

PROGNOZOWANIE STANU TECHNICZNEGO MECHANIZMU OBROTU PŁUGA Z WYKORZYSTANIEM MODELU REGRESYJNEGO

Bogusław Cieślikowski

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W przedziałach czasu eksploatacji pługa obrotowego LEMKEN VARI-OPAL7 wyznaczono intensywność zmiany pozycjonowania mechanizmu obrotu. Opracowano model regresyjny typu: parametr sygnału diagnostycznego w funkcji ilości cykli roboczych. Zapisano model trendu zmiany parametru diagnostycznego, wyznaczając wykładnik potęgowy określający charakter zmian stanu technicznego obiektu. Zapas ресурсu obiektu odniesiono do zmierzonych wartości parametru z uwzględnieniem wartości granicznych dokonując ponadto analizy trendu krzywej eksploatacyjnej obiektu.

Słowa kluczowe: diagnostyka funkcjonalna, model regresyjny, parametr diagnostyczny, pług obrotowy

Wstęp

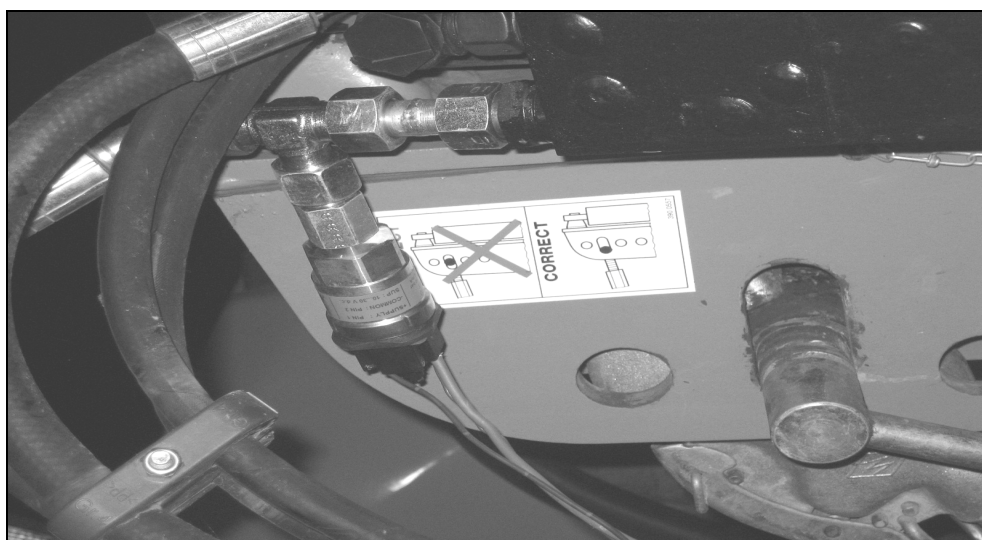
Częstym przypadkiem procesu diagnostycznego jest konieczność prognozowania ресурсu obiektu gdy nie ma ciągłości danych dotyczących oceny parametrów obiektu w czasie eksploatacji. Opracowany model umożliwia prognozowanie ресурсu obiektu na podstawie dynamiki zmian wybranych cech obiektu w odniesieniu do ilości cykli roboczych. W publikacji zaprezentowano możliwość prognozowania stanu technicznego mechanizmu pozycjonowania pługa obrotowego LEMKEN VARI-OPAL7 na podstawie intensywności zmiany parametru diagnostycznego. Przeprowadzona analiza układu hydraulicznego pługa ze względu na ocenę podatności diagnostycznej, stanowiła podstawę dla dokonania selekcji metod diagnozowania oraz wyboru sygnałów diagnostycznych [Materiały inf. 2005]. W wyniku dokonanej analizy zaproponowano ocenę parametryczną opartą na pomiarze zmiany kąta obrotu mechanizmu w funkcji czasu przy jednoczesnej analizie zjawiska udaru hydraulicznego w układzie hydrauliki siłowej pługa obrotowego.

Dobór środków diagnostycznych

Wyznaczenie kąta obrotu mechanizmu w przedziałach czasu opiera się na szybkozmiennych pomiarach parametrów diagnostycznych obrazujących zmienność cech elementów i układów roboczych.

Dokonano doboru a następnie zainstalowano w analizowanym układzie (rys. 1) następujące przetworniki:

- czujnik ciśnienia: MBS-3000 DANFOSS,
- potencjometr liniowy: PR1 k-A,
- czujnik temperatury: LB- 471T.



Rys. 1. Zainstalowany bezinercyjny przetwornik ciśnienia MBS-3000 DANFOSS na wyjściu z rozdzielacza hydraulicznego

Fig. 1. Installed inertialess pressure transducer (MBS-3000 DANFOSS) at outlet from hydraulic manipulator

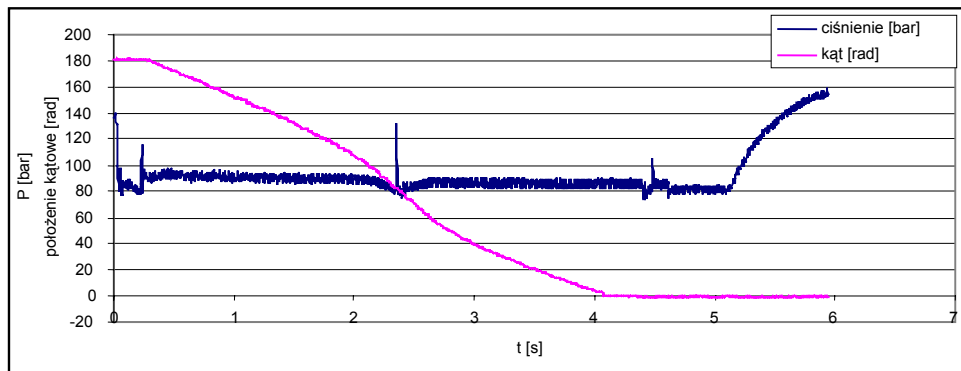
Sygnal odczytany z mostków pomiarowych przetwornika ciśnienia oraz potencjometru pozycjonowania mechanizmu kierowany był do karty pomiarowej, a następnie do komputera wyposażonego w oprogramowanie Dasy-Lab 6.0. Karta pomiarowa PC-LabCard typu PCL-818L wyposażona jest w 8 analogowych wyjść o częstotliwości próbkowania wynoszącej 10[MHz] przy zasilaniu napięciem stałym o wartości 0-5 [V].

Pomiary zostały przeprowadzone w warunkach obrotu pługa dla pełnego cyklu (obrót mechanizmu o 180°) dla kroku pomiarowego 0,01 s.

Analizie poddane zostały przebiegi parametrów ciśnienia cieczy roboczej oraz położenia kąтового maszyny w funkcji czasu (rys. 2). Przebieg ciśnienia panującego w układzie jest ściśle uzależniony od kąta pochylenia ramy pługa.

Układ pomiarowo-rejestrujący pozwala na zapis takich parametrów jak:

- temperatura oleju w układzie,
- zmiana kąta obrotu pługa,
- przebieg ciśnienia w układzie hydraulicznym,
- czas obrotu pługa.



Rys. 2. Charakterystyki ciśnienia oraz kąta obrotu ramy pługa w funkcji czasu
 Fig. 2. Characteristics of pressure and plough frame rotation angle in function of time

Zapis ujawnia efekt uderzenia hydraulicznego powstającego głównie podczas otwarcia zaworu rozdzielacza hydraulicznego w trakcie uruchomienia układu obrotu pługa co ma zasadniczy wpływ na trwałość rozdzielacza hydraulicznego i uszczelnień siłownika układu.

Niezależnie od skoków ciśnień powstałych w wyniku przesterowania rozdzielacza zauważyć można, iż uśredniony przebieg ciśnienia jest prostoliniowy z wyjątkiem uderzenia spowodowanego siłą bezwładności mechanizmu, dla położenia mechanizmu w tzw. martwym punkcie (rys. 2).

Prognozowanie stanu technicznego obiektu

Proponowana metodyka obejmuje zagadnienia prognozowania stanu obiektu z uwzględnieniem jednowymiarowej przestrzeni sygnałów diagnostycznych [Cieślakowski 2004]. W przypadku oceny wieloparametrowej resursu obiektu zachodzi potrzeba zapisu powiązań parametrów, tworząc parametry uogólnione. Znając zapas resursu elementów obiektu można określić czas niezawodnego działania, który jest równy najmniejszemu zapasowi resursu elementu stanowiącego składnik obiektu diagnozowanego [Michalski i in. 1997]. Zasadniczym problemem jest wyznaczenie intensywności zmian parametrów stanu technicznego obiektu w funkcji parametru eksploatacyjnego, jakim jest w tym przypadku ilość pełnych cykli pozycjonowania mechanizmu obrotu pługa.

Model regresyjny narzuca postępowanie typu: parametry sygnałów w funkcji miary eksploatacji. Rozpoznany model trendu zmiany parametru można wyrazić:

$$y_n(v) = y_{n0} + \Delta y_n \cdot v^\alpha \quad (1)$$

gdzie:

- $y_n(v)$ – wartość parametru diagnostycznego,
- y_{n0} – początkowa wartość parametru,
- Δy_n – intensywność zmiany parametru w skali ilości cykli roboczych mechanizmu,
- v – liczba cykli pozycjonowania mechanizmu,
- α – wykładnik potęgi określający charakter zmian parametru w przedziałach miary eksploatacji.

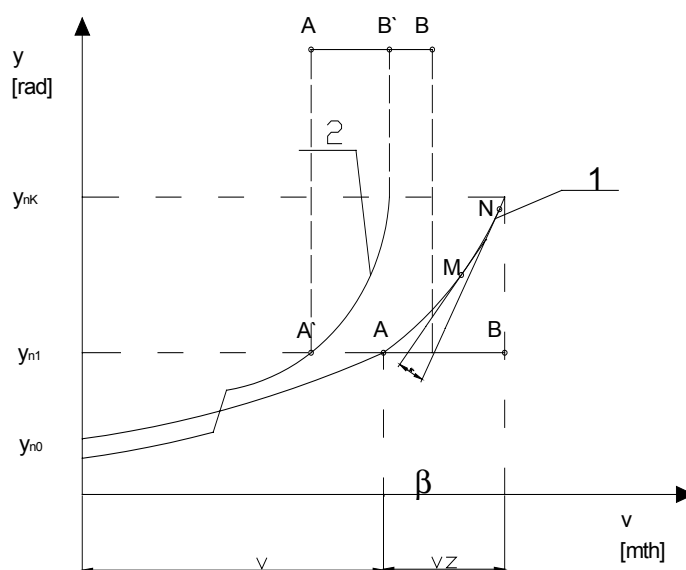
Zapas ресурсu obiektu zapisać można [Merkisz, Mazurek 2007]:

$$v_z = v \left[\left(\frac{y_{nK}}{y_n(v)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right] \quad (2)$$

gdzie:

- V_z – zapas ресурсu obiektu,
- V – przedział ilości cykli obiektu,
- y_{nK} – wartość graniczna parametru diagnostycznego w odniesieniu do y_{n0} ,
- $y_n(V)$ – zmienna wartość parametru diagnostycznego.

Model regresyjny wymagałby znacznych uściśleń aby przebieg zmian czasu pozycjonowania mechanizmu obrotu pługa w funkcji ilości cykli roboczych zamieszczony na rys. 3. (stan wg krzywej nr 2) nie został przypisany np. tolerancji parametru y_{n0} . Wskaźnik potęgowy α określający charakter zmian czasu pozycjonowania mechanizmu obrotu pługa został określony na podstawie uzyskanych wyników pomiarów na poziomie $\alpha=1,86$.



Rys. 3. Przebieg zmiany czasu pozycjonowania mechanizmu obrotu pługa w funkcji ilości cykli roboczych: Krzywa 1 – proces równomiernego zużycia elementów mechanizmu obrotu; Krzywa 2 – przyspieszone zużycia elementów na skutek występującego zjawiska udaru hydraulicznego

Fig. 3. The progress of change in positioning time of plough swivel mechanism in function of the number of working cycles: Curve 1 – the process of even wear of swivel mechanism elements; Curve 2 – faster wear of elements due to occurring hydraulic stroke effect

Proces diagnostyki funkcjonalnej pług realizowany jest z udziałem komputera pokładowego ciągnika, polega na wyznaczeniu trendu krzywej eksploatacyjnej w wyniku ciągłej rejestracji przebiegu zmian parametru diagnostycznego. Wyznaczenie parametru stanu granicznego obiektu na podstawie wartości rzędnej y_{nk} jest obarczone znacznym błędem wynikającym zarówno z indywidualnej cechy obiektu y_{n0} oraz możliwości zaistnienia podwyższonego zużycia jednego ze składników obiektu. Stan ten rozróżnia przebieg krzywych 1 i 2, przy czym krzywa 2 kwalifikuje obiekt do przypadku podwyższonego zużycia. Proces stopniowego narastania wartości y_n w przedziale V_z (krzywa 1) możliwy jest jedynie w przypadku równomiernego zużycia eksploatacyjnego składników obiektu.

W związku z tym analizie poddana zostaje krzywizna średnia $k(MN)$ łuku MN (wg krzywej 1. na rys. 3) jako bezwzględna wartość miary łukowej kąta β zawartego pomiędzy stycznymi w M i N do długości (MN) jako:

$$k[MN] = \frac{|\beta|}{|MN|} \quad (3)$$

Uzyskiwanie ciągłości sygnału daje podstawy do zapisania trendu narastania parametru $y_n(V)$ w przedziale czasu V_i .

Tak więc analiza krzywizny $k(MN)$ w przedziałach kontrolnych wyznaczonych krzywizną łuku stanowi proces estymacji parametru diagnostyki funkcjonalnej mechanizmu obrotu pług. Zawężając przedział kontrolny, tj. gdy punkt N dąży do punktu M, wyznaczamy położenie środka krzywizny łuku MN. Krzywizna w opisanym przedziale równa jest odwrotności promienia krzywizny R_M . Jeżeli równanie krzywej zapisane jest w postaci $y = f(x)$ i funkcja $f(x)$ ma drugą pochodną to promień krzywizny w przedziale $M(x,y)$ tej krzywej wyraża się zależnością:

$$R_M = \frac{[1 + (\frac{dy}{dx})^2]^{3/2}}{\left| \frac{d^2y}{dx^2} \right|}; \text{gdzie } \frac{d^2y}{dx^2} \neq 0 \quad (4)$$

Jeżeli funkcja $y=f(x)$ ma ekstremum w punkcie $x=x_0$, a więc gdy $(\frac{dy}{dx})_0 = 0$, to krzywizna k_M równa się bezwzględnej wartości drugiej pochodnej w tym punkcie:

$$k_M = \left| \left(\frac{d^2y}{dx^2} \right)_{x_0, y_0} \right| \quad (5)$$

Krzywizna k_M w punkcie M jest granicą krzywizny średniej łuku MN tej krzywej gdy punkt N dąży do punktu M zgodnie z zapisem:

$$k_M = \lim_{M \rightarrow N} k(MN) \quad (6)$$

W przedziale nieliniowym narastania czasu odpowiedzi układu na wymuszenie, aproksymacja ma charakter wykładniczy zgodnie z uogólnionym zapisem: $y=ax^2+bx+c$ w punkcie $x=x_0$ ($a \neq 0$)

Wyznaczając pochodne:

$$\dot{y} = 2ax + b \quad \ddot{y} = 2a \quad (7)$$

wyznaczymy promień krzywizny:

$$R = \frac{(1 + (2ax_0 + b)^2)^{\frac{3}{2}}}{2|a|} \quad (8)$$

W wierzchołku paraboli o odciętej $x = -\frac{b}{2a}$ mamy $\dot{y} = 0$, a więc promień krzywizny paraboli R_w w wierzchołku jest równy:

$$R_w = \frac{1}{2|a|} \quad (9)$$

Zatem ocena trendu zmiany parametru diagnostycznego zbieżna jest z oceną zmian promienia krzywizny odniesionego do charakteru krzywej. W przypadku silnej zmiany charakteru narastania krzywizny, a więc szybkiego przyrostu rzędnej y_n w przedziałach czasu eksploatacji możemy zakwalifikować stan do przyspieszonego zużycia obiektu (krzywa nr 2 na rys.1). Dalszy przebieg krzywej cechuje się większym przyrostem rzędnych dla punktów kontroli diagnostycznych niż w przypadku przebiegu krzywej nr1 dla równomiernego zużycia elementów. Model regresyjny wymagałby znacznych uściśleń aby stan wg krzywej nr 2 nie został przypisany np. tolerancji montażowej zespołu (parametr y_{n0}). Obserwacja trendu zmienności krzywizny charakterystyki w stopniu zadowalającym wskaże zagrożenie awaryjne mechanizmu obrotu pługa. Wyznaczony zapas resurs eksploatacyjnego dla diagnozowanego obiektu wg krzywej nr 1 nie może zostać odniesiony do przebiegu zużycia wg krzywej nr 2 przy wspólnej wartości parametru y_{n1} , gdyż w przypadku przyspieszonego zużycia zostanie przekroczona wartość graniczna parametru y_{nK} w prognozowanym czasie eksploatacji. Wskazuje na to zróżnicowana długość odcinka AB w stosunku do AB' (rys. 3).

W zaistniałych okolicznościach istnieje możliwość zalecenia kontroli serwisowej stanu technicznego mechanizmu obrotu pługa jako wynik procesu ciągłej diagnostyki obiektu z udziałem komputera pokładowego. Zasadnicze kryterium diagnozy odnosi się zatem do rozróżnienia stanu równomiernego i nierównomiernego zużycia eksploatacyjnego elementów zespołu.

Wnioski

1. Wyznaczenie granicznej wartości rzędnej parametru zużycia zespołu powinno zostać odniesione do analizy funkcji zużycia - aby ustrzec się od błędów diagnozy i zbyt późnego dostrzeżenia groźby awarii zespołu.
2. Istnieje możliwość wykorzystania komputera pokładowego ciągnika do realizacji procedur diagnostyki funkcjonalnej pługa obrotowego w systemie on-line po zainstalowaniu przetworników pozycjonowania kątownego wybranego ogniwa mechanizmu.
3. Koniecznym jest dokonanie pełnej identyfikacji obiektu w zakresie: symptom – wartość parametru diagnostycznego w odniesieniu do rozpatrywanego układu.

Bibliografia

- Cieślukowski B.** 2004. Vibration signal in estimation of working parameters of the fertiliser distributor. V International Scientific Conference on "Microprocessor Systems in Agriculture". Płock. s. 21-26.
- Michalski R. i in.** 1997. Mikroprocesorowe systemy nadzoru stanu technicznego kombajnu zbożowego, II Konf. Naukowa „Systemy mikroprocesorowe w rolnictwie”. Płock. s. 63-72.
- Merkisz J., Mazurek S.** 2007. Pokładowe systemy diagnostyczne OBD WKŁ. Warszawa. s. 30-41.
- Niziński S., Michalski R.** 2002. Diagnostyka obiektów technicznych, Biblioteka Problemów Eksploatacji. Radom. s. 11-15.
- Rokosch U.** 2007. Układy oczyszczania spalin i pokładowe systemy diagnostyczne samochodów OBD, WKŁ. Warszawa. s. 88-110.
- Materiały inf. 2005. LEMKEN VARI-OPAL7.

USING REGRESSION MODEL TO PREDICT TECHNICAL CONDITION OF PLOUGH SWIVEL MECHANISM

Abstract. Intensity of change in swivel mechanism positioning was determined for time intervals of the LEMKEN VARI-OPAL7 swivel plough operation. Type regression model was developed: diagnostic signal parameter in function of the number of working cycles. Model of trend in the change of diagnostic parameter was written by means of determining power exponent characterising the nature of changes in technical condition of the object. The reserve in object service life was referred to measured values of the parameter taking into account boundary values. Moreover, the object operation curve trend was analysed.

Key words: functional diagnostics, regression model, diagnostic parameter, swivel plough

Adres do korespondencji:

Bogusław Cieślukowski; e-mail: bcieslikowski@ar.krakow.pl
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 120
30-149 Kraków