



Mechatroniczny system monitorowania stanu ciągnika kołowego

RYSZARD MICHALSKI

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Katedra Budowy Eksploatacji Pojazdów i Maszyn,
10-736 Olsztyn, ul. M. Oczapowskiego 11

Streszczenie. W pracy przedstawiono zasady budowy mechatronicznego systemu monitorowania stanu ciągnika kołowego zorientowanego na cztery klasy niezdatności: funkcjonalne, emisyjne, dynamiczne i bezpieczeństwa. Opracowano ogólny model funkcjonowania systemu MSMC z uwzględnieniem etapów jego tworzenia.

Słowa kluczowe: mechatronika, system diagnostyczny, ciągnik kołowy

1. Wprowadzenie

Badania efektywności funkcjonowania ciągników kołowych stosowanych w rolnictwie, budownictwie, leśnictwie itp. ma szczególne znaczenie ze względu na:

- poszukiwanie energooszczędnych technologii produkcji,
- ocenę strat energii towarzyszących właściwościom trakcyjnym ciągników,
- zmniejszenie emisji spalin.

Podstawowe znaczenie ma tutaj monitorowanie i diagnozowanie ciągników kołowych w toku eksploatacji, sprowadzone do kontroli stanu technicznego i lokalizacji elementów uszkodzonych. Dotychczas prowadzona diagnostyka okresowa ciągników kołowych w stacjach kontroli pojazdów posiada wiele ograniczeń ze względu na czas realizacji, zakres kontroli i brak obciążenia roboczego w trakcie realizacji pomiarów diagnostycznych.

Z punktu widzenia skutków uszkodzeń ciągników można podzielić je na:

- funkcjonalne (u_f), powodujące ograniczenie efektywności pracy (mocy momentu, siły uciągu, prędkości roboczej, zużycia paliwa),

- emisyjne (u_e), wywołujące wzrost emisji związków toksycznych (oraz hałasu) i zużycie paliwa spowodowane niezdatnością elementów układu zasilania, układu spalania silnika ZS i zespołów przekazania napędu,
- zagrażające bezpieczeństwu ruchu (u_s) ciągnika, występujące w takich układach jak: hamulcowy, zawieszenia, kierowniczy lub oświetlenia.
- pogarszające dynamikę (u_d) ciągnika kołowego; są to parametry ruchu ciągnika takie jak: zmniejszenie przyśpieszenia, opóźnienie reakcji na zmianę ruchu, nierównomierność lub znaczny spadek mocy, momentu, siły napędowej itp.

Istnieją pewne przerwy pomiędzy chwilą, w której dany element należy uznać (stosując odpowiednie środki diagnostyczne) za niezdatny, a pojawieniem się reakcji ciągnika w postaci zmiany właściwości funkcjonalnych stwierdzonych jako symptom tej niezdatności.

Najszybciej zauważone i najprędzej usuwane są niezdatności związane z pogorszeniem dynamiki ruchu ciągnika. Natomiast niezdatności emisyjne, funkcjonalne, związane z bezpieczeństwem nie generują zauważalnych dla kierującego ciągnikiem symptomów lub symptomy te występują w sytuacjach krytycznych.

Na podstawie powyższych faktów można stwierdzić, że niezdatności emisyjne i związane z bezpieczeństwem ruchu ciągnika nie są monitorowane. W czasie eksploatacji ciągnika wymienione rodzaje niezdatności mogą ulegać rozwojowi wskutek naturalnego zużycia elementów, a stosowane obecnie metody i środki techniczno-prawne nie zapewniają wykrycia tego typu niezdatności. Przyjęte w systemie OBD (*On Board Diagnostis*) kryterium uszkodzenia elementu pojazdu, którego niezdatność może spowodować znaczne zwiększenie emisji związków toksycznych z układu wylotowego lub zasilania paliwem, przy czym jako znaczący określa się w normie OBD II wzrost o 50% w stosunku do wartości dopuszczalnej dla danego typu pojazdu [Merkisz, 2002].

Wynikiem diagnozowania eksploatacyjnego powinien być rzetelny sygnał dla kierowcy ciągnika o występowaniu niezdatności oraz informacje diagnostyczne umożliwiające szybką i efektywną ich lokalizację.

Celem pracy jest opracowanie mechatronicznego systemu monitorowania stanów niezdatności ciągnika ze względu na jego funkcjonowanie, emisyjność, bezpieczeństwo i dynamikę.

Projektowany system monitorowania stanów niezdatności ciągników powinien zawierać:

- strumień informacji diagnostycznej skierowanej do użytkownika,
- modelowe rozwiązanie techniczne mechatronicznego systemu monitorowania ciągnika, które powinno się charakteryzować efektywnością diagnozowania (zdolność do wykonywania i lokalizacji niezdatności z ryzykiem 10%),
- dostępność do określonej klasy ciągników i uniwersalność rozwiązań konstrukcyjnych,

- standaryzowane procedury diagnostyczne lokalizacji wyróżnionych klas niezdatności,
- opracowaną bazę wiedzy diagnostycznej i algorytmów wnioskowania.

2. Istniejący stan wiedzy

Problem diagnostyki ciągników kołowych nie jest nowy, był i jest analizowany przez czołowych producentów ciągników i maszyn samojezdnych. Jednak obecnie sprowadza się do okresowej kontroli stanu na stacjach kontroli pojazdów, na stacjonarnych stanowiskach diagnostycznych, przeważnie raz w roku.

Rozwój nowoczesnych konstrukcji ciągników kołowych, wprowadzenie układów elektrycznych i elektronicznych nowej generacji do sterowania pracą zespołów wykonawczych wymaga również opracowania pokładowego systemu monitorowania on-line rozwoju niezdatności: funkcjonalnych, emisyjnych, bezpieczeństwa i dynamiki ruchu. Ma to szczególne znaczenie dla odwzorowania rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych przez proponowany mechatroniczny system monitorowania stanu ciągnika w określonych sytuacjach eksploatacyjnych i dostępności informacji diagnostycznej w każdej chwili.

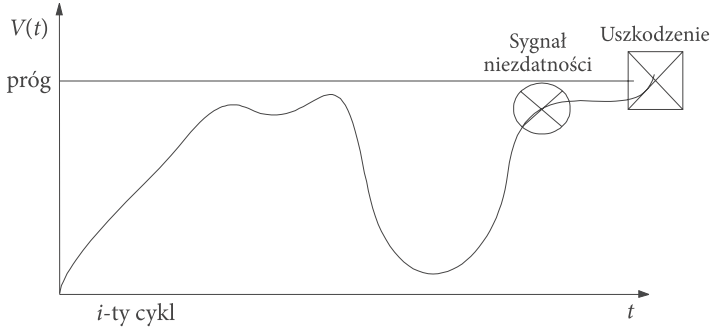
Dotychczas modelowanie niezdatności ciągników kołowych rozważano na podstawie modeli pracy silników ZS realizowanych za pomocą symulacji komputerowej wg charakterystyki uniwersalnej i na podstawie pomiarów osiągow w kilku różnych punktach [Johns, 1990] lub za pomocą równań grafów wiązań [Cichy, 2004]. Na tej podstawie w sposób uproszczony można określić optymalnie ekonomicznie obszary pracy silnika [de Souza, Santa Catarina, 1999].

Opracowanie zastępczego symulacyjnego cyklu obciążeń ciągnika kołowego dla nominalnych parametrów pracy silnika ZS pozwoli wyznaczyć obszary stanów zdatości i niezdatności eksploatacyjnej ze względu na przyjęte kryteria ocenowe. To podejście w opracowywanym systemie monitorowania stanu ciągnika stanowi oryginalne i innowacyjne traktowanie diagnostyki eksploatacyjnej w stosunku do obecnie projektowanych systemów opartych na EOBD i OBD II. Pozwala na monitorowanie on-line zużycia ON w zależności od zmiennej prędkości ruchu ciągnika kołowego przy określonym cyklu obciążeń eksploatacyjnych, co prowadzi do wyznaczenia obszaru zdatości i lokalizacji niezdatności.

3. Budowa systemu

Każdy automatyczny system diagnostyczny, także mechatroniczny system monitorowania stanu ciągnika kołowego (MSMC), powinien być projektowany z uwzględnieniem kosztów spowodowanych uszkodzeniami ciągnika kołowego.

Wymaga to opracowania odpowiednich reguł decyzyjnych dla wartości parametrów oszacowanych w i -tym cyklu jazdy ciągnika (rys. 1).



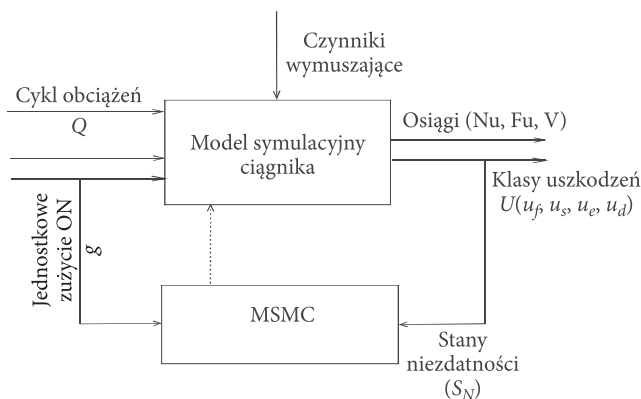
Rys. 1. Strategiczne decyzje diagnostyczne w MSMC

Cykl pracy ciągnika w MSMC jest zidentyfikowany jako przebieg prędkości w funkcji czasu i powinien być zidentyfikowany ciągiem określonych rozkazów (rozruchu silnika, utrzymania na biegu jałowym, włączenia dodatkowego obciążenia, utrzymania stałej prędkości roboczej, jazdy transportowej itd.). Opracowany MSMC powinien sygnalizować istotne niezdatności: u_p , u_e , u_s i u_d w celu poprawy osiągnięć eksploatacyjnych ciągnika, dyspozycyjności (wskaźnik gotowości), poprawy bezpieczeństwa ruchu ciągnika i zmniejszania emisyjności spalin spowodowanych niezdatnościami silnika i układu napędowego. W efekcie spowoduje to skrócenie przerwy między wystąpieniem uszkodzenia a jego naprawą oraz zmniejszenie liczby uszkodzeń trwałych i zależnych w toku eksploatacji ciągnika.

Podstawowe założenia mechatronycznego systemu monitorowania stanu ciągnika rolniczego stanowi opracowany pod kierunkiem Ryszarda Michalskiego projekt badawczy KBN nr 7T07B00711. Istota systemu polega na wyznaczeniu charakterystyk eksploatacyjnych ciągnika kołowego w odniesieniu do zużycia ON dla sklasyfikowanych niezdatności według ich skutków: funkcjonalnych (u_p), emisyjnych (u_e), związanych z bezpieczeństwem (u_s) i dynamicznych (u_d). Przyjęty model ciągnika kołowego jest tu rozumiany jako zależność wielkości trakcyjnych opisujących zjawiska związane z pracą ciągnika, mające wpływ na proces jego degradacji w określonym cyklu obciążeń eksploatacyjnych (rys. 2).

Procesy zachodzące w złożonych układach kinematycznych ciągnika kołowego będą traktowane jako procesy dynamiczne będące skutkiem działania sił pochodzących z zamiany energii chemicznej na mechaniczną w silniku i jej rozpraszania w pozostałych elementach układu napędowego.

Odwzorowanie stanów pracy ciągnika kołowego odpowiadających rzeczywistemu cyklowi obciążeń eksploatacyjnych będzie dokonane dla każdego przebiegu prędkości $V(t)$ oraz wielkości charakteryzujących opory ruchu i przełożenia w układzie napędowym. Zależności te zostaną przedstawione w postaci nominalnej



Rys. 2. Schemat badania stanu ciągnika z wykorzystaniem projektowanego mechatronicznego systemu monitorowania jego stanu (MSMC), gdzie: g — jednostkowe zużycie paliwa; S_N — stany niezdatności; u — klasy niezdatności

charakterystyki uciążu ciągnika kołowego. Analiza przebiegu momentu obrotowego i prędkości obrotowej umożliwi wyznaczenie wielowymiarowych stanów pracy ciągnika.

Stany pracy ciągnika w trakcie eksploatacji uzależnione są od: prędkości jazdy, oporów ruchu (własnych i narzędzi), masy, przełożeń w układzie napędowym, konstrukcji układu napędowego, promienia dynamicznego kół napędowych itp. Z kolei na intensywność uszkodzeń elementów ciągnika kołowego w eksploatacji mają wpływ: obciążenia cyklu pracy i wytrzymałość materiału części.

W projekcie przyjęto definicję niezdatności. Jest to każdy stan destrukcyjnie wpływający na pogorszenie jakości i efektywności funkcjonowania ciągnika, który powinien być wykrywany w procesie diagnozowania [Michalski, 2004]. Zatem stan niezdatności (S_N) ciągnika jest wynikiem wystąpienia jednej z czterech klas niezdatności (u_f, u_s, u_e, u_d) w postaci zależności:

$$S_N \Leftarrow (u_f \cap u_s \cap u_e \cap u_d) \neq 0.$$

Diagnostyka uszkodzeń obejmuje proces wykrywania, wyodrębniania i określania postaci uszkodzeń [Kościelny, 2001]:

- detekcję uszkodzenia, tj. wykrycie (zauważenie) uszkodzenia w obiekcie i określenie chwil wystąpienia;
- lokalizację uszkodzenia, określenie rodzaju i miejsca;
- identyfikację uszkodzenia, określenie rozmiaru i charakteru zmian w czasie.

Opis uszkodzeń w ciągnikach stanowi podstawę do oceny ich niezdatności. Konsekwencją uszkodzenia jest obsługa, naprawa lub kasacja maszyny.

Uszkodzenie występuje wówczas, gdy co najmniej jedna z przyjętych mierzalnych lub niemierzalnych cech charakteryzujących stan maszyny przestaje spełniać wymagania niezbędne do poprawnego jej funkcjonowania.

Zatem uszkodzenie określa utratę zdolności ciągnika do wypełniania wymaganych funkcji [PN-93/N-50191]. Uszkodzenie można rozpatrywać na różnych poziomach złożoności maszyny, np. układów, zespołów węzłów konstrukcyjnych lub elementów. Niezależnie od poziomu badań, uszkodzenie maszyny jest spowodowane uszkodzeniami jej elementów.

Śledząc zmiany wartości odpowiednich parametrów fizycznych ciągników, można obserwować uszkodzenia nie tylko objawowo, jako zdarzenia losowe, lecz także jako wynik pewnego procesu powstawania uszkodzenia (na podstawie skutków).

Klasyfikując najczęściej występujące uszkodzenia maszyn, można wyróżnić: uszkodzenia nagłe (przeciążeniowe) i uszkodzenia stopniowe (zużyciowe) [Michalski, 2001].

Uszkodzenia nagłe są wynikiem skokowej zmiany parametrów elementu. Przyczyną takich uszkodzeń mogą być na przykład pęknięcia cieplne, pęknięcia wskutek nagłych przeciążeń itp. Podstawową cechą takiego uszkodzenia jest niezależność prawdopodobieństwa jego pojawienia się od czasu eksploatacji.

Z kolei uszkodzenie katastroficzne jest odmianą uszkodzenia nagłego powodującego całkowitą niezdolność maszyny do wypełniania wszystkich funkcji.

Uszkodzenia stopniowe są związane z procesami zużycia tribologicznego, korozji, zmęczenia i pęcznienia materiałów itd.

W każdej z wymienionych grup uszkodzeń wyróżnia się uszkodzenia parametryczne i uszkodzenia awaryjne. Uszkodzenie parametryczne oznacza przejście obiektu ze stanu pełnej zdatności (zdadności parametrycznej) w stan niezdatności (niezdadności parametrycznej). Uszkodzenie zużyciowe parametryczne elementu jest równe przekroczeniu dopuszczalnej wartości zużycia. Uszkodzenie awaryjne oznacza przejście obiektu ze stanu zdadności (w szczególnych przypadkach, o ile obiekt uległ uprzednio uszkodzeniu parametrycznemu) do stanu niezdatności funkcjonalnej, tzn. do stanu pełnej niezdatności technicznej. Uszkodzenie zużyciowe awaryjne elementu oznacza przekroczenie granicznej wartości zużycia.

Ze względu na rodzaj zagrożenia uszkodzenia dzielimy na [PN-93/N-50191]:

- **uszkodzenia krytyczne**, stwarzające zagrożenia dla ludzi i pociągające za sobą znaczne straty materialne lub inne nieodwracalne skutki;
- **uszkodzenia niekrytyczne**, niestwarzające zagrożenia dla ludzi, niepociągające za sobą znacznych strat materialnych.

Wyróżnia się jeszcze **uszkodzenia degradacyjne**, które są jednocześnie uszkodzeniami stopniowymi i częściowymi (obiekt jest zdolny do wypełnienia niektórych funkcji).

W procesie diagnozowania uszkodzeń ciągników metody inżynierii wiedzy o uszkodzeniach nie zostały jeszcze opracowane, a ich możliwości zdają się być wręcz nieograniczone. Definiując pojęcie uszkodzenia, jako zdarzenia wpływającego negatywnie na efektywność funkcjonowania maszyn, które powinno być wykryte wraz z określeniem rodzaju, miejsca i czasu występowania oraz rozmiaru

i charakteru zmienności w czasie, można ogólnie stwierdzić, że wiedza diagnostyczna jest symbolicznym opisem przedmiotu, charakteryzującym empiryczne relacje, a na ich podstawie tworzone są procedury diagnostyczne.

Wiedza ta składa się z faktów, relacji i procedur. W ujęciu matematycznym zagadnienie diagnozowania można przedstawić jako zagadnienie poszukiwania relacji R (stosunków) między „uszkodzeniami (stanami niezdatności) a symptomami diagnostycznymi” o ich określonych własnościach. W tym przypadku istnieje zależność przyczynowo-skutkowa pomiędzy stanami niezdatności $f_i \subset F$ określonych elementów maszyn a symptomami s_j reprezentowanymi przez zbiór S . Tak więc można wyróżnić następujące postacie relacji:

$$R: \{s_j\} \Rightarrow f_i \quad \text{— relacja jednoznaczna (zbiór symptomów identyfikuje konkretny stan);}$$

$$R: \{s_j\} \Rightarrow \{f_{i>1}\} \quad \text{— relacja wieloznaczna.}$$

Charakterystyczną cechą metody inżynierii wiedzy jest posługiwanie się symboliczną reprezentacją wiedzy (dziedziczną i ekspertową) oraz wykorzystywanie mechanizmów automatycznego wnioskowania [Korbicz i in., 2002].

Wykorzystywane są tutaj modele numeryczne, wiedza niepewna, niepełna, rozmyta czy też jakościowa. Wspólnym łącznikiem metod inżynierii wiedzy diagnostycznej jest logika matematyczna ze szczególnym uwzględnieniem teorii relacji [Moszner, 1967].

Najczęściej w literaturze problem tworzenia relacji diagnostycznych sprowadza się do dialogu między ekspertem w danej dziedzinie a tzw. inżynierem wiedzy. Tymczasem liczba możliwych źródeł wiedzy będących do dyspozycji jest znacznie większa. Takie podejście do procesu pozyskiwania wiedzy, w sensie tworzenia relacji diagnostycznych, obejmuje wybór metod na podstawie:

- specjalistycznych informacji technicznych producenta i eksploatatorów maszyn;
- badań eksperymentalnych symptomów niezdatności i uszkodzeń maszyn;
- badań ekspertowych symptomów (objawów) uszkodzeń maszyn;
- modeli fizycznych układów mechanicznych zorientowanych na symptomy niezdatności;
- zidentyfikowanych modeli matematycznych zorientowanych na uszkodzenia.

Tworzenie relacji diagnostycznych na podstawie różnych metod i źródeł informacji pozwoli na ustalenie zarówno wiarygodnej wiedzy deklaratywnej w postaci faktów, relacji diagnostycznych stan–symptom, jak i wiedzy proceduralnej, na podstawie której opiera się wnioskowanie w systemach diagnostycznych.

Przyjmując, że wiedza jest to uporządkowany zbiór informacji, zatem przez pozyskiwanie wiedzy (diagnostycznej) należy rozumieć zarówno proces pozyskiwania

informacji diagnostycznej (zbioru informacji), jak i proces tworzenia modelu jej efektywnego wykorzystania (uporządkowanie tego zbioru).

Informację diagnostyczną o stanie ciągnika kołowego można przedstawić w postaci:

$$f_i \Rightarrow U_i; U_i = \{u_{n,i}\},$$

gdzie: U_i — zbiór cech i -tego stanu niezdatności;

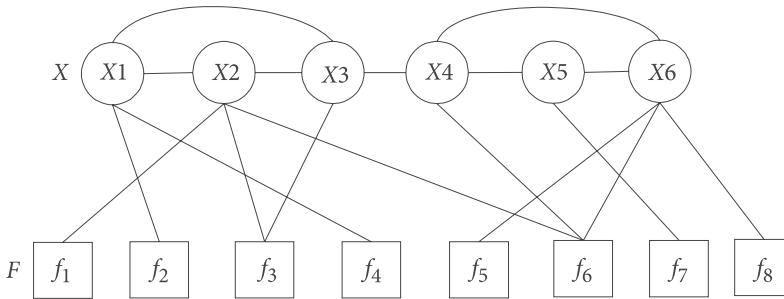
$u_{n,i}$ — n -ta cecha i -tego stanu niezdatności.

Na iloczynie kartezjańskim zbiorów F i X można określić relacje R_{XF} :

$$R_{XF} \subset X \times F,$$

gdzie: X — zbiór zmiennych procesowych;

F — przestrzeń stanów maszyny.



Rys. 3. Schemat grafu G_{XF} relacji symptomy (zmienne procesu) — uszkodzenia

Istotą procesu diagnozowania w tym przypadku jest odwzorowanie przestrzeni wartości zmiennych procesowych X w przestrzeni stanów F maszyny.

W diagnostyce maszyn wykorzystuje się różne rodzaje relacji pomiędzy stanami a ich symptomami, które zasadniczo można sprowadzić do dwóch klas:

- relacje równoważne R_k , zwane klasycznymi, które mają cechy relacji zwrotnej, symetrycznej i przechodniej o funkcji charakterystycznej $\mu_R \in [0, 1]$,

$$\mu_R(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } (x_1, \dots, x_n) \in R \\ 0 & \text{gdy } (x_1, \dots, x_n) \notin R \end{cases},$$

tzn. relacja całkowitego przyporządkowania \leq ;

- relacje rozmyte o funkcji charakterystycznej rozszerzonej do przedziału $[0, 1]$ jako par

$$\mu_R(x_1, \dots, x_n) / (x_1, \dots, x_n).$$

Wówczas:

$$R = \sum \mu_R (X, f) / (X, f)$$

jest relacją różnej funkcji przynależności (częściowego porządku), spełniającej dwie pierwsze cechy relacji równoważnej (zwrotne i symetryczne). Klasyczne pojęcie relacji jest szczególnym przypadkiem relacji rozmytej, gdy stopnie przynależności są równe tylko 0 i 1 [Yager, Filer, 1997].

Słabość klasycznych technik ilościowych przy opisywaniu zjawisk złożonych została wykorzystana w zasadzie niespójności sformułowanej przez L. Zadeha. Do tej klasy zagadnień należy z pewnością inżyniera wiedzy diagnostycznej oparta na relacjach „stan–symptom”.

$$R \subset \left[(x_{i,1}, U_i) \wedge (x_{i,2}, U_2) \dots (x_{i,n}, U_i) \Rightarrow (f_i, y_{i,w}) \right],$$

gdzie: R — zbiór relacji;
 U_n — zbiór cech n -tej zmiennej;
 $x_{i,n}$ — n -ty element zbioru zmiennych procesowych i -tego stanu niezdatności;
 f_i — i -ty stan maszyny;
 $y_{i,w}$ — ocena i -tego stanu wg przyjętych w -rang.

W projekcie MSMC przebieg badań został podzielony na trzy etapy:

- I etap: Wyznaczenia charakterystyk nominalnych ciągnika kołowego dla przyjętego cyklu obciążeń. Gromadzenie informacji o stanach pracy ciągnika odbywać się będzie za pomocą zaprojektowanego układu pomiarowego i rejestrującego zamontowanego na ciągniku z wykorzystaniem systemu automatycznej rejestracji danych na mobilnym stanowisku badawczym składającym się m.in. z: radaru dopplerowskiego firmy Dicy, indukcyjnych czujników prędkości, przetwornika firmy Hottinger, którymi dysponuje KBEPiM.
- II etap: Klasyfikacja elementów uszkodzeń funkcjonalnych, emisyjnych, wpływających na bezpieczeństwo i dynamikę ciągnika kołowego. Opracowanie modeli relacji diagnostycznych dla zidentyfikowanych symptomów stanów niezdatności wyróżnionych klas niezdatności. Opracowanie testów diagnostycznych:
- sprawności elektronicznych elementów pomiarowych i wykonawczych;
 - sprawdzeń diagnostycznych dla zidentyfikowanych niezdatności w postaci macierzy i kodów diagnostycznych.
- Przeprowadzenie badań symulacyjnych dla wybranych symptomów niezdatności elementów ciągnika kołowego.
- III etap: Opracowanie mechatronicznego systemu monitorowania stanów niezdatności ciągnika kołowego. Budowa wzorcowego systemu monitorowania

stanów niezdatności dla opracowanej bazy wiedzy diagnostycznej i algorytmów wnioskowania. Testowanie systemu monitorowania stanu ciągnika kołowego oraz opracowanie normatywów techniczno-prawnych MSMC.

4. Podsumowanie

W pracy przeanalizowano potrzebę budowy mechatronicznego systemu monitorowania stanu technicznego ciągnika kołowego zorientowanego na identyfikację czterech klas niezdatności. System ten powinien identyfikować stan techniczny ciągnika on-line i sygnalizować o niezdatnościach funkcjonalnych, emisyjnych, dynamicznych i bezpieczeństwa w aspekcie rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych.

Artykuł wpłynął do redakcji 4.01.2010 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w styczniu 2010 r.

LITERATURA

- [1] J. BĄCZEWSKI, A. KRYSZTOFIK, *Metoda optymalizacji typoszeregu ciągników rolniczych w aspekcie obniżenia energo- i materiałochłonności prac ciągnikowych*, Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, Poznań, 4, 1999, 54-57.
- [2] W. J. CHANCELLOR, N. C. THAI, *Automatic Control of Tractor Transmission Ratio and Engine Speed*, Transactions of the ASAE, 3, 27, 1984, 642-646.
- [3] M. CICHY, J. KROPIWICKI, S. MAKOWSKI, *Model silnika spalinowego w formie grafów wiązań*, Silniki spalinowe, 2, 119, 2004, 40-47.
- [4] E. G. DE SOUZA, A. SANTA CATARINA, *Optimum Warking Curve for Diesel Engines*, Transactions of the ASAE, 42, 1999, 559-563.
- [5] P. A. HANSSON, O. NOREN, M. BOHM, *Effects of Specific Operational Weighting Factors on Standardized Measurements of Tractor Engine Emissions*, Journal Agricultural Engineering Research, 74, 1999, 347-353.
- [6] J. H. KIM, K. U. KIM, Y. G. WU, *Analysis of transmission load of agricultural Tractors*, Journal of Terramechanics, 37, 2000, 113-125.
- [7] J. MERKISZ, ST. MAZUREK, *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych*, WKŁ, Warszawa, 2000, 127-138.
- [8] R. MICHALSKI, *Diagnostyka maszyn roboczych*, Wyd. ITE, Radom-Olsztyn, 2004.
- [9] R. MICHALSKI, *Pokładowy system nadzoru on-line stanu technicznego kombajnu zbożowego wspomagany metodami sztucznej inteligencji*, Projekt KBN nr 7TO7B00711, sprawozdanie.

R. MICHALSKI

Mechatronic system for monitoring circular tractor condition

Abstract. The paper presents principles of design of a mechatronic system for monitoring circular tractor condition having in view four classes of unfitness, i.e., functional, emissive, dynamic, and safety. A general model of operation of the MSMC system has been worked out and the stages of its creating have been described.

Keywords: Mechatronic system, monitoring, circular tractor