



Wykorzystanie systemu ekspertowego do diagnozowania okrętowego silnika tłokowego

RAFAŁ PAWLETKO, ADAM CHARCHALIS

Akademia Morska w Gdyni, Wydział Mechaniczny, Katedra Siłowni Okrętowych,
81-225 Gdynia, ul. Morska 81-87

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję systemu diagnostycznego okrętowego silnika tłokowego opartą na modelu systemu ekspertowego. Zrealizowano pozyskiwanie wiedzy diagnostycznej, opracowano bazę wiedzy oraz zaproponowano ogólną strukturę systemu. Wiedza dla ekspertowego systemu diagnozowania silnika okrętowego została pozyskana od ekspertów (specjalistów w dziedzinie eksploatacji) oraz z diagnostycznych baz danych. Do pozyskiwania wiedzy od ekspertów zastosowano wywiad kwestionariuszowy. Podjęto próbę pozyskania podstawowej wiedzy z dziedziny eksploatacji silników umożliwiającą ocenę ich stanu technicznego. Pozyskiwanie wiedzy z baz danych przeprowadzono z wykorzystaniem indukcyjnych metod uczenia maszynowego. Dane uczące dla algorytmów indukcji zostały zgromadzone w wyniku realizacji eksperymentu czynnego na silniku Sulzer 3Al 25/30.

Słowa kluczowe: diagnostyka techniczna, system ekspertowy, silniki spalinowe

Symbol UKD: 621.43

1. Wprowadzenie

Rozwój systemów diagnozowania okrętowych silników tłokowych jest istotnym zagadnieniem, zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa statku jak i uzyskania bezpośrednich korzyści ekonomicznych. Istnieje obecnie szereg metod oraz systemów diagnozowania silników okrętowych, opracowanych zarówno przez ośrodki badawcze, jak i producentów silników. Główną wadą większości tych rozwiązań jest to, że są to systemy zamknięte. Oznacza to, że algorytmy oceny stanu technicznego zaimplementowane na etapie tworzenia systemu nie mogą być rozwijane oraz modyfikowane w czasie późniejszej eksploatacji.

Rozwiązaniem tego problemu może być wykorzystanie systemu ekspertowego do diagnozowania silników okrętowych. Modułowa struktura takiego systemu, a przede wszystkim oddzielenie bazy wiedzy od reszty programu, umożliwi opracowanie systemu otwartego, w którym wiedza diagnostyczna może być w łatwy sposób uaktualniana i rozszerzana.

W artykule przedstawiono koncepcję systemu diagnozowania okrętowego silnika tłokowego, opartą na modelu systemu ekspertowego. Zrealizowano pozyskiwanie wiedzy diagnostycznej oraz opracowano wstępną wersję bazy wiedzy.

Wiedza dla systemu została pozyskana od ekspertów (specjalistów w dziedzinie eksploatacji) oraz z diagnostycznej bazy danych.

2. Pozyskiwanie wiedzy od specjalistów

Celem badań było pozyskanie wiedzy deklaratywnej, która może być wykorzystywana do oceny stanu technicznego silnika okrętowego. Pozyskiwanie wiedzy zrealizowano zgodnie z modelem, w którym istotną rolę odgrywa programista bazy wiedzy [7]. Rola programisty polegała przede wszystkim na interpretacji zapisów oraz agregacji wiedzy uzyskanej od specjalistów.

Badania obejmowały pozyskanie wiedzy operacyjnej w postaci relacji diagnostycznych typu: uszkodzenie–symptomy uszkodzenia. Wraz z wiedzą operacyjną pozyskano tzw. wiedzę podstawową o dziedzinie zastosowania, konieczną do formalnego zapisu relacji diagnostycznych. Wiedza podstawowa obejmowała słowniki nazw obiektów, nazw cech obiektów oraz pojęć niezbędnych do zapisu wiedzy.

Do pozyskiwania wiedzy od specjalistów wykorzystano wywiad kwestionariuszowy [5]. Kwestionariusz przygotowano w formie tabeli. Listę uszkodzeń opracowano na podstawie badań literaturowych [4, 12]. Pytania w ankiecie miały charakter otwarty, przewidziano również możliwość rozszerzania listy o nowe uszkodzenia zaproponowane przez eksperta. Kryterium doboru osób biorących udział w badaniu było posiadanie stopnia morskiego przynajmniej II oficera mechanika oraz minimum dwuletni okres praktyki na tym stanowisku. Badanie przeprowadzono na grupie 36 ekspertów.

W kwestionariuszu uwzględniono uszkodzenia następujących układów funkcjonalnych silnika:

- układ paliwowy;
- układ tłokowo korbowy;
- komora spalania;
- układ wymiany czynnika roboczego;
- układ rozruchowo-nawrotny;
- układ chłodzenia;
- układ oleju smarowego.

Zadaniem eksperta było wskazanie symptomów uszkodzeń poprzez wpisanie ich w odpowiedniej rubryce kwestionariusza.

W wyniku agregacji wiedzy uzyskano 35 reguł diagnostycznych. Były to reguły o złożonych przesłankach, których konkluzje wyrażały stwierdzenia dotyczące stanów technicznych wybranych układów okrętowego silnika tłokowego.

Przykładową regułą uzyskaną w wyniku badań przedstawiono poniżej:

Reguła R1, układ: wtryskowy, element: wtryskiwacz
Uszkodzenie: zatarcie iglicy wtryskiwacza (wtryskiwacz otwarty)
Symptomy:
a) średnie ciśnienie indykowanie – spadek,
b) max ciśnienie spalania – spadek,
c) zmiana barwy spalin – dymienie,
d) temperatura spalin na pozostałych cylindrach – wzrost,
e) max ciśnienie wtrysku – spadek.

Uzyskany zbiór reguł został poddany ocenie zgodnie z koncepcją zaproponowaną przez W. Moczulskiego [7]. Ocenie były poddawane pojedyncze reguły poprzez przyporządkowanie przez specjalistę stwierdzenia wyrażającego subiektywny stopień przekonania o słuszności reguły $B(r)$. Przedział zmienności dla stopnia przekonania o słuszności reguły określono przez podanie dwóch miar, tj. miary stopnia konieczności reguły $N(r)$ oraz stopnia możliwości reguły $P(r)$.

3. Pozyskiwanie wiedzy z baz danych

Celem badań było uzyskanie reguł umożliwiających ocenę stanu okrętowego silnika spalinowego na podstawie informacji o przebiegu eksploatacji zgromadzonych w bazie danych.

Zbiór reguł uzyskano za pomocą wybranych metod indukcji reguł. Porównano wyniki uzyskane klasycznym algorytmem LEM2 [11] z algorytmami MODLEM [11] oraz EXPLORE [11].

Oceny przydatności algorytmów indukcji reguł dokonano na danych pozyskanych w ramach eksperymentu czynnego na silniku laboratoryjnym.

Obiektem badań był czterosurowy silnik typu Sulzer 3Al 25/30 o mocy nominalnej $N_n = 408$ kW i prędkości obrotowej $n = 750$ obr/min doładowany turbosprężarką. Silnik został wyposażony w układ pomiarowy, umożliwiający rejestrację podstawowych parametrów roboczych, takich jak ciśnienia i temperatury spalin, powietrza doładowującego, wody chłodzącej oraz oleju smarnego. Dodatkowo mierzone były przebiegi ciśnień szybkozmiennych w cylindrach silnika oraz

w przewodach paliwowych. Wszystkie parametry były automatycznie zapisywane w bazie danych zintegrowanej z systemem pomiarowym.

Program badań zrealizowano zgodnie z planem eksperymentu czynnego. Podczas eksperymentu symulowano jeden poziom określonego uszkodzenia, następnie dokonywano pomiarów wszystkich parametrów, w zakresie pracy silnika od 50 do 250 kW. Doświadczenie nie uwzględniało występowania wielu uszkodzeń jednocześnie oraz różnego poziomu natężenia danego uszkodzenia.

Uwzględniono następujące uszkodzenia silnika:

- spadek wydajności sprężarki powietrza,
- zanieczyszczenie filtra turbosprężarki,
- zanieczyszczenie chłodnicy powietrza doładowującego,
- zanieczyszczenie traktu wylotowego,
- nieszczelność pompy wtryskowej,
- zmniejszenie ciśnienia otwarcia wtryskiwacza,
- niedrożne otwory wtryskiwacza,
- rozkalibrowane otwory wtryskiwacza,
- nieszczelność głowicy.

Wyniki pomiarów zostały zarejestrowane w bazie danych a następnie przekształcone do postaci tablicy decyzyjnej. Taka forma reprezentacji danych jest bowiem wymagana przez zastosowane algorytmy indukcji reguł. Poszczególne przykłady uczące są w takiej sytuacji opisane w wierszach tablicy za pomocą zbioru atrybutów. Jeden z tych atrybutów jest atrybutem decyzyjnym określającym przynależność przykładu do określonej klasy decyzyjnej [11].

Uzyskana tablica zawierała 454 przykłady uczące, każdy opisany 43 atrybutami typu numerycznego. Przykłady obejmowały 6 symulowanych uszkodzeń silnika.

W związku z tym, iż algorytmy LEM2 oraz EXPLORE nie powinny być stosowane bezpośrednio do danych numerycznych, zastosowano dyskretyzację wstępną.

Badane algorytmy indukcji zastosowano zarówno do danych niepoddanych dyskretyzacji, jak i poddanych dyskretyzacji.

Do badań wykorzystano oprogramowanie opracowane przez Zakład Inteligentnych Systemów Wspomagania Decyzji Politechniki Poznańskiej o nazwie ROSE2 [9, 10].

Ocena uzyskanych zbiorów reguł była realizowana w perspektywie klasyfikacji. Oznacza to, że każdorazowo na podstawie reguł budowano klasyfikator, który był poddawany ocenie. W tabeli 1 przedstawiono liczbę reguł, trafność klasyfikacji oraz wyniki klasyfikacji, uzyskane techniką *10-fold cross validation* dla badanych algorytmów indukcji reguł decyzyjnych.

TABELA 1

Porównanie wyników trafności klasyfikacji uzyskanych algorytmami LEM2 oraz MODLEM

Rodzaj dyskretyzacji wstępnej	Algorytm indukcji reguł	Ilość uzyskanych reguł	Trafność klasyfikacji (<i>10-fold cross validation</i>)
Bez dyskretyzacji	LEM2	132	10%
	MODLEM	9	92%
Dyskretyzacja wstępna metodą lokalną	LEM2	17	97%
	MODLEM	14	97%
Dyskretyzacja wstępna metodą globalną	LEM2	43	84%
	MODLEM	45	79%

Uzyskane wyniki wskazują na wysoką skuteczność algorytmu MODLEM dla danych niepoddanych wcześniejszej dyskretyzacji. Uzyskana trafność klasyfikacji estymowana techniką *10-fold cross validation* wyniosła 87%. Trafność klasyfikacji uzyskana algorytmem LEM2 wyniosła w tym przypadku 24%, natomiast algorytmem EXPLORE 21%. W przypadku zastosowania dyskretyzacji wstępnej za pomocą algorytmów LEM2 oraz MODLEM uzyskano identyczne rezultaty. Najniższą skuteczność klasyfikacji uzyskano dla algorytmu EXPLORE.

Niewątpliwą zaletą algorytmu MODLEM w stosunku do LEM2 jest możliwość bezpośredniego wykorzystania danych numerycznych niepoddanych dyskretyzacji wstępnej. Z jednej strony upraszcza to sam proces pozyskiwania wiedzy, z drugiej warunkuje bezpośrednio czytelność i łatwość interpretacji uzyskanych reguł. Użytkownik systemu ekspertowego ma w takiej sytuacji bezpośredni podgląd wartości cech zawartych w przesłankach reguły. Dodatkowym argumentem przemawiającym za wyborem algorytmu MODLEM, pomimo nieco niższej skuteczności klasyfikacji, jest bardzo mała liczba błędnie sklasyfikowanych przykładów (dla danych niepoddanych dyskretyzacji wstępnej). Przykłady wątpliwe nie są przez niego przypisywane do żadnej klasy.

Biorąc pod uwagę wyniki badań przedstawione w powyższym rozdziale, ostateczną indukcję reguł przeprowadzono w środowisku ROSE2 z wykorzystaniem algorytmu MODLEM. W wyniku przeprowadzonej indukcji uzyskano 35 reguł o złożonych przesłankach umożliwiających identyfikację stanów na silnikach symulowanych podczas eksperymentu.

4. Koncepcja systemu

Przyjęto następujące założenia ogólne dotyczące sposobu działania ekspertowego systemu diagnozowania silnika okrętowego:

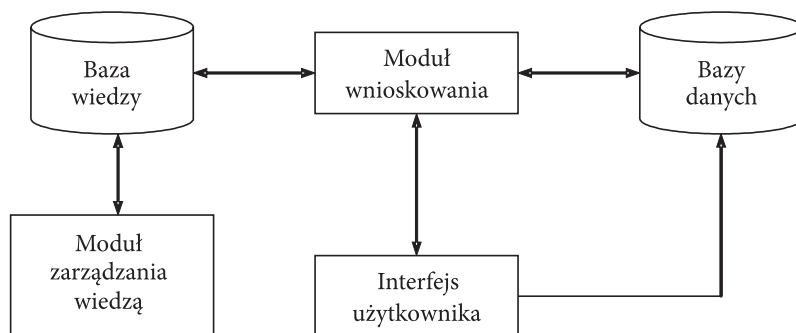
- użytkownik systemu (oficer–mechanik okrętowy) współpracuje z komputerem w trybie dialogowym, wprowadzając dane poprzez udzielanie odpowiedzi na pytania generowane przez system;
- system może również pobierać dane w sposób automatyczny, z okrętowej bazy danych;
- system generuje diagnozy w formie stwierdzeń o zakwalifikowaniu silnika do określonej klasy stanów.

Podstawowa rola systemu ekspertowego polega zatem na tym, że na podstawie danych wejściowych (wprowadzonych bezpośrednio przez użytkownika lub pobranych automatycznie z bazy danych) formułuje diagnozy w postaci stwierdzeń.

Przyjęto modułową architekturę systemu. Umożliwia ona między innymi łatwe rozbudowywanie systemu poprzez dodawanie nowych elementów oraz dowolne kształtowanie różnych konfiguracji. System składa się z następujących modułów głównych:

- bazy danych (baza danych stałych oraz baza danych zmiennych),
- bazy wiedzy,
- modułu pozyskiwania wiedzy diagnostycznej,
- modułu wnioskującego,
- modułu sterowania dialogiem z użytkownikiem.

Strukturę systemu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Ogólna struktura systemu ekspertowego

Głównym elementem całego systemu jest moduł wnioskowania. Realizuje on działania związane z przeprowadzeniem procesu wnioskowania i wyznaczeniem wyników diagnozy. Moduł wnioskowania oraz sterowania dialogiem został zbudowany z wykorzystaniem języka CLIPS. Zastosowanie języka CLIPS umożliwiło budowę podstawowych bloków systemu w ramach jednolitego środowiska. Maszyna wnioskująca, układ sterowania dialogiem z użytkownikiem oraz baza wiedzy są realizowane przez środowisko CLIPS.

4.1. Moduł zarządzania wiedzą

Większość współczesnych narzędzi do budowy systemów ekspertowych, w tym również środowisko CLIPS, nie ma wyposażenia w dedykowane programy do zarządzania bazą wiedzy. Baza wiedzy jest z reguły dołączana do systemu w postaci pliku tekstowego w formacie akceptowalnym przez dany system ekspertowy. Podczas prac związanych z budową systemu powstała konieczność opracowania dedykowanego oprogramowania, którego celem było zarządzanie wiedzą diagnostyczną. Oprogramowanie powstało w środowisku DELPHI i jako niezależny moduł wchodzi w skład programów stanowiących system ekspertowy diagnozowania silników spalinowych.

Moduł zarządzania wiedzą diagnostyczną spełnia następujące funkcje:

- wprowadzanie oraz edycję słowników nazw atrybutów, obiektów oraz uszkodzeń,
- dodawanie nowych reguł, przeglądanie oraz edycję reguł już zapisanych w bazie wiedzy,
- ocenę reguł zapisanych w bazie wiedzy,
- importowanie reguł do bazy wiedzy ze środowiska ROSE2,
- eksportowanie bazy wiedzy do formatu środowiska CLIPS.

4.2. Baza wiedzy

W bazie wiedzy zapisano podstawową wiedzę o dziedzinie zastosowania oraz wiedzę operacyjną umożliwiającą diagnozowanie silnika. Wiedza podstawowa obejmuje opis obiektów oraz klasy obiektów, opis cech obiektów oraz słowniki pojęć (obiektów, cech obiektów, uszkodzeń, symptomów uszkodzeń).

Wiedzę operacyjną stanowią reguły umożliwiające ocenę stanu silnika. W bazie wiedzy operacyjnej wyodrębniono dwie podbazy. Wynika to z faktu różnego sposobu zapisu wiedzy pochodzącej od specjalistów oraz generowanej automatycznie. Wiedza ekspertów ma charakter jakościowy. Podczas pozyskiwania wiedzy od specjalistów stwierdzono, że bardzo chętnie posługują się oni określeniami „wysoka temperatura spalin”, „niskie ciśnienie powietrza doładowującego”. Mają jednak problemy ze sformułowaniem wartości ilościowych tych atrybutów. W przypadku reguł pozyskanych metodami indukcyjnymi, mamy do czynienia z regułami odwołującymi się do wartości ilościowych atrybutów. Decyzję o podziale bazy wiedzy, na rzecz jej konwersji do jednolitego sposobu reprezentacji, podjęto na podstawie następujących przesłanek:

1. Konwersja wiedzy jakościowej pozyskanej od ekspertów na relacje ilościowe wymagałaby określenia modelu nominalnego silnika oraz ilościowego zdefiniowania określeń „wysoka temperatura”, „niskie ciśnienie”. Szczególnie trudna wydaje się druga część zadania. Definicja „wysokiej temperatury”

może mieć różne znaczenie dla poszczególnych ekspertów, dodatkowo może silnie zależeć od rodzaju diagnozowanego silnika.

2. Relacje jakościowe wydają się najbardziej odpowiednie do zapisu ogólnych relacji diagnostycznych i mogą być przydatne do diagnozowania różnych typów silników. Ten sposób reprezentacji umożliwia dodatkowo łatwe dodawanie nowej wiedzy, gdyż intuicyjnie odpowiada ona sposobowi rozumowania ekspertów.
3. Możliwe jest wprawdzie uzyskanie wiedzy jakościowej w sposób indukcyjny poprzez zastosowanie dyskretyzacji wstępnej, komplikuje to jednak znacznie sam proces automatycznego pozyskiwania wiedzy. Wykorzystanie dyskretyzacji zmniejsza również czytelność w ten sposób uzyskanych reguł oraz utrudnia prowadzenie dialogu z użytkownikiem.

Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej trudności związane z jednolitą reprezentacją wiedzy pozyskanej od ekspertów oraz w sposób indukcyjny, wiedza pozyskana z tych dwóch źródeł została zapisana niezależnie, w postaci odrębnych baz wiedzy. Wiedza pozyskana od ekspertów, mająca charakter ogólny, została przedstawiona w postaci reguł jakościowych. Wiedzę pozyskaną w sposób indukcyjny zapisano w formie reguł ilościowych (ostrych).

Wiedza jakościowa została pozyskana w wyniku prowadzenia wywiadów z ekspertami. Baza wiedzy składa się z 36 reguł umożliwiających diagnozowanie wybranych układów silnika.

Wszystkie reguły zapisane w bazie wiedzy jakościowej zostały poddane ocenie przez ekspertów. Wykrywanie uszkodzeń wymienionych układów silnika z wykorzystaniem tych reguł jest możliwe z określonym przez ekspertów stopniem pewności.

Drugą niezależną bazę wiedzy systemu ekspertowego stanowi baza wiedzy, w której zapisano reguły pozyskane z bazy danych w sposób automatyczny. W tym celu wykorzystano algorytm MODLEM. Reguły zapisane w tej bazie mają charakter ilościowy (ostry). W bazie wiedzy zapisano 35 reguł umożliwiających wykrywanie wybranych uszkodzeń układu wtryskowego, układu wymiany czynnika roboczego oraz komory spalania.

Przedstawiona baza wiedzy ma charakter otwarty. Może być w dowolny sposób rozwijana oraz modyfikowana.

5. Weryfikacja systemu

Podczas weryfikacji zaproponowanego systemu ekspertowego przedmiotem oceny była wiedza zapisana w jego bazie wiedzy oraz funkcjonowanie samego systemu (procedur sterowania wnioskowaniem oraz sterowania przebiegiem dialogu z użytkownikiem).

Weryfikacja reguł pozyskanych od specjalistów polegała na ich ocenie merytorycznej. Postępowanie takie zapewniło swego rodzaju sprzężenie zwrotne, umożliwiające z jednej strony weryfikację przyjętej terminologii oraz sposobu interpretacji wiedzy przez programistę bazy wiedzy, z drugiej merytoryczną poprawność samych reguł.

Ocena wiedzy była realizowana przez ekspertów poprzez przypisanie poszczególnym regułom stopnia przekonania o ich słuszności [1].

Reguły diagnostyczne pozyskane metodami automatycznymi zostały zweryfikowane pod względem sprawności rozpoznawania badanych stanów silników, jak również pod względem merytorycznym.

Ocena funkcjonowania systemu polegała na sprawdzeniu możliwości prowadzenia sesji z użytkownikiem oraz poprawności wyprowadzanych konkluzji.

5. Podsumowanie

Kompleksowe systemy diagnozowania okrętowych silników tłokowych znajdują bardzo ograniczone zastosowanie na statkach, przede wszystkim ze względu na wysokie koszty. Silniki okrętowe są jednak wyposażone w szereg czujników i urządzeń umożliwiających pomiar szeregu parametrów pracy oraz ich automatyczną rejestrację w bazie danych. Zadanie oceny stanu technicznego należy jednak w dalszym ciągu do operatora silnika i brakuje obecnie systemów informatycznych, które mogłyby ten proces wspomagać.

Zastosowanie systemu ekspertowego może w sposób znaczący rozszerzyć możliwości istniejących systemów monitoringu siłowni pod względem diagnozowania silników okrętowych. System taki pozwala na zapisanie cennej praktycznej wiedzy operatora do jej późniejszego wykorzystania. Dodatkową zaletą jest możliwość pozyskiwania wiedzy diagnostycznej w sposób automatyczny metodami uczenia maszynowego. Wykazano wysoką przydatność tego typu metod do tworzenia reguł diagnostycznych na podstawie przykładów zgromadzonych w bazie danych.

System ekspertowy pozwala na integrację w ramach jednego systemu wiedzy pozyskanej od specjalistów jak i w sposób automatyczny. Niewątpliwą zaletą systemu ekspertowego jest również możliwość uaktualniania i rozszerzania wiedzy zapisanej w jego bazie wiedzy. Dzięki temu efektywność systemu może być zwiększana wraz z przebiegiem eksploatacji silnika i zdobywaniem nowych doświadczeń.

LITERATURA

- [1] W. CHOLEWA, *Diagnostyczny system doradczy DT3D100. Organizacja procesu wnioskowania*, Raport częściowy nr DT6D131 z realizacji projektu PBZ-038-06, KPKM Pol. Śląskiej, Gliwice, 2002.
- [2] W. CHOLEWA, *Metoda diagnozowania maszyn z zastosowaniem zbiorów rozmytych*, ZN Pol. Śląskiej, nr 764, Seria: Mechanika, z. 79, Gliwice, 1983.
- [3] P. CICHOSZ, *Systemy uczące się*, WNT, Warszawa, 2007.
- [4] Z. GRZYWACZEWSKI, *Niezawodność statków*, Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego WEMA, Warszawa, 1988.
- [5] M. SOBOCKI, *Wprowadzenie do metodologii badań pedagogicznych*, Oficyna Wydawnicza IMPULS, Kraków, 2001.
- [6] R. S. MICHALSKI, *A theory and methodology of inductive learning*, Artificial Intelligence, 20, 1983, 111-161.
- [7] W. MOCZULSKI, *Metody pozyskiwania wiedzy dla potrzeb diagnostyki maszyn*, ZN Pol. Śląskiej, nr 1382, Seria: Mechanika, z. 130, Gliwice, 1997.
- [8] J. MULAWKA, *Systemy ekspertowe*, WNT, Warszawa, 1996.
- [9] B. PREDKI, R. SŁOWINSKI, J. STEFANOWSKI, R. SUSMAGA, SZ. WILK, *ROSE — Software Implementation of the Rough Set Theory*, [in:] L. Polkowski, A. Skowron, eds. *Rough Sets and Current Trends in Computing*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 1424, Springer-Verlag, Berlin, 1998, 605-608.
- [10] B. PREDKI, SZ. WILK, *Rough Set Based Data Exploration Using ROSE System*, [in:] Z. W. Ras, A. Skowron, eds. *Foundations of Intelligent Systems*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 1609, Springer-Verlag, Berlin, 1999, 172-180.
- [11] J. STEFANOWSKI, *Algorytmy indukcji reguł decyzyjnych w odkrywaniu wiedzy*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, rozprawa nr 361, Poznań, 2001.
- [12] B. ŻÓŁTOWSKI, CZ. CEMPEL, *Inżyniera Diagnostyki Maszyn*, Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej, Instytut Technologii Eksploatacji PIB, Radom, Warszawa, Bydgoszcz, 2004.

R. PAWLETKO, A. CHARCHALIS

Application of expert system for marine diesel engine diagnosis

Abstract. The development of diagnostic systems for marine diesel engines is vital for both ship safety and economic reasons. Nowadays, many diagnostic systems have been created by both research laboratories and engine producers. Typical disadvantage of most systems is their completeness. This means that diagnostic algorithms of technical conditions, adopted during system creation, cannot be updated or modified during later operation.

The solution to the problem could be an expert system in ship engine diagnosis. Module system structure, and above all, the separation of database from remaining program, enables creation of diagnostic system of open type, where diagnostic knowledge can be updated and cumulated.

This paper presents diagnostic system concept for marine diesel engine, basing on expert system model. The relevant knowledge database was created with the use of collected diagnostic data. Diagnostic data were collected from experts (ship engine professionals) and diagnostic databases.

The paper questionnaire was used to the knowledge acquisition from experts. Basic knowledge related to the marine diesel exploitation was undertaken. The expert knowledge covers the weakness point

of engine, the kind of faults and diagnostic relation between faults and their symptoms. The group of experts contained the experienced merchant navy officers.

The selected machine learning methods was used to obtain the relationship in the form of diagnostic rules from data base. The results obtained with the algorithms LEM2, MODLEM, and EXPLORE was compared. MODLEM algorithm allows the use of numerical data directly without having to pre-discretization. Learning examples, stored in the diagnostic database, were obtained as a result of the active experiment, carried out on laboratory Sulzer engine 3AL 25/30. During the experiment, damages of the turbocharging system, fuel injection system, and combustion chamber were simulated. Only the elementary states (single damage in the same time) in a variable load were included. Ten-fold cross validation technique was used for evaluation of the obtained rules classifiers. The obtained diagnostic rules have also been assessed in substantive terms, including an analysis of the relationship between disability states and received symptoms.

Complex diagnostic systems for marine diesel engine diagnosis face limited application in ships, particularly due to their high cost. Ship engines are fitted with assorted indicators and measurement tools enabling control of many operational parameters, as well as, storing such measurements in databases. Technical condition verdict is, however, still the responsibility of the engine operator, and here comes the room for IT systems, which could facilitate such processes.

The expert system application may substantially enhance abilities of monitoring systems presently existent in power rooms, in respect of ship engine diagnosis. Such a system enables saving valuable, operational knowledge for later use. Additional advantage represents the opportunity of automatic collection of diagnostic information with machine learning methods. The usefulness of such methods for creation of diagnostic rules was proved on the basis of examples stored in database.

The expert system enables integration within a single frame of both information collected from experts and automatically collected one. A doubtless advantage of expert system is the opportunity of updating and developing the content recorded in the database. Due to this feature, the effectiveness of the system may grow during engine operation and facilitate gaining new experience.

Keywords: technical diagnostic, expert system, combustion engines

Universal Decimal Classification: 621.43

