

УДК 621.431

Grzebieniak Robert

Chybowski Leszek

Instytut Technicznej Eksploatacji Siłowni  
Okrętowych

Akademia Morska w Szczecinie

## **WYKORZYSTANIE TESTÓW DIAGNOSTYCZNYCH ZBUDOWANYCH METODĄ MACIERZY BOOLEOWSKICH DO OCENY STANU TECHNICZNEGO SYSTEMU SMAROWANIA SILNIKA GŁÓWNEGO**

### **WPROWADZENIE**

Niezawodność obiektów technicznych jest nową dziedziną wiedzy, która na przełomie ostatnich kilkunastu lat przeżywa swój dynamiczny rozwój. Względy bezpieczeństwa załogi i statku wymuszają zmniejszenie liczby awarii do minimum stanowiąc ważny krok w kierunku minimalizacji strat ekonomicznych ponoszonych przez armatorów. W przeważającej mierze uszkodzenia są spowodowane niewłaściwą eksploatacją operatorów. Ograniczenie tej liczby strat wymaga stałego dopływu informacji o przyczynach i skutkach awarii. Uzyskane informacje tworzą banki danych generując ewolucyjny rozwój systemów wskazując nam elementy oraz rozwiązania najbardziej zawodne. Pozwoli nam to na eliminację tych uszkodzeń przy budowie nowych jednostek pływających, które dzięki temu osiągną większą niezawodność eksploatacyjną.

Efektywna minimalizacja tych zagrożeń wyznaczająca wzrost bezpieczeństwa, jakości i efektywności systemów jest możliwa, jeśli rozważy się system w całym jego cyklu życia: od zamysłu realizacji pomysłu po jego likwidację. Wymóg ten zostanie spełniony przy ciągłej diagnostyce podczas eksploatacji, pozwalającej nie tylko na ocenę aktualnego

stanu technicznego, ale również lokalizację uszkodzenia. Rutynowo wykonywane czynności eksploatacyjne stanowią elementy procesu diagnozowania.

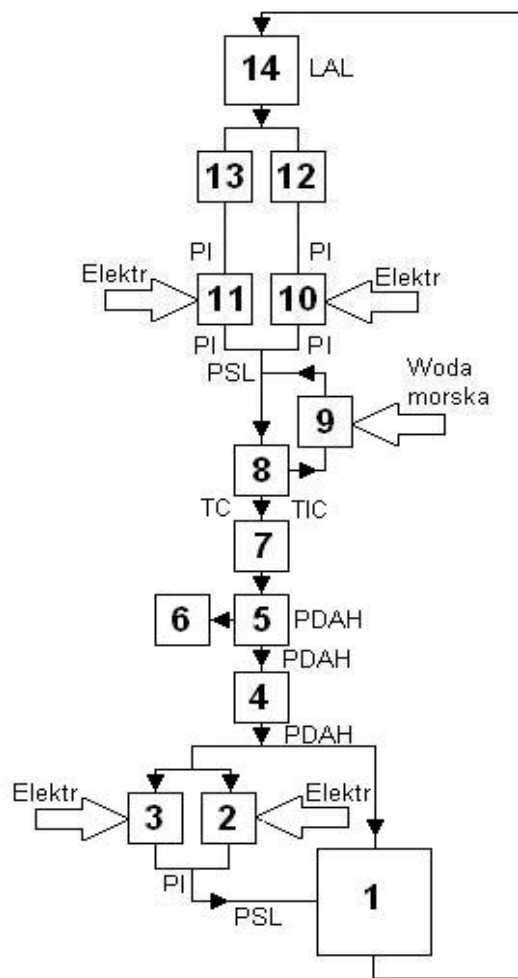
Celem niniejszej pracy jest analiza systemu smarowania silnika głównego siłowni okrętowej w oparciu o test diagnostyczny z zastosowaniem metody macierzy Booleowskich.

## **1. ZASTOSOWANIE TESTÓW DIAGNOSTYCZNYCH DO ANALIZY PRACY SYSTEMU SMAROWANIA SILNIKA GŁÓWNEGO**

Informacje o stanie systemu można uzyskać za pomocą sprawdzeń. Wykonanie każdego ze sprawdzeń może dzielić zbiór  $E = \{e_z\}$ ,  $z = \overline{1, n}$  elementów obiektu na dwa podzbiory. Podzbiór pierwszy, o którym można powiedzieć, że nie zawiera lub zawiera elementy uszkodzone (odpowiednio pozytywny lub negatywny wynik sprawdzania), oraz podzbiór drugi, o którym tego powiedzieć nie można. Zbiór  $T_d \subset \Pi$  sprawdzeń, który umożliwia rozróżnianie wszystkich stanów  $W$  diagnozowanego obiektu, jest nazywany testem diagnostycznym. Na ogół dąży się do wykorzystywania testów minimalnych lub zbliżonych do minimalnych. Rzeczywistą liczbę sprawdzeń, możliwych do wykonania w realnym obiekcie, można określić za pomocą modeli funkcjonowania obiektu. Istnieje wiele metod tworzenia testów diagnostycznych wykorzystujących różne dziedziny matematyki. Istnieją różne typy testów diagnostycznych, jak np.: metoda kolejnego wyboru sprawdzeń, metoda macierzy Boolowskich, metoda informacyjna, metoda kontroli grupowej, metoda podziału połówkowego, metody optymalizacyjne, itd. [3,4].

W testach diagnostycznych dąży się do wykorzystywania testów minimalnych lub zbliżonych do minimalnych. Rzeczywistą liczbę sprawdzeń określa się korzystając z modelu funkcjonalnego obiektu czyli w tym przypadku z grafów obrazujących przepływ czynnika w danej instalacji. Przykładowe zastosowanie metody macierzy Boole'owskich dokonano na podstawie systemu smarowania silnika głównego.

Na rysunku 1 przedstawiono graf przepływu sporządzony dla systemu smarowania silnika głównego. W celu bardziej obrazowego i łatwiejszego zastosowania testu diagnostycznego, oznaczono również dopływy zewnętrznych nośników energii wykorzystywanych w poszczególnych elementach układu.



Rys. 1. Rysunek 13. Struktura funkcjonalna przepływu czynników w systemie smarowania. SG.1-silnik główny, 2,3- pompy smarowania krzyżulców, 4- filtr indykatorowy, 5- filtr automatyczny, 6- zbiornik filtra automatycznego, 7-filtr magnetyczny, 8- zawór trójdrożny, 9- chłodnica oleju, 10,11- pompy obiegowe, 12,13- filtry zgrubne, 14 –zbiornik obiegowy oleju.

### 1.1 Zastosowanie metody macierzy boolowskich

Dla podanego wyżej systemu wyznaczono testy kontroli sprawności obiektu i lokalizacyjny uszkodzeń.

Dla grafu przedstawionego na rysunku 1, składającego się z elementów  $E=\{e_1, e_2, e_3, \dots, e_{14}\} = \{e_j\}, j = 1, 2, \dots, 14$  współdziałających ze sobą według schematu funkcjonalnego, stan jest charakteryzowany zbiorem 14 elementów  $W = \{w_0, w_1, \dots, w_{14}\} = \{w_i\}, i = 0, 1, \dots, 14$ . Przez  $w_0$  oznaczono stan pełnej zdatności systemu paliwowego,  $w_1$  oznacza niezdatność elementu  $e_1$  itd. Zbiór sprawdzeń  $\Pi$  składa się z 14 sprawdzeń, przy czym sprawdzenie  $\pi_j$  oznacza kontrolę parametru wyjściowego z  $j$ -tego elementu. Na podstawie przyjętej struktury funkcjonalnej stworzono tablicę stanów (tabela 1). Poszczególne stany, w których może znaleźć się system wyrażone są za pomocą

czternastocyfrowych liczb binarnych, które obrazują sposób funkcjonowania diagnozowanego systemu, miejsce zera odpowiada numerowi elementu niezdatnego. W kolumnach rezultatów sprawdzeń  $\pi_j$  wartość 0 dla danego sprawdzenia oznacza, że wartość kontrolowanego parametru przekroczyła wartość dopuszczalną, wystąpienie wartości 1 oznacza, że wartość danego parametru mieści się w normie. Do uproszczenia późniejszego opisu struktury funkcjonalnej przepływu czynników w systemie smarowania silnika głównego została wprowadzona przez autora pracy dodatkowa numeracja poszczególnych elementów.

Tabela 1

Stany systemu smarowania SG

ZBIÓR STANÓW $W$		ZBIÓR SPRAWDZEŃ													
		$\pi_1$	$\pi_2$	$\pi_3$	$\pi_4$	$\pi_5$	$\pi_6$	$\pi_7$	$\pi_8$	$\pi_9$	$\pi_{10}$	$\pi_{11}$	$\pi_{12}$	$\pi_{13}$	$\pi_{14}$
w0	11111111111111	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
w1	01111111111111	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
w2	10111111111111	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
w3	11011111111111	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
w4	11101111111111	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
w5	11110111111111	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
w6	11111011111111	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
w7	11111101111111	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
w8	11111110111111	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
w9	11111111011111	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
w10	11111111101111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
w11	11111111110111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
w12	11111111111011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
w13	11111111111101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
w14	11111111111110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablice stanów stanowią źródło dla budowy testów diagnostycznych do kontroli stanu systemu ( $KSS$ ) oraz do lokalizacji uszkodzeń w systemie ( $LUS$ ). W trakcie analizy budując macierz danego testu (np.:  $w_j$ ,  $w_r$ ), tworzy się element równy 1 z układu 1-0, natomiast układy 0-0 i 1-1 dają w wyniku wartość 0. Do budowy testu  $KSS$  tworzy się podzbiór stanów  $W$  za pomocą par sprawdzeń ( $w_o$ ,  $w_j$ ), natomiast do tworzenia testu  $LUS$  tworzy się podzbiór par stanów ( $w_j$ ,  $w_r$ ). Dla struktury przedstawionej na rysunku 1 sporządzono macierz dla testu  $KSS$  (tabela 2) oraz dla testu  $LUS$  (tabela 3). Wartość 1 w kolumnach rezultatów sprawdzeń oznaczają rozróżnialność stanu za pomocą danego sprawdzenia  $\pi_j$ , a 0 nierozróżnialność stanu za pomocą danego sprawdzenia (rezultat sprawdzenia  $\pi_j$  nie zależy od stanu systemu).



(w3,w6)	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
(w3,w7)	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
(w3,w8)	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
(w3,w9)	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
(w3,w10)	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
(w3,w11)	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
(w3,w12)	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
(w3,w13)	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
(w3,w14)	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
(w4,w5)	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(w4,w6)	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
(w4,w7)	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
(w4,w8)	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
(w4,w9)	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
(w4,w10)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
(w4,w11)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
(w4,w12)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
(w4,w13)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
(w4,w14)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
(w5,w6)	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
(w5,w7)	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
(w5,w8)	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
(w5,w9)	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
(w5,w10)	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
(w5,w11)	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0
(w5,w12)	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0
(w5,w13)	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0
(w5,w14)	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
(w6,w7)	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
(w6,w8)	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
(w6,w9)	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
(w6,w10)	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
(w6,w11)	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0
(w6,w12)	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
(w6,w13)	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0
(w6,w14)	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
(w7,w8)	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
(w7,w9)	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
(w7,w10)	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0
(w7,w11)	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
(w7,w12)	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0
(w7,w13)	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0
(w7,w14)	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
(w8,w9)	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
(w8,w10)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
(w8,w11)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
(w8,w12)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
(w8,w13)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
(w8,w14)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
(w9,w10)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
(w9,w11)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
(w9,w12)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
(w9,w13)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0
(w9,w14)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
(w10,w11)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
(w10,w12)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
(w10,w13)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
(w10,w14)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
(w11,w12)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
(w11,w13)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
(w11,w14)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
(w12,w13)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
(w12,w14)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
(w13,w14)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

## 2. UWAGI KOŃCOWE

Zastosowanie opisanej metody podczas diagnozowania obiektu jest uwarunkowane opracowaniem odpowiedniego struktury funkcjonalnej przepływu czynników, które pozwalają na opisanie każdego możliwego stanu technicznego urządzeń i instalacji siłowni.

Wraz ze wzrostem ilości czujników można coraz dokładniej określać stan obiektów technicznych przy jednoczesnym wzroście kosztów systemu i jego eksploatacji. Dlatego powinno się unikać stosowania niepotrzebnego nadmiaru instrumentów pomiarowych.

Należy jednak pamiętać, że nawet najlepszy model matematyczny nie będzie spełniał swojej roli bez odpowiedniej ilości parametrów opisujących stan obiektu. Przez parametry te rozumiemy wyniki pomiarów temperatury, ciśnienia, różnicy ciśnień, natężenia przepływu, niskiego i wysokiego poziomu paliwa w zbiornikach, lepkości itp. Przekazują one informacje pozwalające w dokładny sposób określić stan oraz prawidłowość działania poszczególnych instalacji. Analiza systemu smarowania silnika głównego wykazała, że zastosowanie testu diagnostycznego, zbudowanego metodą macierzy booleowskich, obejmującego 12 sprawdzeń pozwala na określenie stanu systemu w prezentowany ujęciu.

### LITERATURA

1. Czajgucki J.Z.: *Niezawodność spalinowych siłowni okrętowych*. Wydawnictwo Morskie, Gdynia 1987 r
2. Grzebieniak R.: *Zastosowanie wybranych testów diagnostycznych do oceny stanu technicznego wybranych systemów siłowni okrętowych*. VII Seminarium Naukowe Młodych Inżynierów Mechaników, Gdańsk 13-14 maja 2004 r.
3. Żółkowski B.: *Podstawy diagnostyki maszyn*. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej, Bydgoszcz 1996 r., s. 309-337
4. Żółkowski B., Ćwik Z.: *Leksykon diagnostyki technicznej*. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej, Bydgoszcz 1996 r., s. 155-159, 347-348

### APPLICATION OF DIAGNOSTIC TESTS FOR THE ASSESMENT OF SHIP LUBE OIL SYSTEM TECHNICAL STATE

The paper presents an example of using the Boolean matrix. Verification tests for the ship lube oil system technical state assessment have been presented. As example lube oil system the system installed on board of m/v Powstaniec Styczniowy has been used.