

## DIAGNOSTYCZNY SYSTEM STEROWANIA EKSPLOATACJĄ MASZYN ROLNICZYCH

Ryszard MICHAŁSKI

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie; Wydział Nauk Technicznych,  
Instytut Inżynierii Mechanicznej, 10-757 Olsztyn, ul. Oczapowskiego 11, tel. 523-34-63,  
523-37-26, fax 523-34-63, e-mail: michr@uwm.edu.pl

### 1. Wprowadzenie

Obecnie samojezdne maszyny rolnicze wyposażane są w systemy mikroprocesorowe do monitorowania parametrów pracy lub w wersji bardziej rozwiniętej, do nadzorowania stanu technicznego oraz częściowo zautomatyzowanego sterowania procesami roboczymi maszyn. System mikroprocesorowy występuje jako połączenie komputera pokładowego z przetwornikami pomiarowymi i elementami wykonawczymi samojezdnej maszyny rolniczej. Otoczeniem tego systemu są procesy eksploatacji i operator maszyny.

Stosowanie systemów mikroprocesorowych w maszynach rolniczych w istotny sposób wpływa na [1,3]:

- zmniejszenie zużycia paliwa,
- zminimalizowanie strat obrabianego materiału,
- zwiększenie wydajności i dyspozycyjności maszyn,
- obniżenie psychicznego i fizycznego zmęczenia operatora.

Stwarza to nowe możliwości i potrzeby w zakresie oceny stanu technicznego w procesie eksploatacji złożonych samojezdnych maszyn rolniczych (częściej agregatów maszynowych tj. ciągnik sprzężony z narzędziami i maszynami wielofunkcyjnymi). Sterowanie w tym przypadku umożliwia zmianę procesu eksploatacji w zakresie określonych parametrów, zgodnie z przyjętym algorytmem.

Sytuacja ta wyznacza nowe obszary badań diagnostycznych w systemach sterowania eksploatacją maszyn rolniczych (DSSE).

### 2. Obieg informacji w systemach sterowania

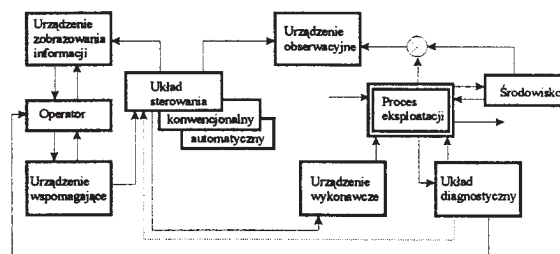
Do pomiaru prawidłowości działania systemu eksploatacji (SE) niezbędne jest poznanie obiegu informacji w tym systemie.

Obiegi informacji w SE obejmuje całokształt procesów przekształcania i przesyłania sygnałów i danych o oddziaływaniach zewnętrznych i procesach wewnętrznych systemu. Podstawowe procesy przekształcania informacji to: filtrowanie, przejmowanie, pomiar, estymacja, selekcja, porównywanie, obliczanie, rozmywanie, przesyłanie, formowanie oraz kształtowanie sygnałów.

Obecnie w technice rolniczej rozpowszechnione są konwencjonalne (ręczne) systemy sterowania eksploatacją. Istotną cechą tych systemów sterowania procesem eksploatacji jest to, że operator realizuje podstawową funkcję decyzyjną tj.: odbiera informacje, wydziela sygnał użyteczny, deklaruje sygnał, podejmuje decyzje o kierunku i wartości sterowania oraz wypracowuje pierwotny sygnał sterujący z ewentualnym wykorzystaniem diagnozy stanu.

Tego typu systemy posiadają przeważnie układy monitorowania lub półautomatyczne układy kontrolno-diagnostyczne. Cechą charakterystyczną tego układu jest automatyzacja oceny stanu technicznego wybranych zespołów, układów maszyn, podania zmiany stanu procesu z ew. lokalizacją niezdatności

Schemat obiegu informacji w systemie sterowania eksploatacją z automatycznym diagnozowaniem przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat obiegu informacji w diagnostycznym systemie sterowania eksploatacją

W tak rozumianym systemie (rys. 1) operator w sposób ciągły śledzi proces starzenia maszyny i koryguje sygnały sterujące w zakresie obsługiwanego, gdy układ sterujący zgłasza zapotrzebowanie na korekcję stanu technicznego systemu.

W przyszłości wszystkie fazy procesu sterowania kontrolą stanu będą zautomatyzowane i odbywać się będą bez ingerencji operatora. Zmieni się funkcja operatora, z dominującej funkcji sterującej na funkcje kontrolne i korekcyjne uchybem. Kanał komunikacyjny od operatora do układu sterowania będzie jedynie wykorzystywany do przesyłania kodów korekcyjnych.

Celem diagnostyki jest wykrycie z określonego zbioru parametrów stanu tych parametrów, które w procesie eksploatacji zmieniły swoje wartości wraz z wyznaczeniem ich wartości.

Wprowadzenie nowych technik oraz dążenie do obniżenia fizycznego i psychicznego zmęczenia operatora stawia coraz większe wymagania odnośnie szybkości działania systemów sterowania. Przyspieszenie obiegu informacji w SE jest możliwe przez zastosowanie mechatroniki i informatyki, jednak zakres zwiększenia szybkości działania SE z wykorzystaniem mechatroniki jest ograniczony. Jedynym sposobem istotnego przyspieszenia obiegu informacji w procesie eksploatacji jest wprowadzenie techniki komputerowej.

### 3. Zasady budowy systemu diagnostycznego

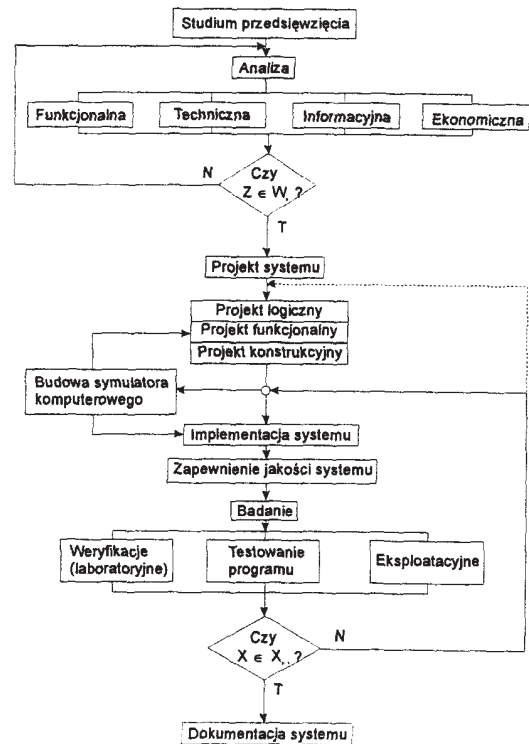
W tworzeniu pokładowego systemu diagnostycznego samojedznej maszyny należy uwzględnić (rys. 2):

- Studium przedsięwzięcia - polegające na zidentyfikowaniu i przeanalizowaniu problemu, jego możliwych rozwiązań w celu określenia ich wykonalności, kosztów i korzyści. Na studium to składa się analiza wymagań funkcjonalnych, technicznych, informacyjnych i ekonomicznych.
- Projektowanie systemu (system design) - polegające na określeniu architektury mikroprocesora, części składowych, modułów, interfejsów i oprogramowania pod kątem spełniania wymagań użytkowych, które obejmują:
  - projekt logiczny (conceptual design) - określenie logicznych aspektów jego organizacji, procesów i przepływu informacji;
  - projekt funkcjonalny (functional design) - opis funkcji elementów składowych systemu oraz ich współdziałania;
  - projekt konstrukcyjny (structure design) - opis struktury procesora, wyświetlacza, układu pamięci, układu komunikacyjnego, modułu WE/WY, zegara czasu, układu zasilania, układu sprzęgowego szeregowego, układu wejść standardu RS.
- Budowę symulatora pracy systemu, którego celem jest przedstawienie wybranych parametrów budowanego systemu i jego struktury przez system komputerowy.
- Implementację systemu (implementation of a system) i fazę opracowania systemu, których wynikiem jest zbudowanie modelu fizycznego urządzenia mikroprocesorowego i oprogramowania, spełniającego założone funkcje.
- Jakość działania systemu (quality assurance) w aspekcie wymagań technicznych, -obejmuje ba-

dania weryfikacyjne (laboratoryjne), testowanie programu i badanie eksploatacyjne.

- Dokumentację systemu (system documentation) - obejmuje zbiór dokumentów, w których są opisane wymagania, zdolność do funkcjonowania, ograniczenia, budowa, działanie i procedury obsługi technicznej.

Na rys. 2 podano schemat blokowy etapów tworzenia systemu diagnostycznego.



Rys. 2. Schemat etapów realizacji systemu diagnostycznego: Z- zbiór założeń,  $W_b$ - zbiór wymagań bazowych, X- zbiór parametrów eksploatacyjnych,  $X_{DT}$  - zbiór parametrów konstrukcyjnych.

#### 4. Przykład sterowania w DSSE.

Do sterowania w DSSE przyjęto układ napędowy maszyny samojezdnej ze stopniową skrzynią biegów.

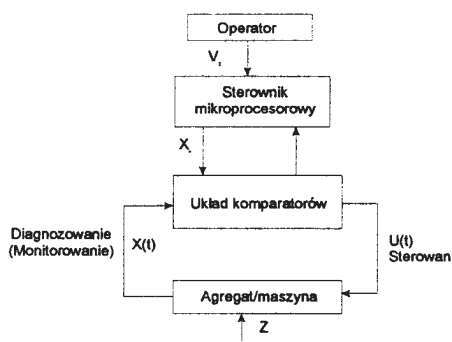
W obecnie stosowanym ręcznym układem sterowania, operator systemu generuje trzy sygnały sterownicze:

- $u_1$  – dawka podawanego paliwa,
- $u_2$  – przełożenie skrzyni biegów,
- $u_3$  – dokonuje wyboru sposobu pracy agregatu.

W zależności od wielkości  $u_1$  silnik uzyskuje odpowiednią prędkość obrotową  $n_s$  i moment obrotowy  $M_s$ . Układ napędowy, zgodnie z otrzymanym sygnałem  $u_2$ , przetwarza te wielkości na prędkość obrotową kół napędowych  $n_k$  i moment obrotowy na tych kołach  $M_k$ . W rezultacie agregat uzyskuje pożądaną przez operatora prędkość  $V_r$ . Zewnętrzne zakłócenia  $Z$  w postaci zmiennych oporów ruchu oddziałują poprzez układ napędowy na silnik i powodują zmiany  $M_s$ ,  $n_s$ .

Automatyczne sterowanie procesem pracy agregatu przez zmiany wektora sterowania w zależności od wektora jego stanu, ma na celu optymalnie wykorzystanie agregatu, niedopuszczenie do przeciążeń jego zespołów roboczych, zwiększenie wydajności eksploatacyjnej, zmniejszenie zużycia paliwa oraz obniżenie fizycznego i psychicznego zmęczenia operatora.

Na rys. 3 podano schemat układu sterowania maszyną z uwzględnieniem diagnozowania stanu.



Rys. 3. Schemat układu sterowania systemu, gdzie:  $V_z$  – wektor wielkości zadawanej,  $x(t)$  – wektor kontroli stanu maszyny w chwili  $t$ ,  $U(t)$  – wektor wielkości sterujących w chwili  $t$ ,  $Z$  – wektor wielkości zakłócającej.

Do automatycznego sterowania procesem eksploatacji jak wynika z rysunku, niezbędna jest znajomość wektora stanów systemu. Zatem identyfikacja zbioru stanów systemu z przyjętego punktu widzenia jest niezbędna do optymalizacji procesu eksploatacji.

Dynamikę tego układu dla stanu parametrów procesów użytkowania maszyny można opisać następującym równaniem:

$$X(t+1) = F[x(t), z(t)] \quad (1)$$

a następnie równanie sterowania ma postać:

$$s(t) = II[x(t+1), u(t)] \quad (2)$$

Funkcję  $II$  można dobrać na podstawie modelu matematycznego agregatu.

Optymalne sterowanie ze względu na przyjęte kryterium polega na dobraniu odpowiedniej funkcji sterowania spełniającej zależność [7]:

$$U(t): S(T) \rightarrow \begin{cases} \max W_e & \text{dla } g_e \pm \Delta g_e = \text{const} \\ \min g_e & \text{dla } W_e \pm \Delta W_e = \text{const} \end{cases} \quad (3)$$

gdzie:  $g$  – jednostkowe zużycie paliwa w [g/kWh] wyznaczona z charakterystyki silnika,  $W_e$  – wydajność eksploatacyjna agregatu [ha/h],

$$W_e = 0,36 \cdot V_r \cdot b \cdot \beta \cdot K_g \cdot K_{07} \quad (4)$$

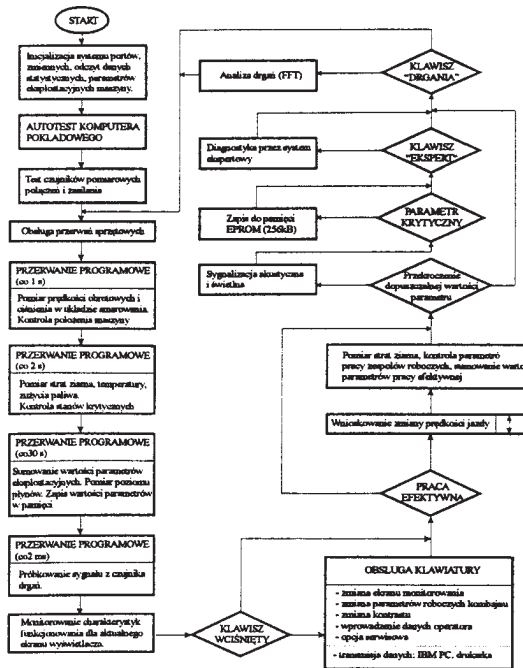
gdzie:  $V_r$  – prędkość robocza [m/s],  $\beta$  – współczynnik wykorzystania szerokości roboczej agregatu [0,1],  $b$  – szerokość robocza maszyny [m],  $K_g$  – współczynnik gotowości technicznej,  $K_{07}$  – współczynnik wykorzystania czasu zmiany.

#### 4.1. Algorytm diagnozowania stanu.

Ze względu na przyjęte funkcje realizowane przez system, opracowano oryginalny algorytm będący rozwinięciem własnych koncepcji [4, 7]. Przy opracowaniu algorytmu zwrócono szczególną uwagę na wykorzystanie możliwości wyświetlacza graficznego oraz zapewnienia łatwości obsługi komputera przez operatora maszyny. Do realizacji funkcji informacyjnej i diagnostycznej opracowano system ekspertowy z wykorzystaniem wnioskowania rozmytego [4].

W przedstawionym przykładzie zastosowano wnioskowanie rozmyte. Dialog użytkownika (operatora) z systemem realizowany jest w trybie bezpośrednim poprzez procedury wejścia / wyjścia, które następnie są realizowane przez układ WE/WY (klawiatura i wyświetlacz typu graficznego). Sygnały wejściowe pochodzą od przetworników pomiarowych. W systemie ekspertowym istotną rolę odgrywa pomiar drgań mechanicznych konstrukcji maszyny roboczej. Do analizy drgań zastosowano metodę Szybkiej Transformaty Fouriera (FFT).

Schemat blokowy algorytmu pokładowego systemu diagnozowania stanu technicznego samojezdnej maszyny rolniczej przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Schemat algorytmu diagnozowania systemu [4].

## 5. Podsumowanie

Rozwój techniki rolniczej ukierunkowanej na zastosowanie techniki mikroprocesorowej powoduje wzrost złożoności systemów diagnostycznych i stwarza nowe możliwości dotyczące budowy diagnostycznych systemów sterowania eksploatacją maszyn rolniczych.

W projektowanych DSSE istotnym jest uwzględnienie:

- możliwości funkcjonalnych, technicznych, informacyjnych i diagnostycznych systemu;
- podstawowych funkcji systemu: informacyjną, diagnostyczną, sterującą, bezpieczeństwa i efektów pracy;
- algorytmu obiegu informacji w powiązaniu z kontrolą stanu i sterowaniem systemem;
- właściwego doboru mikroprocesora o architekturze i mocy obliczeniowej dostosowanej do wymagań oraz odpowiednio oprogramowanych algorytmów;

- układów we/wy sprzęgające system z mikroprocesorem tzn.: płytę czołową jako środek wizualizacji parametrów stanu procesu eksploatacji, układy rejestrowania sygnałów diagnostycznych i parametrów pracy systemu oraz generowania sygnałów sterujących;
- struktury hierarchicznej działania systemu;
- procedur diagnozowania i wnioskowania z wykorzystaniem systemów ekspertowych, sieci neuronowych i logiki rozmytej;
- oceny efektywności stosowania systemu.

Wymiernym efektem stosowania DSSE jest optymalne wykorzystanie osiągnięć eksploatacyjnych maszyn.

## 6. Literatura

1. Jaufmann A.: Potential eines Traktormangementsystems. Landtechnik; 1997 nr (52)6 s.299-291,
2. Michalski R.: Model systemu ekspertowego eksploatacji agregatu ciągnikowego. II Międzynarodowe seminarium „Efektywność eksploatacji systemów technicznych”, ART. Olsztyn 1995 s.61-68
3. Wang G., Zoerb G. C.: A Farm Tractor Driver's Information system. Computers and Electronics in Agriculture nr 4, 1990.
4. Michalski R. i inni: Mikroprocesorowy system nadzoru stanu technicznego kombajnu zbożowego. Materiały II Konferencji Naukowej „Systemy mikroprocesorowe w rolnictwie”, Politechnika Warszawska. Płock 1997.
5. Michalski R.: Diagnostyka w systemie eksploatacji ciągników i maszyn rolniczych. Materiały Konferencji: Problemy Inżynierii Eksploatacji. Z. 5. Wyd. Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych. Warszawa 1999.
6. Michalski R.: Pokładowe systemy nadzoru maszyn ze sztuczna inteligencją. Wyd. ART Olsztyn, 1997.
7. Michalski R.: Rychlik A.: Komputerowy system nadzoru procesu użytkowania kombajnu zbożowego. Materiały II Krajowej Konferencji „Diagnostyka Procesów Przemysłowych”. Łągów k. Zielonej Góry. 1997.