

ŹRÓDŁA SYGNAŁÓW DIAGNOSTYCZNYCH W UKŁADACH HYDRAULICZNYCH

Piotr MENCHEN

Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Wydział Mechaniczny
Katedra Maszyn Roboczych i Pojazdów
85-796 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7; e-mail: menchen@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

Stan techniczny układu hydrauliki siłowej w maszynie roboczej można określić na podstawie sygnałów diagnostycznych generowanych przez elementy tego układu. W artykule przedstawiono źródła sygnałów diagnostycznych w elementach układów hydraulicznych oraz model generowania tych sygnałów.

Słowa kluczowe: sygnał diagnostyczny, układ hydrauliki siłowej

THE SOURCES OF DIAGNOSTIC SIGNALS IN HYDRAULIC SYSTEMS

Summary

The technical condition of force hydraulic system in working machines is been possible to qualify on basis of diagnostic signals generated in this system. In this report there are introduced the sources of diagnostic signals in elements of hydraulic systems and the model of generating these signals.

Keywords: diagnostic signal, force hydraulic system

1. WSTĘP

Ocena stanu technicznego elementów układu hydrauliki siłowej może być dokonana bezpośrednio lub pośrednio. Metody bezpośrednio polegają na badaniu poszczególnych elementów lub współdziałania elementów, co wymaga najczęściej czasochłonnego i kosztownego demontażu układu. Metody pośrednie oceny stanu oparte są na obserwacji sygnałów lub procesów związanych z działaniem układu hydraulicznego, na podstawie których wnioskuje się o stanie diagnozowanego układu.

Sygnałem diagnostycznym nazywamy dowolny nośnik materialny, charakteryzujący zmiany wielkości fizycznej, umożliwiającej przenoszenie w czasie i przestrzeni wiadomości o stanie technicznym układu [2]. Opis sygnału diagnostycznego dokonywany jest za pomocą zbioru charakterystycznych cech, które mogą być przedstawione w postaci liczbowej lub za pomocą funkcji algebraicznych. Działanie, którego wynikiem jest zbiór cech charakteryzujących sygnał nazywamy analizą sygnału diagnostycznego.

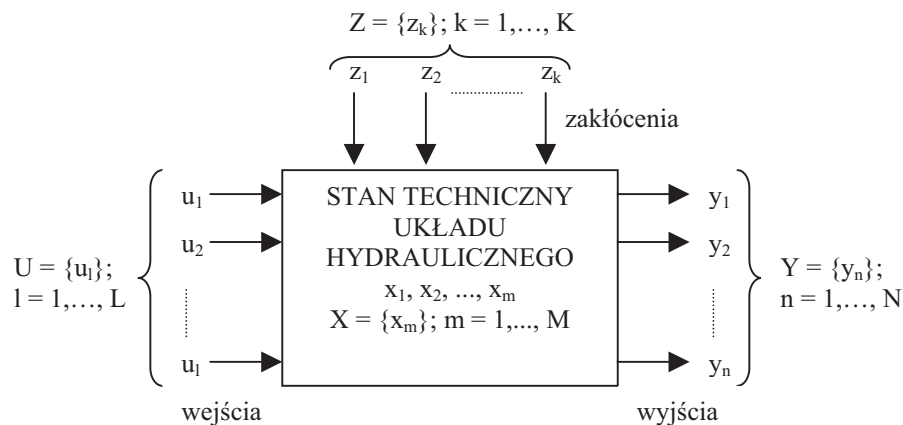
2. SYGNAŁY DIAGNOSTYCZNE W UKŁADZIE HYDRAULICZNYM

Losowy charakter procesu eksploatacji oraz złożoność układów hydrauliki maszynowej powodują, iż bezpośrednio przewidywanie relacji pomiędzy cechami sygnałów diagnostycznych

i cechami stanu układu hydrauliki siłowej jest utrudnione, a czasami niemożliwe. Mierzalne sygnały wyjściowe Y (sygnały diagnostyczne) zależą bowiem od zbioru U zmiennych wejściowych (wymuszenia) i zbioru X cech stanu układu hydrauliki maszynowej. Na układ wpływa równocześnie zbiór Z zmiennych zakłóceń (rys. 1).

Zbiór zmiennych wejściowych U określa oddziaływanie urządzeń diagnostycznych lub warunki pracy układu hydrauliki siłowej (zasilanie i sterowanie) podczas diagnozowania. W badaniach diagnostycznych zakłada się niezmiennosc zbioru U, aby przyczyną wszelkich zmian sygnałów diagnostycznych były zmiany zachodzące w układzie hydraulicznym. W układach hydraulicznych maszyn roboczych do zbioru zmiennych wejściowych U można zaliczyć następujące parametry:

- Obroty pompy hydraulicznej,
- Wydatek pompy hydraulicznej,
- Wartości ciśnienia oleju hydraulicznego po stronie tłocznej pompy,
- Wartości ciśnienia nastawione na zaworach przelewowych lub bezpieczeństwa,
- Stopień dławienia na zaworach dławiących,
- Napięcie zasilające cewki magnetyczne zaworów elektrohydraulicznych,
- Poziom oleju hydraulicznego w zbiorniku.



Rys. 1. Powiązania zbiorów wielkości opisujących układ hydrauliki siłowej [1][3]

Zbiór zmiennych zakłóceń Z w przypadku układów hydraulicznych obejmuje:

- Warunki otoczenia, których dokładne określenie w chwili badania diagnostycznego nie jest możliwe, tj. wilgotność, temperatura, stopień czystości powietrza atmosferycznego;
- Warunki diagnozowania, których utrzymanie na stałym poziomie w chwili badania diagnostycznego jest niemożliwe, tj. temperatura oleju hydraulicznego, obciążenie elementów wykonawczych takich jak siłowniki hydrauliczne;
- Cechy stanu układu hydraulicznego, które nie zostały uwzględnione w prowadzonych badaniach diagnostycznych;
- Błędy urządzeń diagnostycznych, zainstalowanych czujników pomiarowych, błędy dopasowania czujników do wartości mierzonych parametrów itp.

Zbiór X zmiennych stanu układu hydrauliki siłowej maszyny roboczej opisuje aktualny stan badanego układu hydraulicznego. Stan badanego układu jest określony wtedy, jeżeli znane są wartości wszystkich, istotnych względem kryterium decyzyjnego, niezależnych cech stanu. Zbiór niezależnych cech stanu jest zbiorem minimalnym, ponieważ nie zawiera cech zbędnych, nie wnoszących istotnych informacji o stanie układu hydraulicznego.

Zbiór Y zmiennych wyjściowych przedstawia zbiór sygnałów wyjściowych traktowanych w diagnostyce technicznej jako sygnały diagnostyczne.

W diagnostyce technicznej układów hydrauliki siłowej informacje o stanie diagnozowanego układu uzyskuje się poprzez obserwację procesów roboczych zachodzących w układzie oraz procesów towarzyszących, będących wtórnym efektem procesów podstawowych. Podstawowe procesy zachodzące w układach hydrauliki siłowej oraz ich

parametry, które mogą być sygnałami diagnostycznymi przedstawiono w tabeli 1.

Przytoczony podział ułatwia wybór nośników informacji diagnostycznej o dużej pojemności informacyjnej i dużej podatności diagnostycznej. Stan techniczny elementów układów hydraulicznych określa się najczęściej za pomocą następujących parametrów:

- ciśnienie mierzone w różnych punktach układu (MPa),
- różnica ciśnień pomiędzy dwoma punktami układu Δp (MPa),
- pulsacja ciśnienia Δp (MPa),
- objętościowe natężenie przepływu cieczy roboczej w określonych punktach układu hydraulicznego (dm^3/min),
- przecieki wewnętrzne w elementach układu (dm^3/min),
- temperatura cieczy roboczej ($^{\circ}\text{C}$),
- dynamika wzrostu temperatury elementów układu ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$);
- klasa czystości cieczy roboczej,
- charakterystyka zanieczyszczeń cieczy roboczej (analiza spektralna),
- czasy trwania ruchów roboczych elementów wykonawczych (s),
- prędkości obrotowe lub liniowe elementów wykonawczych (min^{-1} ; m/s),
- natężenie prądu elektrycznego (A),
- napięcie prądu elektrycznego (V),
- poziom hałasu (w pompach i silnikach hydraulicznych) (dBA),
- amplitudy – ciśnienia, drgań elementów układu itp.

Tabela 1.

Procesy zachodzące w układach hydrauliki siłowej i ich podstawowe parametry [1]

PROCESY ROBOCZE		PROCESY TOWARZYSZĄCE	
Przetwarzanie energii chemicznej w energię mechaniczną	Podciśnienie, parametry pulsacji ciśnienia, ciśnienie sprężania, max. ciśnienie spalania, temp. spalania, skład spalin, moc efektywna, prędkość obrotowa, moment obrotowy, zużycie paliwa	Procesy termiczne	Temperatura, dynamika zmian temperatury, obraz rozkładu temperatury
Przetwarzanie energii elektrycznej w energię mechaniczną	Spadki napięć, natężenie prądu elektrycznego, moment i prędkość obrotowa, moc, napięcie	Starzenie	Lepkość cieczy roboczej, wskaźnik lepkości, gęstość, zawartość wody, stan uszczelnień spoczynkowych
Przetwarzanie energii mechanicznej w energię ciśnienia	Ciśnienie, parametry pulsacji ciśnienia, obroty pompy, moc efektywna pompy, natężenie przepływu, temperatura pompy	Zaburzenia przepływu	Spadek ciśnienia, przecieki wewn. i zewnętrzne, spadek siły i momentu obrotowego
Przenoszenie energii	Ciśnienie, spadek ciśnienia, temperatura, natężenie przepływu	Procesy wibroakustyczne	Miary w dziedzinie czasu, amplitud i częstotliwości
Zamiana energii ciśnienia na energię mechaniczną	Moc, moment obrotowy, chłonność, droga, siła, prędkość, przyspieszenie, obroty	Procesy zużycia	Klasa czystości cieczy roboczej, stan uszczelnień ruchowych, przecieki wewnętrzne

3. MODEL GENEROWANIA SYGNAŁU DIAGNOSTYCZNEGO

Ocena stanu układu hydraulicznego maszyny roboczej za pomocą generowanych przez nie procesów fizycznych wymaga jednoznacznego skojarzenia parametrów funkcjonalnych układu ze zbiorem miar i ocen procesów wyjściowych wykorzystywanych w diagnostyce. Aby w pełni wykorzystać informacje o stanie technicznym diagnozowanego układu zawarte w emitowanych sygnałach wyjściowych należy poznać mechanizm ich generowania.

Podczas pracy, na skutek występowania szeregu czynników zewnętrznych (wymuszeń), w maszynie roboczej i jej układach następują zaburzenia stanów równowagi, które rozchodzą się w ośrodku sprężystym (materiale, z którego zbudowana jest maszyna). Zaburzenia te mają charakter dynamiczny i zachowują warunki równowagi pomiędzy stanami: bezwładności, sprężystości, tłumienia i wymuszenia. Zaburzenia rozchodzą się od źródeł w postaci fal w sposób zależny od własności fizycznych oraz granic konfiguracji, wymiarów i kształtu elementów składowych układu

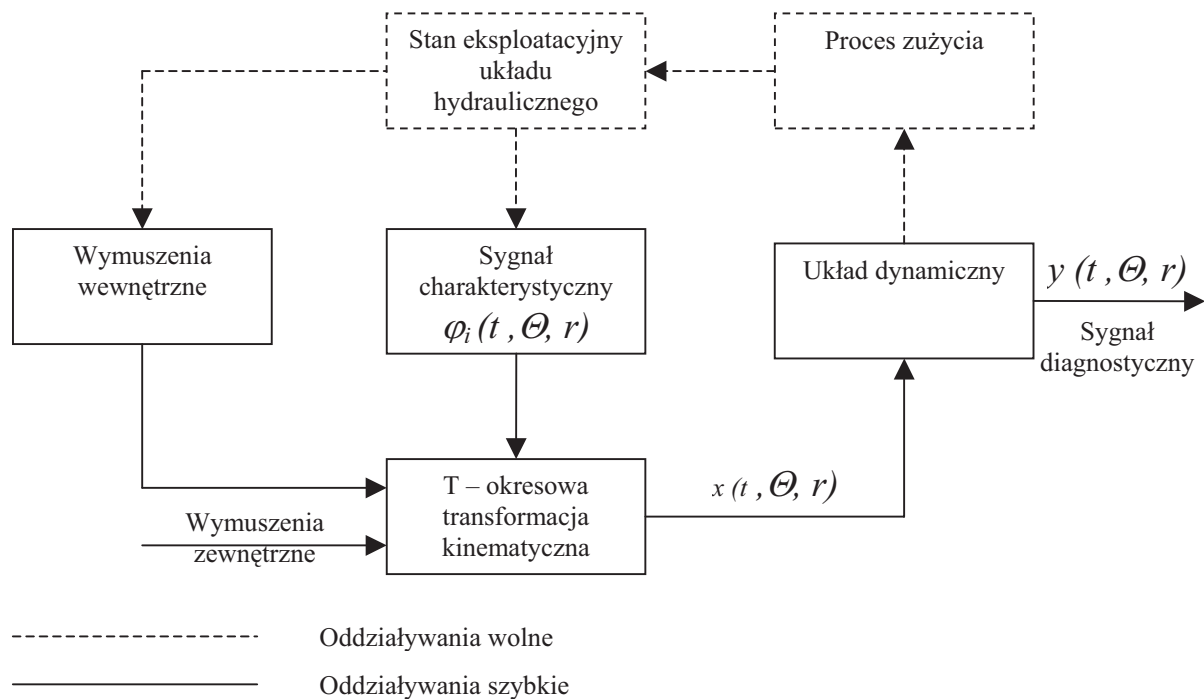
hydraulicznego. Wyodrębniając podczas analizy stanu dynamicznego układu hydrauliki siłowej procesy wejściowe, strukturę układu oraz procesy wyjściowe, należy pamiętać o ich losowym charakterze. Wejście wewnętrzne, traktowane jako zbiór wielkości wymuszających i określających strukturę układu hydraulicznego oraz sposób współpracy elementów składowych układu jest kształtowane w sposób losowy w trakcie procesu wytwarzania i ujawnia się własnościami losowymi w czasie eksploatacji.

Wejście zewnętrzne, określające warunki współpracy podsystemu, w skład którego wchodzi układy hydrauliczne, z pozostałymi podsystemami maszyny roboczej (np. podsystem napędowy) ma również charakter losowy. Charakter tych wymuszeń oraz sposób, w jaki przebiegają generowane przez nie procesy stanowią z reguły o własnościach losowych wykorzystywanych w diagnostyce procesów wyjściowych, prowadząc do budowy deterministyczno - probabilistycznych modeli diagnostycznych. Składowa deterministyczna modelu przedstawia idealną strukturę niezbędną do realizacji zadania i pozostającą niezmienną w czasie eksploatacji. Składowa probabilistyczna przedstawia

indeterminizm uwzględniający rzeczywistość - odchyłki od stanu idealnego na skutek losowości struktury i zdarzeń w procesie eksploatacji.

Duże prawdopodobieństwo zaistnienia losowości oraz zakłóceń wymaga poczynienia dodatkowych założeń dotyczących wejść oraz zachodzących transformacji stanów układu hydrauliki maszynowej.

W rezultacie istnienia wejścia i realizacji transformacji stanów reprezentujących procesy zachodzące w układzie hydraulicznym powstaje szereg dających się mierzyć objawów charakterystycznych zawartych w procesach wyjściowych z układu. Procesy te stanowią podstawę budowy modelu generacji sygnałów, determinującego sposób budowy, funkcjonowania i zmian stanu diagnozowanego układu hydraulicznego.



Rys. 2. Model generowania sygnału diagnostycznego w elementach hydraulicznych o ruchu okresowym [1][4]

Dla elementów układu hydraulicznego, takich jak pompy i silniki hydrauliczne, o stałym ruchu okresowym T i losowych zakłóceniach, model generowania sygnałów diagnostycznych (rys. 2) posiada następujące cechy [4]:

- Stan elementu jest jednoznacznie określony przez charakterystyczny sygnał $\varphi(t, \Theta)$ generowany oddzielnie przy każdym obrocie wału pompy lub hydraulicznego silnika obrotowego (suwie w przypadku silników liniowych). Sygnał ten ulega zmianom w czasie dynamicznym t oraz ewolucji w czasie wolnym Θ .
- Sygnał charakterystyczny składa się z procesu zdeterminowanego φ_0 i przypadkowego n , a jego intensywność i dynamika zmian charakteryzują stan elementu układu hydraulicznego. Podczas i -tego obrotu (suwu) generowany jest sygnał φ_i .

$$\varphi_i(t, \Theta) = \varphi_0(t, \Theta) + n_i(t, \Theta),$$

$$t \in (\Theta, T)$$

- Ruch okresowy elementu układu hydraulicznego przekształca sygnał charakterystyczny przez transformację kinematyczną na sygnał $x(t, \Theta)$. W pierwszym przybliżeniu transformację tę traktujemy jako T – okresowe powtarzanie sygnału okresowego:

$$x(t, \Theta) = \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i(t - iT, \Theta) u(t - iT) =$$

$$= \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i(t, \Theta) * \delta(t - iT)$$

gdzie:

$$u(q) = \begin{cases} 0, & q \leq 0 \\ 1, & q > 0 \end{cases}$$

(*) – operacja splotu

$\delta(t - iT)$ – okresowa dystrybucja Diraca

- Przekształcony sygnał charakterystyczny będący odwzorowaniem oddziaływań

dynamicznych jest odbierany jako $y(t, \Theta)$ i w najprostszym przypadku jest odpowiedzią układu dynamicznego o charakterystyce impulsowej $h(t, \Theta)$ na wymuszenie $x(t, \Theta)$. Po uwzględnieniu rozległości przestrzennej r elementu układu hydraulicznego otrzymujemy:

$$y(t, \Theta, r) = \sum_{i=1}^{\infty} \varphi_i(t, \Theta, r) * h(t, \Theta, r) \cdot \delta(t - iT)$$

- Procesy wyjściowe z elementów układu hydrauliki maszynowej wpływają zwrotnie na procesy zużyciowe występujące w tych elementach i w dalszej kolejności na stan eksploatacyjny układu przez dodatnie, destrukcyjne sprzężenie zwrotne, zniekształcając sygnał $\varphi_i(t, \Theta)$.
- Dla ustalonej wartości czasu eksploatacji wszystkie obiekty dynamiczne traktowane są jako liniowe, stacjonarne układy, których własności opisuje jednoznacznie odpowiedź impulsowa $h(t, \Theta, r)$ albo jej transformaty: operatorowa Laplace'a $H(p, \Theta)$ lub widmowa Fouriera $H(j\omega, \Theta)$.

Z analizy oddziaływań wolnych i szybkich przedstawionych na rysunku 2 wynika, że przy założeniach liniowości i stacjonarności układu dynamicznego $h(t, \Theta, r)$ sygnał diagnostyczny $y(t, \Theta, r)$ będzie T -okresowy, co może być wykorzystane do orzekania o okresowości funkcjonowania maszyn roboczych.

Przedstawiony model generacji sygnału diagnostycznego w elementach układów hydraulicznych jest w ogólnym przypadku oddziaływań okresowych prawdziwy, lecz nie zawsze prosty. W większości przypadków układy hydrauliki maszynowej są złożone i mamy wówczas do czynienia z dużą ilością zdarzeń elementarnych, przy czym najczęściej nie mają one wspólnego okresu T , lecz zawsze będą w liniowej zależności od pewnego okresu podstawowego T_0 ($T = \alpha T_0, 0 < \alpha < \infty$).

4. PODSUMOWANIE

Dla prawidłowej i jednoznacznej oceny stanu technicznego elementów układów hydraulicznych maszyn roboczych metodami diagnostyki technicznej niezbędny jest wybór odpowiednich sygnałów diagnostycznych. Pomocna przy tym jest znajomość źródeł tych sygnałów oraz procesów ich generowania w rozpatrywanych elementach hydraulicznych.

LITERATURA

- [1] Chalamoński M., Diagnostowanie układów hydraulicznych maszyn roboczych, Wyd. Uczelniane ATR, Bydgoszcz, 2000.
- [2] Chalamoński M., Menchen P., Analiza diagnostyczna układów hydrauliki maszynowej, Materiały XIII Konferencji CYLINDER 2003, Szczyrk, 2003.
- [3] Menchen P., Sygnały diagnostyczne w elementach układów hydrauliki siłowej, Materiały Jubileuszowej Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Rozwój budownictwa, budowy maszyn, techniki rolniczej oraz edukacji technicznej”, Olsztyn, 2004.
- [4] Żółtowski B., Podstawy diagnostyki maszyn, Wyd. Uczelniane ATR, Bydgoszcz, 1996.
- [5] Żółtowski B., Badania dynamiki maszyn, Wydawnictwo Markar – B.Ż., Bydgoszcz, 2002.



Piotr MENCHEN - mgr inż., jest asystentem w Katedrze Maszyn Roboczych i Pojazdów Wydziału Mechanicznego ATR w Bydgoszczy. Członek PTDT i SIMP. Głównym obszarem zainteresowań naukowych autora są zagadnienia eksploatacji oraz diagnostyki układów hydraulicznych maszyn roboczych.