19}, C_{26}, C_{33}.

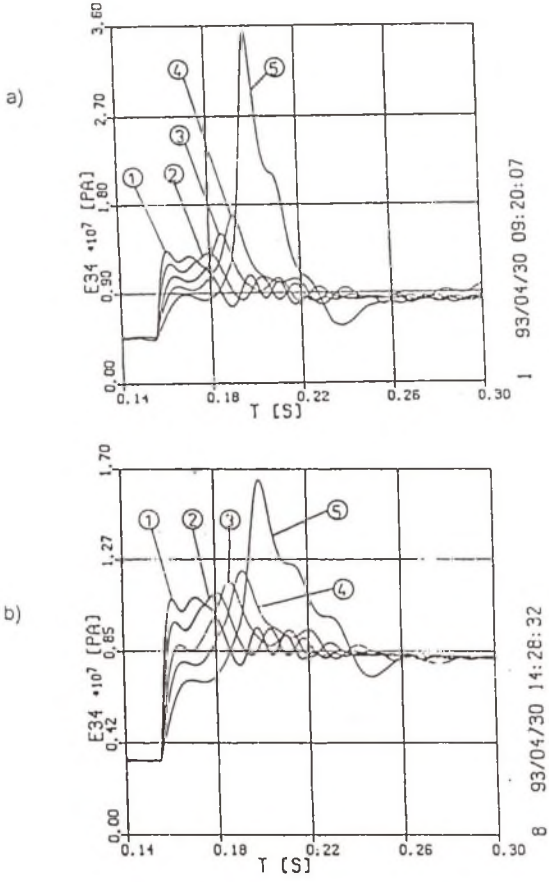


Rys. 2. Bond graf układu hydraulicznego
Fig. 2. Power bond model of hydraulic system

Eksperyment numeryczny realizowano badając dla różnych punktów przedstawionego układu wpływ rezystancji linii hydraulicznej (reprezentującej zmiany lepkości cieczy roboczej) oraz wpływ stopnia zapowietrzenia na przebieg i maksymalną wartość ciśnień w układzie. Wyniki tych badań przedstawiono na kolejnych wykresach (rys.3 i rys.4).

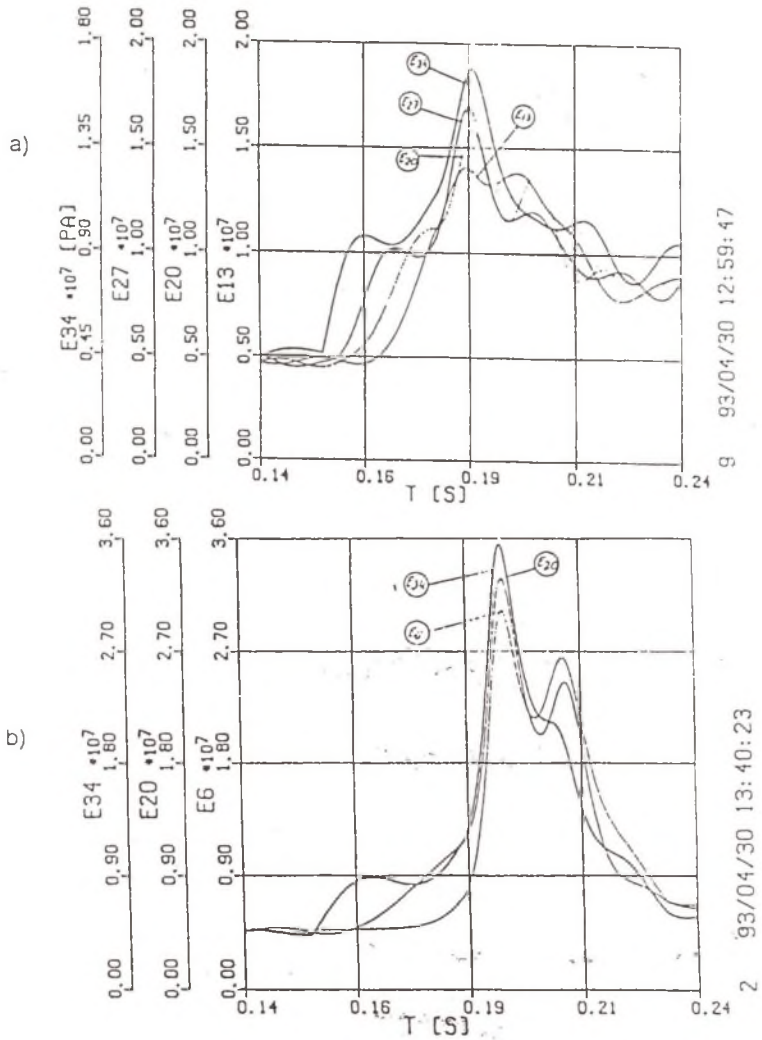
Z przedstawionych wykresów wynika, że wielkość nadwyżki dynamicznej w układzie zależy głównie od stopnia zapowietrzenia układu. Szczególnego podkreślenia wymaga fakt, że pulsacje ciśnienia propagują się w analizowanym układzie mimo zainstalowania w nim zaworu przelewowego.

Analizę numeryczną przeprowadzono przy wykorzystaniu pakietu symulacyjnego ACSL, stosując procedury obliczeniowe języka FORTRAN-5.1 (algorytmy całkujące Runge-Kutta-Fehlberga).



Rys. 3. Przebiegi czasowe ciśnienia dla punktu 34 (na zaworze odcinającym) układu hydraulicznego dla różnych stopni zapowietrzenia, gdzie: 1) 0% , 2) 0.1%, 3) 0.3%, 4) 0.5%, 5) 1.0% ; rys. a) dla lepkości kinematycznej $\nu=50\cdot10^{-4}m^2/s$; rys. b) $\nu=500\cdot10^{-4}m^2/s$

Fig. 3. Pressure versus time at point 34 by the different content of air in a hydraulic system where: 1) 0% , 2) 0.1%, 3) 0.3%, 4 0.5%, 5) 1.0% ; fig. a) for kinematic viscosity $\nu=50\cdot10^{-4}m^2/s$; fig. b) $\nu=500\cdot10^{-4}m^2/s$



Rys. 4. Przebiegi czasowe ciśnienia w różnych punktach układu przy lepkości kinematycznej $\nu = 50 \cdot 10^{-4} m^2/s$; rys a) przy stopniu zapowietrzenia m=0.5%, rys b) - 5.0%

Fig. 4. Pressure versus time at different points of a hydraulic system, for kinematic viscosity $\nu = 50 \cdot 10^{-4} m^2/s$; fig. a) for the content of air in the system m=0.5% fig. b) - 5.0%

4. PODSUMOWANIE

Ilość powietrza nie rozpuszczonego w cieczy ma istotny wpływ na pracę układu hydraulicznego. Przy wzroście stopnia zapowietrzenia z jednej strony zmniejsza się jego sztywność, co w konsekwencji prowadzi do mniej dokładnej reakcji układu na zadaną zmianę parametrów pracy (np. błędy pozycjonowania), z drugiej zaś strony prowadzi do zwielokrotnienia nadwyżki dynamicznej ciśnienia przy przesterowaniu. Tak na przykład dla cieczy nie zapowietrzonej współczynnik nadwyżki dynamicznej k nie przekracza wartości k=2.0 , natomiast przy zapowietrzeniu cieczy, gdy m=1% wartość k=3.5 (gdzie k określa stosunek wartości maksymalnego ciśnienia w danym punkcie układu do wartości ciśnienia w stanie ustalonym). Łączy się to z propagacją pulsacji o wysokiej częstotliwości w układzie, przy czym ze względu na ich częstotliwość zawór przelewowy pozostaje zamknięty i nie zabezpiecza układu przed ich wpływem. Dodatkowym skutkiem zapowietrzenia układu jest zmiana częstotliwości własnej. Przykładowo przy m=1% zmniejsza się czestotliwość własna układu o około 30%. Sprężanie i rozprężanie powietrza w cieczy hydraulicznej zgodnie z cyklem pracy układu powoduje duże straty energii i niekorzystny wzrost temperatury cieczy (praca sprężania cieczy zamieniana jest na ciepło, a zatem jest tracona). Wartość strat tej energii jest tym większa, im mniejsza jest wartość modułu ściśliwości objętościowej cieczy. Nierozpuszczone powietrze sprzyja powstawaniu zjawiska kawitacji i związanej z nią erozji kawitacyjnej, a zawarty w powietrzu tlen przyspiesza proces starzenia cieczy. Na podstawie przedstawionych rozważań można stwierdzić, że powietrze wpływa wyłącznie ujemnie na fukcjonalność, trwałość i sprawność układów hydraulicznych. Dlatego też niezbędne jest działanie w kierunku zmniejszenia zawartości powietrza w cieczy we wszystkich jego postaciach.

LITERATURA

[1] Balawender A. i inni.: Napędy hydrauliczne. Politechnika Gdańska, Gdańsk 1983,
[2] Garbacik A.: Modelowanie hydraulicznych układów napędowych maszyn roboczych. Politechnika Krakowska, monografia 155, Kraków 1993,
[3] Garbacik A.,Cichocki W.: Zastosowanie grafów więzów do modelowania elementów i układów hydraulicznych. Mat. Konf. pt:"Sterowanie i napędy hydrauliczne - 93", Wrocław 1993,
[4] Guillon M.: Teoria i obliczanie układów hydraulicznych. WNT – Warszawa 1966,
[5] Stecki J.S.: Hydraulic System Analysis - Power Flow Modelling Techniques. The BFPR, Journal, Australia 1981,
[6] Szewczyk K.: Wpływ obniżonej temperatury na charakterystyki układów maszyn roboczych ciężkich. Politechnika Krakowska, monografia 124, Kraków 1991,
[7] Wojnarowski J.: Graphs & Mechanics - First International Conference. Poland 1993,

Recenzent: Prof. dr hab. inż Ryszard Gryboś

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1993 r.

Abstract

The paper presents the results of simulation research of discrete models of a hydraulic system. Bond-graph method is applied for description and modelling dynamic phenomena. Amount of air indissoluble in liquid has important influence on a hydraulic system work. Increase of an aeration level decreases stiffness of liquid and in consequence this leads to the less precise system reaction to the excited change of work parameters. On the other hand this implies the enlargement of pressure dynamic surplus during an over-control.

Thus for instance when liquid is not aerated the coefficient of dynamic surplus k does not exceed the value k=2.0 and by the aeration level m=1% the value is k=3.5 (where k denotes the relation of the maximum pressure value at a given point of a system to the pressure at the stationary state). This high level of k is connected with high frequency impulses propagation along the system and according to this frequency the blow-off valve remains closed and does not prevent the system against the harmful influence of impulses.

Indissoluble air causes an occurrence of the cavitation phenomenon and the cavitational erosion connected with it and oxygen involved in air accelerates the ageing process of liquid.

On basis of the presented analyses it can be notice that air presence in a hydraulic system has only negative influence on functionality, durability and efficiency of hydraulic systems. Therefore it is indispensable keeping activity to avoid or decrease amount of air in liquid - in any forms.