Journal of Polish CIMEEAC
Faculty of Ocean Engineering & Ship Technology
GDAŃSK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

UWARUNKOWANIA DIAGNOSTYCZNE STEROWANIA PROCESEM EKSPLOATACJI OKRĘTOWYCH SILNIKÓW GŁÓWNYCH

Jacek Rudnicki

Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk
tel.: +48 58 3472973
e-mail:jacekrud@pg.edu.pl

Streszczenie

Ze względu na losowość czynników wymuszających podczas użytkowania urządzeń okrętowych w praktyce eksploatacyjnej okrętowych układów energetycznych wdrażanych jest coraz więcej elementów strategii eksploatacji wg stanu technicznego (ang. Condition Based Maintenance). W referacie przedstawiono wybrane problemy dotyczące diagnostyki jako niezbędnego ogniwa w ciągu czynności związanych z podejmowaniem racjonalnych, podyktowanych aktualnym stanem technicznym, decyzji eksploatacyjnych. W tym aspekcie zwrócono uwagę na konieczność odpowiedniego zorganizowania badań diagnostycznych oraz sposobu gromadzenia ich wyników pod kątem zastosowania w przyjętym modelu decyzyjnym. Ilustracją przedstawionych rozważań jest zaproponowany model procesów: zmian stanu technicznego i eksploatacyjnego silnika okrętowego opracowany z wykorzystaniem teorii procesów semimarkowskich. Uzyskane na podstawie tych modeli wartości odpowiednich wskaźników mogą zostać użyte w procesie decyzyjnym np. podczas wzmiankowanym w referacie opracowaniu drzewa decyzyjnego.

Słowa kluczowe: *eksploatacja, diagnostyka, decyzja eksploatacyjna, siłownia okrętowa*

1. Wprowadzenie

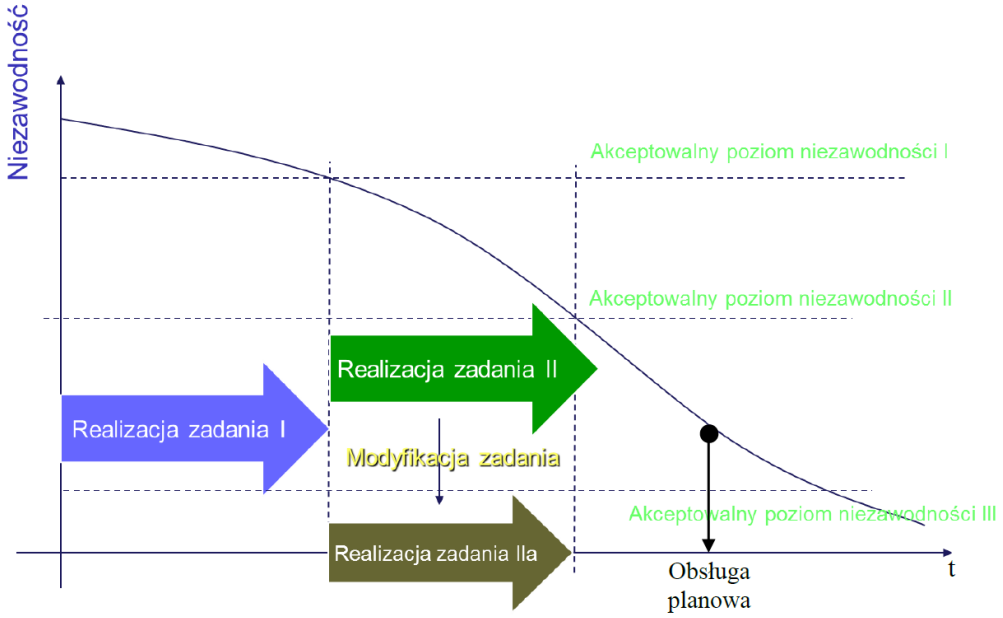
Ponieważ czas użytkowania każdego złożonego układu, jakim jest okrętowy silnik tłokowy (w szczególności – napędu głównego) nie może być jednoznaczną miarą zużycia jego elementów, zaś wysoka niezawodność działania tego silnika gwarantuje min. bezpieczeństwo statku morskiego, racjonalna eksploatacja wymaga dopływu informacji na temat jego aktualnego stanu technicznego oraz opracowywania w tym zakresie stosownych prognoz.

W ostatnich latach, pomimo istniejących nadal ograniczeń formalno – prawnych zawartych min. w przepisach klasyfikacyjnych zmienia się koncepcja eksploatacji okrętowych układów energetycznych. Ze względu na rosnące bieżące koszty eksploatacji w transporcie morskim coraz wyraźniejsze stają się tendencje do wdrażania przynajmniej elementów strategii eksploatacji wg stanu technicznego (ang. *Condition Based Maintenance*).

Nie jest to możliwe bez istniejącego w systemie eksploatacji nadzoru diagnostycznego. Realizacja sprzętowo – programowa systemu diagnostycznego umożliwia sterowanie procesem eksploatacji poprzez [4]:

- możliwość zmiany aktualnego stanu energetycznego silnika stosownie do istniejącego stanu technicznego oraz istniejących warunków zewnętrznych np. hydrometeorologicznych,
- identyfikację potrzeby wykonania obsługi poprzez znajomość diagnozy i prognozy w zakresie stanu technicznego silnika,
- możliwość oceny jakości wykonania obsługi.

Racjonalne planowanie obsług profilaktycznych jest trudne ze względu na to, że czynniki oddziaływujące na maja naturę losową. Wskutek tego również parametry struktury konstrukcyjnej podlegają zmianom losowym. Zakładając w związku z tym, w pewnej populacji rozwiązań konstrukcyjnych określonego typu ich jednakowy początkowy stan techniczny można z bardzo dużym prawdopodobieństwem oczekiwać, iż na skutek różnych obciążeń, zadań jakie wykonuje jednostka pływająca oraz warunków ruchu, każdy podsystem z określonego wyżej zbioru będzie miał w tej samej chwili inny stan techniczny. Wynika z tego wniosek, iż najczęściej obecnie stosowane oparcie systemu obsługi technicznej na modelu „według ilości wykonanej pracy" nie jest rozwiązaniem efektywnym, gdyż plan obsług profilaktycznych wykonywanych po upływie ściśle określonego czasu obniża rzeczywisty współczynnik gotowości technicznej. Pojawia się w związku z tym potrzeba realizowania obsług wg planu mieszanego, w którym znalazłyby się elementy strategii eksploatacyjnej „według stanu technicznego" zaś to wymaga permanentnego monitorowania tegoż stanu.



Rys. 1. Przykład „mieszanej" strategii eksploatacji wg ilości wykonanej pracy i stanu technicznego

Realizacja takiej strategii obsługiwania wykorzystującej zarówno wyniki badań niezawodnościowych jak i diagnostycznych zapewnia wymagany poziom współczynnika gotowości technicznej oraz pozwala na zgromadzenie odpowiednich sił i środków do zapewnienia prawidłowego przebiegu każdej obsługi profilaktycznej [8, 9, 10].

Prognozowanie niezawodności jest szczególnie istotnym problemem. Pozwala bowiem na przewidywanie stanów niezawodnościowych w przyszłości na podstawie informacji o tych stanach w przeszłości. Trafne prognozowanie niezawodności, to złożony proces przetwarzania empirycznych wyników badań uzyskanych w praktyce eksploatacyjnej, uzupełniony rozważaniami analitycznymi, który wymaga dysponowania dwoma podstawowymi, trwale ze sobą związanymi rzeczami [2]:

– wszechstronną informacją o aktualnie rozpoznanym stanie technicznym i energetycznym rozpatrywanego obiektu;
– zgodnym ze stanem rzeczywistym modelem niezawodnościowym.

Warunek pierwszy równoznaczny jest z dysponowaniem przez eksploatatora wiarygodną diagnozą - zasadniczym i niezbędnym składnikiem wszelkiego działania, podstawą podejmowania jakichkolwiek prawidłowych decyzji eksploatacyjnych. Ujawnia się tu istotne znaczenie diagnostyki, jako instrumentu sterowania procesem eksploatacji siłowni okrętowej, w którym jednym z istotnych elementów jest szacowanie i prognozowanie jej niezawodności.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Rozpoznawanie i przewidywanie stanów technicznych wymaga zastosowania odpowiedniego systemu diagnozującego. Brak takiego systemu uniemożliwia uzyskanie informacji, które niezbędne są do sterowania procesem eksploatacji w ogóle, czy też prognozowania niezawodności w przypadku szczególnym [1].

Ze zrozumiałych względów technicznych i ekonomicznych nie można diagnozować wszystkich możliwych stanów technicznych, wszystkich urządzeń siłowni. Wybór urządzeń (podsystemów) podlegających diagnozowaniu wynikać powinien z zasygnalizowanego wcześniej problemu wzajemnych relacji pomiędzy rodzajami uszkodzeń siłowni okrętowej a ich wpływem na realizowane zasadnicze funkcje siłowni okrętowej.

Stan techniczny każdego urządzenia jest określony zbiorem cech technicznych jego struktury konstrukcyjnej, umożliwiających funkcjonowanie zgodnie z przeznaczeniem. Stan ten w dowolnej chwili t czasu eksploatacji zależy nie tylko od tej chwili, lecz także od :

- stanu technicznego urządzenia w chwili początkowej $t_0 < t$ (przebiegu docierania po zakończeniu procesu wytwarzania lub remontowania, własności materiałów konstrukcyjnych, wyboru rozwiązania konstrukcyjnego, jakości montażu itp.),
- przebiegu procesów w układach tribologicznych (tarcia, zmęczenia, korozji, kawitacji, erozji itd.),
- przebiegu losowych procesów związanych z zasilaniem czynnikami energetycznymi,
- charakterystyk obciążeń w przedziale czasu (t_0, t)
- przebiegu sterowania.

W sposób oczywisty wynika z tego, iż proces zmian stanu technicznego jest stochastyczny, ciągły w stanach i w czasie. Zachodzi zatem, potrzeba podziału tego nieskończonego zbioru stanów na skończoną liczbę podzbiorów (klas), możliwych do wyraźnej, ale i permanentnej identyfikacji za pomocą funkcjonującego systemu diagnozującego.

2. Czynniki niezbędne do realizacji sterowania procesem eksploatacji silników napędu głównego z zastosowaniem diagnostyki technicznej

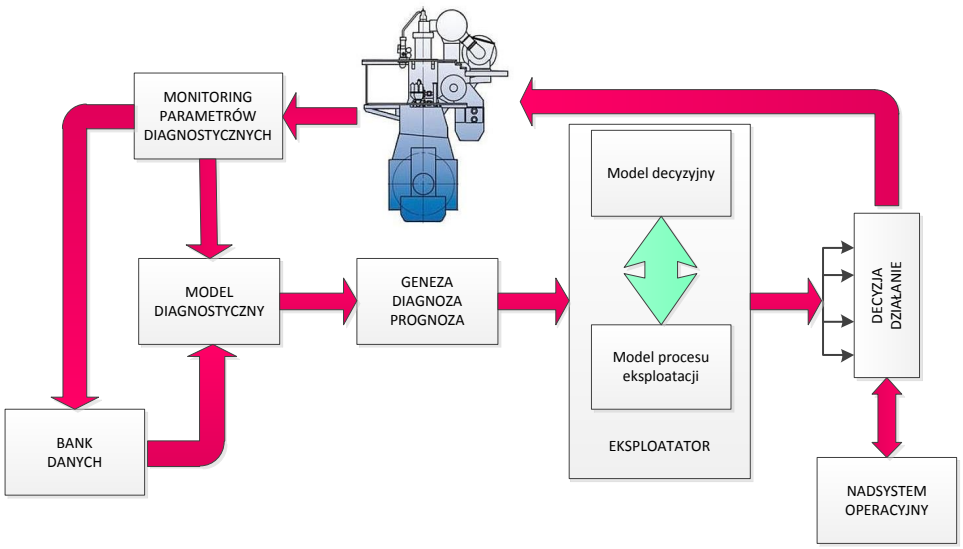
Jak wynika z przedstawionych wcześniej rozważań permanentna kontrola stanu technicznego okrętowego układu energetycznego a w szczególności silnika napędu głównego, powinna być w aspekcie bezpieczeństwa, ekonomii i ergonomii częścią składową dowolnego systemu sterowania jego eksploatacją (użytkowaniem) [5].

Aby jednak sytuacja taka była możliwa konieczne jest spełnienie niezbędnych warunków, do których zaliczyć należy:

- monitoring (ciągły lub okresowy) parametrów diagnostycznych, w szczególności umożliwiający zapis i tworzenie banku danych dotyczących eksploatowanego silnika. Podstawowe możliwości w tym zakresie istnieją na większości współczesnych statków, na których instalowane są układy pomiarowe obrazujące najważniejsze parametry pracy silnika i całego układu napędowego,
- opracowanie modelu diagnostycznego adekwatnego do rodzaju i ilości rejestrowanych parametrów diagnostycznych,
- opracowanie modelu procesu eksploatacji uwzględniającego wyniki przetworzonych badań diagnostycznych tzn. diagnozy i ewentualnej prognozy,
- opracowanie modelu decyzyjnego.

Schematycznie przepływ informacji w systemie sterowania (kierowania) eksploatacją uwzględniającym powyższe czynniki przedstawić można następująco [11]:

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

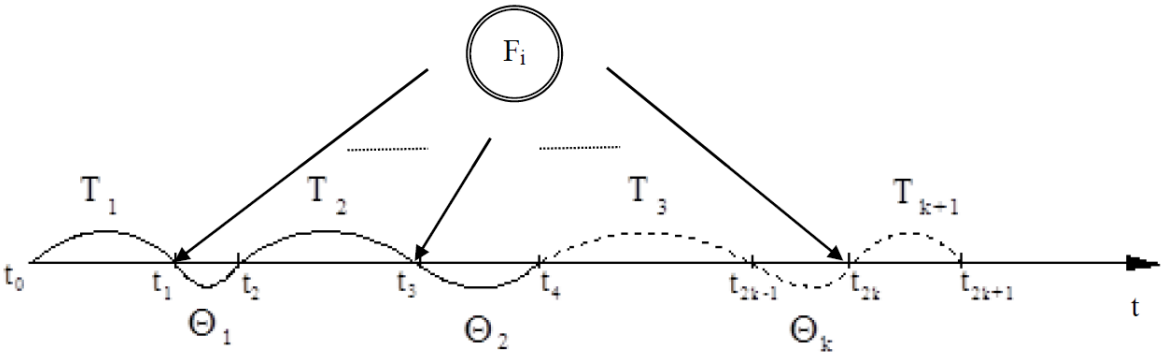


Rys. 2 Schemat przepływu informacji w systemie eksploatacji silnika napędu głównego przy uwzględnieniu monitoringu jego stanu technicznego

Przedstawiony na Rys. 2 przepływ informacji w systemie eksploatacji umożliwia realizację zasadniczych celów cząstkowych składających się na realizację celu zasadniczego tzn. wdrożenie strategii eksploatacji wg stanu technicznego:

- ocenę aktualnego stanu technicznego silnika,
- dostosowanie warunków realizacji zadania stosownie do istniejącego stanu technicznego,
- opracowanie prognozy,
- estymację parametrów zmiennych losowych opisujących czas trwania poszczególnych klas stanów technicznych silnika.

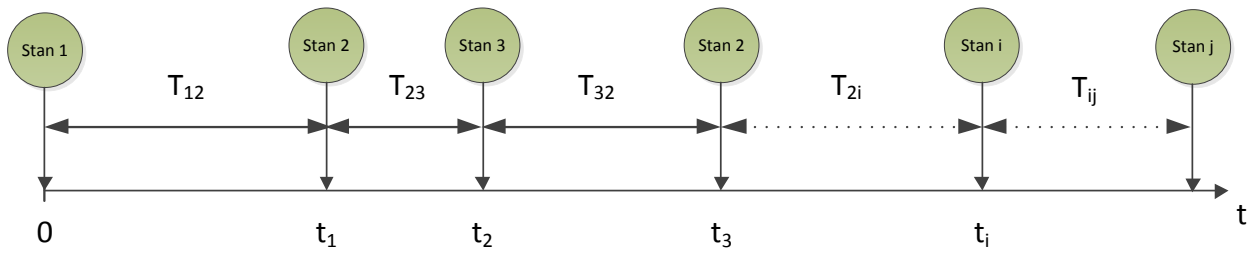
Możliwość taka pojawia się, ponieważ proces eksploatacji może być w powyższym przypadku przedstawiony, jako sekwencja zdarzeń F_{ij} (i – typ zdarzenia, j – numer kolejnego zdarzenia określonego typu) - Rys. 3



Rys. 3 Proces eksploatacji, jako sekwencja zdarzeń - przykład. Przedział $[t_0, t_1)$ - czas zdatności silnika do pierwszego uszkodzenia (zmienna losowa T_1), przedziały (t_2, t_3), ..., (t_{2k}, t_{2k+1}) - czasy zdatności silnika pomiędzy kolejnymi uszkodzeniami (zmienne losowe $T_2, T_3, ..., T_{k+1}$), przedziały (t_1, t_2), ..., (t_{2k-1}, t_{2k}) - czasy odnowienia stanu zdatności silnika (zmienne losowe $(\Theta_1, \Theta_2, ..., \Theta_k)$, suma długości przedziałów $(t_2,$ [illegible] (t_{2k}, t_{2k+1}) - sumaryczny czas stanu zdatności silnika (zmienna losowa T), suma długości przedziałów ([illegible] ..., (t_{2k-1}, t_{2k}) - sumaryczny czas trwania stanu niezdatności (czasu odnowienia) silnika (zmienna losowa Θ)

lub też, jako ciąg stanów S_i (i – typ stanu) procesu eksploatacji [6].

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 4 Proces eksploatacji, jako ciąg stanów – przykład. T_{ij} – zmienne losowe opisujące czas przebywania w stanie s_i pod warunkiem przejścia procesu do stanu s_j

Analiza powyższych procesów i ich opis matematyczny stanowi podstawę opracowania długoterminowego planu eksploatacji. Warunkiem koniecznym jest jednak oczywiście zastosowanie w tym celu odpowiedniego modelu tego procesu [6].

3. Teoretyczne modele procesu eksploatacji

Jedną z charakterystycznych własności każdego użytkowanego obiektu technicznego, w tym również okrętowego układu napędowego, którego podstawowym elementem jest silnik napędowy, jest zdolność osiągania różnych stanów pod wpływem rozmaitych sygnałów sterujących.

Kompleksowy opis własności istotnych z punktu widzenia realizacji postawionych zadań, każdego podsystemu siłowni okrętowej, wymaga identyfikacji i formalnego opisu dwóch nawzajem zależnych procesów tzn.: procesu zmian stanów technicznych w aspekcie jego wpływu na niezawodność oraz zmian stanów eksploatacyjnych urządzeń i podsystemów siłowni.

Z procesem eksploatacji silnika napędu głównego (i każdego urządzenia) nierozerwalnie związany jest proces zmian jego stanu technicznego. W związku z tym, że proces ten jest ciągły w czasie i stanach realizacja możliwych rodzajów stanu technicznego tworzy zbiór, który jest nieskończony. Możliwości identyfikacji tak określonego zbioru są ograniczone i nieopłacalne, zachodzi zatem potrzeba podziału tego zbioru na skończoną liczbę klas.

Przyjmując, jako kryterium podziału stopień zdatności siłowni w aspekcie zdatności silnika głównego, do realizacji celów generowanych przez system operacyjny można wyróżnić najprostszy, praktycznie użyteczny dla potrzeb sterowania procesem eksploatacji zbiór **S** klas - stanów technicznych:

- stan s_1 – podzbiór stanów technicznych silnika napędu głównego odpowiadający jego pełnej zdatności zadaniowej;
- stan s_2 – podzbiór stanów dopuszczalnej zdatności zadaniowej np. w pełnym zakresie obciążeń, ale przy zwiększonej wartości jednostkowego zużycia paliwa;
- stan s_3 – podzbiór stanów tolerowanej tylko w niektórych sytuacjach niezdatności zadaniowej, który w zasadzie uniemożliwia zastosowanie silnika, ale w skrajnie trudnych warunkach realizacji zadania, np. w sytuacji zagrożenia życia umożliwia w ograniczonym zakresie realizację podstawowego zadania tzn. utrzymania zdolności do ruchu;
- stan s_4 – podzbiór stanów niezdatności pełnej, który uniemożliwia zastosowanie układu napędowego, a jednocześnie i siłowni okrętowej zgodnie z przeznaczeniem.

W odniesieniu do stanu eksploatacyjnego silnika jest on opisany przez dwie podstawowe własności [9]: zdatność do realizacji celu użytkowania oraz potencjał eksploatacyjny.

Mając na uwadze powyższe można wyróżnić najprostszy dla potrzeb sterowania procesem eksploatacji zbiór **E** klas - stanów eksploatacyjnych:

- stan $\mathbf{e_1}$ – stan użytkowania, który ma miejsce gdy potencjał eksploatacyjny obiektu $z > 0$ oraz intensywność zmian potencjału $\varphi < 0$;

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

- stan $\mathbf{e_2}$ – stan postoju użytkowego, który ma miejsce gdy potencjał eksploatacyjny obiektu z > 0 a intensywność zmian potencjału $\varphi = 0$;
- stan $\mathbf{e_3}$ – stan postoju obsługowego, który ma miejsce gdy potencjał eksploatacyjny obiektu z < 0 oraz intensywność zmian potencjału $\varphi = 0$;
- stan $\mathbf{e_4}$ – stan obsługiwania, który ma miejsce gdy potencjał eksploatacyjny obiektu z < 0 oraz intensywność zmian potencjału $\varphi > 0$.

Przyjęcie za prawdziwą następującej hipotezy H: „prognozowanie stanu procesu eksploatacji w chwili $\tau_n+\tau$, gdy znany jest on jedynie w chwili τ_n jest dlatego możliwe, ponieważ jego stan rozpatrywany w dowolnej chwili τ_n (n = 0, 1, 2...., m; $\tau_0<\tau_1< ... <\tau_n$) zależy istotnie od bezpośrednio go poprzedzającego i nie zależy stochastycznie od stanów, które zaszły wcześniej i przedziałów czasu ich trwania" umożliwia stosunkowo proste opracowanie takiego modelu z wykorzystaniem teorii procesów semimarkowskich [2].

Modelem procesu eksploatacji siłowni okrętowej, jest w tym przypadku dwuwymiarowy proces stochastyczny, którego składowymi są [9]:

- proces zmian stanów technicznych $\{W(t); t\in T\}$ przyjmujący wartości ze zbioru wyróżnionych stanów technicznych S (np. $S = \{s_i;\ i = 1, 2, 3, 4\}$);
- proces zmian stanów eksploatacyjnych $\{X(t); t\in T\}$ przyjmujący wartości ze zbioru wyróżnionych stanów eksploatacyjnych E (np. $E = \{e_j; j = 1, 2, 3, 4\}$).

Ze względu na to, iż procesy $\{W(t); t \geq 0\}$ i $\{X(t); t \geq 0\}$ są procesami wzajemnie zależnymi nie można znaleźć łącznego rozkładu wspomnianego procesu dwuwymiarowego w oparciu o ich rozkłady, dlatego z praktycznego punktu widzenia określić należy nowy jednowymiarowy proces, którego zbiór stanów $Z = \{(s_i,e_j); i=1, 2, 3, 4; j =1, 2, 3, 4\}$ stanowi iloczyn kartezjański zbiorów S i E eliminując jednocześnie takie stany $z_k = (s_k, e_k)$, które w procesie eksploatacji nie występują.

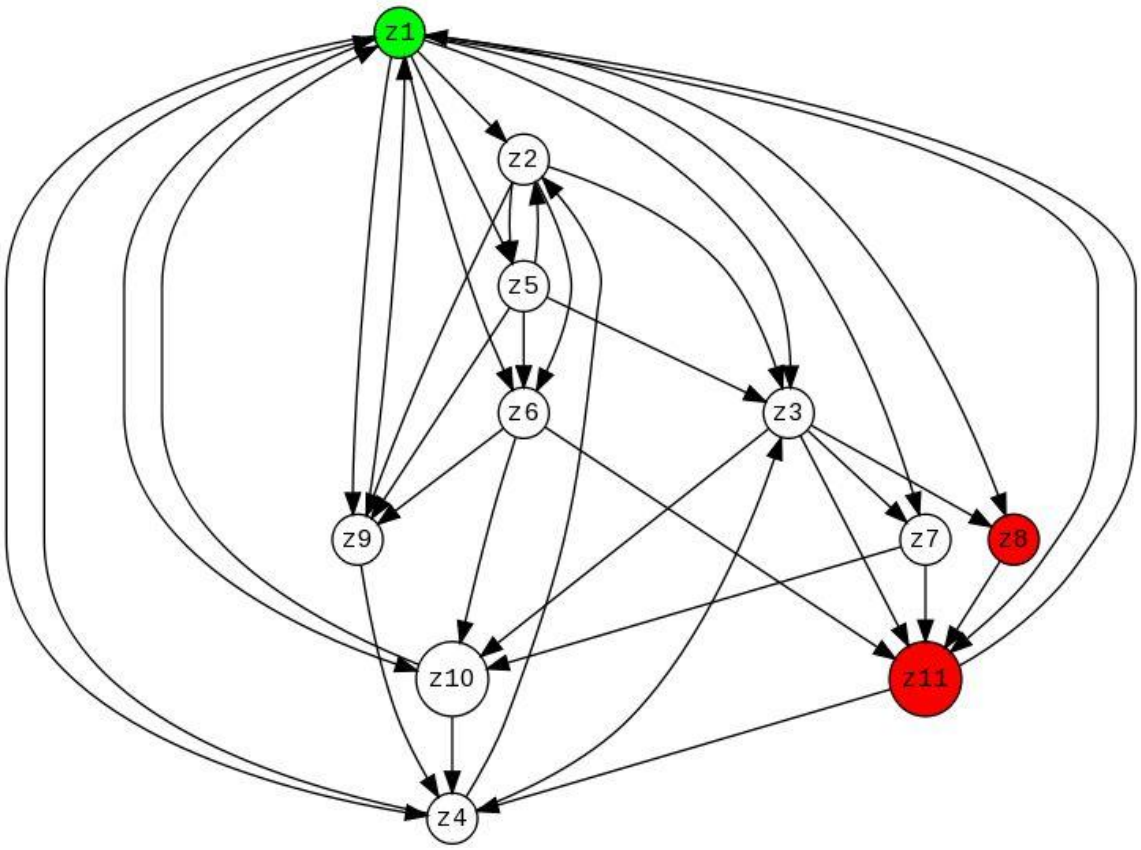
Łączne uwzględnienie zbioru klas stanów technicznych S i stanów eksploatacyjnych E umożliwia utworzenie następującego zbioru stanów procesu eksploatacji Z' – [4].

- $z_1 = z'_1 = \{s_1, e_1\}$,
- $z_2 = z'_1 = \{s_2, e_1\}$
- $z_3 = z'_1 = \{s_3, e_1\}$
- $z_4 = z'_5 = \{s_1, e_2\}$
- $z_5 = z'_6 = \{s_2, e_2\}$
- $z_6 = z'_{10} = \{s_2, e_3\}$
- $z_7 = z'_{11} = \{s_3, e_3\}$
- $z_8 = z'_{12} = \{s_4, e_3\}$
- $z_9= z'_{14} = \{s_2, e_4\}$
- $z_{10} = z'_{15} = \{s_3, e_4\}$
- $z_{11} = z'_{16} = \{s_4, e_4\}$,

W praktyce eksploatacyjnej w wyróżnionym zbiorze $Z' = \{z'_i, i = 1, 2, \ldots, 16\}$ można określić stany, które nie występują w ogóle – do takich stanów zaliczyć można stany z'_4, z'_7, z'_8 oraz z'_{13}, lub występują bardzo rzadko – do takich stanów zaliczyć można stan z'_9.

Tym samym z praktycznego punku widzenia należy rozpatrywać proces określony na następującym zbiorze stanów $Z = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8, z_9, z_{10}, z_{11}\}$, który implikuje przedstawioną na Rys. 5 postać grafu stanów – przejść w okresie pomiędzy dwoma przeglądami klasowymi.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 5. Proponowany graf stanów - przejść procesu eksploatacji okrętowego silnika napędu głównego w okresie pomiędzy dwoma przeglądami klasowymi

Zastosowanie teorii procesów semimarkowskich w rozpatrywanym aspekcie wymaga oprócz przedstawionego wcześniej określenia zbioru wyróżnionych klas stanów procesu eksploatacji Z [3, 7]:

- określenia rozkładu początkowego procesu - dla rozpatrywanego przypadku urządzeń siłowni okrętowej rozkład początkowy procesu $\{Z(t): t \geq 0\}$ przedstawić należy następująco:

$$p_1 = P\{Z(0) = z_1\} = 1, \quad p_i = P\{Z(0) = z_i\} = 0 \quad \text{dla } i = 2, 3, \ldots, 11 \qquad (1)$$

  ponieważ można przyjąć, że początkową chwilą eksploatacji (t = 0) jest moment rozpoczęcia realizacji pierwszego zadania określonego przez system operacyjny.
- określenia macierzy funkcyjnej procesu. Macierz funkcyjna rozpatrywanego procesu $\{Y(t); t \geq 0\}$ ma postać:

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

$$Q(t)=\begin{bmatrix} 0 & Q_{12}(t) & Q_{13}(t) & Q_{14}(t) & Q_{15}(t) & Q_{16}(t) & Q_{17}(t) & Q_{18}(t) & Q_{19}(t) & Q_{110}(t) & Q_{111}(t) \\ 0 & 0 & Q_{23}(t) & 0 & Q_{25}(t) & Q_{26}(t) & 0 & 0 & Q_{29}(t) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Q_{37}(t) & Q_{38}(t) & 0 & Q_{310}(t) & Q_{311}(t) \\ Q_{41}(t) & Q_{42}(t) & Q_{43}(t) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Q_{52}(t) & Q_{53}(t) & 0 & 0 & Q_{56}(t) & 0 & 0 & Q_{59}(t) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Q_{69}(t) & Q_{610}(t) & Q_{611}(t) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Q_{710}(t) & Q_{711}(t) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Q_{811}(t) \\ Q_{91}(t) & 0 & 0 & Q_{94}(t) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Q_{101}(t) & 0 & 0 & Q_{104}(t) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Q_{111}(t) & 0 & 0 & Q_{114}(t) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{2}$$

Wykorzystanie danych zgromadzonych w banku danych przedstawionym na Rys. 2 umożliwia transformację macierzy (2) do następującej postaci [7]:

$$Q_{ij}(t)=\lfloor p_{ij}\cdot F_{ij(t)}\rfloor \tag{3}$$

przy czym do oszacowania poszczególnych prawdopodobieństw p_{ij} można przyjąć następującą statystykę [6]:

$$p_{ij}^{*}=\frac{n_{ij}}{\sum_{j} n_{ij}} \tag{4}$$

gdzie :

n_{ij} – liczba przejść procesu ze stanu z_i do stanu z_j $(i, j \in Z, i \neq j)$.

Wymagane jest w tym przypadku przetworzenie zgromadzonych wyników diagnostycznych badań eksploatacyjnych i przedstawienie ich np. w formie następującej tabeli:

Tabela 1 Kolejność zmian stanu eksploatacyjnego badanych silników ze stanu s_i do stanu s_j.

Silnik nr :	Stan początkowy z_i	Kolejne przejścia silnika do stanu z_j																					
		j																					
	i																						
1.	1	2	1	2	4	2	5	2	3	1	10	1	6	4	3	1	8	1	3	1	3	1	
2.	1	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	3	1	2	1	2	1	2	3	1	2	1
3.	1	2	1	2	1	2	3	1	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	3	1	2	1	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Postępowanie powyższe umożliwia kompletne określenie modelu semimarkowskiego oraz w następnym etapie wyznaczenie określonych jego charakterystyk. Do charakterystyk tych, istotnych z punktu widzenia procesu decyzyjnego należą przede wszystkim [7]:

- rozkład chwilowy procesu $P_j(t)$, oznaczający prawdopodobieństwo znalezienia się procesu w stanie z_j, w chwili t,

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

- rozkład graniczny procesu P_j oznaczający prawdopodobieństwo znalezienia się procesu w stanie z_j, w chwili $t \to \infty$.

Rozkłady te pozwalają na oszacowanie prawdopodobieństwa pojawienia się określonego stanu procesu eksploatacji a tym samym mogą być brane pod uwagę, jako zmienne modelu decyzyjnego. W sytuacji decyzyjnej wprowadzenie przynajmniej jednego z parametrów modelu, jako zmiennej losowej pełniej odzwierciedla rzeczywistość eksploatacyjną, chociaż prowadzi wyłącznie do wniosków mniej lub bardziej prawdopodobnych, co wynika z faktu, że poszczególnym wartościom zmiennych decyzyjnych nie jest przyporządkowana jedna wartość funkcji odgrywającej rolę kryterium, lecz wiele wartości występujących z różnymi prawdopodobieństwami. Do najczęściej stosowanych w praktyce decyzyjnych modeli probabilistycznych należą te, w których przy wyborze optymalnej wartości zmiennej decyzyjnej kierujemy się wartością oczekiwaną konsekwencji jej podjęcia [12].W związku z powyższym przy wyborze optymalnej wartości zmiennej decyzyjnej należy kierować się wartością oczekiwaną funkcji kryterium.

Z formalnego punktu widzenia procedurę decyzyjną wygodnie w tej sytuacji przedstawić w jednej z najczęściej spotykanych strukturalnych postaci: drzewa lub tablicy decyzyjnej.

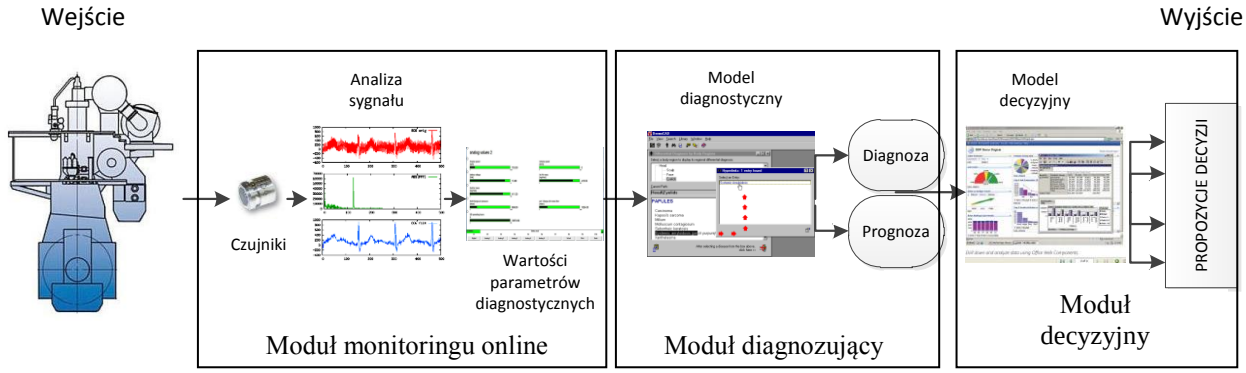
Funkcją kryterium dla przedstawionego drzewa jest maksymalizacja wartości oczekiwanej konsekwencji $c(d_j, s_i)$, którą dla poszczególnych węzłów drzewa symbolizujących podjęcie wybranej decyzji d_j można określić następująco [12]:

$$E(c/d_j) = \sum_{i=1}^{k} \left[p(z_i)/d_j \cdot c(d_j, z_i) \right] \qquad i = 1,2,\ldots,k \qquad j = 1,2,\ldots,n \tag{5}$$

4. Istniejące uwarunkowania dotyczące zastosowania diagnostyki w procesie sterowania eksploatacją

Ponieważ jak zostało powiedziane we wstępie czas użytkowania tak złożonego układu, jakim jest silnik napędu głównego nie może być jednoznaczną miarą zużycia jego elementów, racjonalna eksploatacja wymaga dopływu informacji na temat jego aktualnego stanu technicznego oraz istniejących w tym zakresie prognoz.

Koncepcję systemu umożliwiającego taki sposób realizacji eksploatacji przedstawiono na Rys. 6.



Rys. 6. Schemat blokowy systemu wspomagania podejmowania decyzji eksploatacyjnych z uwzględnieniem wyników badań diagnostycznych silnika

Realizacja sprzętowo – programowa przedstawionego na Rys. 6 systemu umożliwia sterowanie procesem eksploatacji poprzez [4]:

- możliwość zmiany aktualnego stanu energetycznego silnika stosownie do istniejącego stanu technicznego oraz istniejących warunków zewnętrznych np. hydrometeorologicznych,

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

- identyfikację potrzeby wykonania obsługi poprzez znajomość diagnozy i prognozy w zakresie stanu technicznego silnika,
- możliwość oceny jakości wykonania obsługi.

5. Uwagi końcowe i wnioski

Eksploatacja dowolnych systemów energetycznych wiąże się z realizacją określonych celów działania. W przypadku systemów okrętowych, w zależności od przeznaczenia statku, cele te precyzowane są dość różnorodnie i obejmują przede wszystkim:

- realizację założonych prędkości pływania, z określonym zasięgiem i kierunkiem;
- zapewnienie odpowiednich warunków socjalno – bytowych załogi (pasażerów);
- zapewnienie odpowiednich wartości parametrów statecznościowo – niezatapialnościowych statku;
- dozór w zakresie bezpieczeństwa przeciwpożarowego i dostarczenie odpowiednich warunków podjęcia akcji gaśniczej w przypadku zaistnienia pożaru itp.

W przypadku gdyby w odniesieniu do elementów tego systemu mogłaby być realizowana strategia eksploatacji wg niezawodności sytuacja w tej mierze byłaby bardzo prosta, ponieważ istniejące warunki jednoznacznie określałyby zastosowanie posiadanych środków. Ze względu na konieczność zapewnienia akceptowalnego poziomu bezpieczeństwa statku i otoczenia oraz związane z tym istniejące ograniczenia formalno – prawne oczywistym staje się odrzucenie tej strategii nawet w obszarze hipotetycznym.

Wskutek złożoności rzeczywistości eksploatacyjnej, która wynika głównie z:

- braku ścisłych teorii i reguł działania w zakresie zasad eksploatacji złożonych systemów technicznych (takich jak np. siłownia okrętowa)
- dążenia do minimalizacji kosztów eksploatacji (wskaźnik zysku),
- niepewności i niekompletności informacji o aktualnym stanie technicznym eksploatowanych obiektów,
- konsekwencji podjęcia decyzji błędnej,

środki przeznaczone na eksploatację mogą zostać użyte w różny sposób. Obiektywność i racjonalność podczas wyboru decyzji uznanej za optymalną w danych warunkach wymusza wartościujące (ilościowe) podejście do tego zagadnienia, a tym samym poszukiwanie takich parametrów (wskaźników), które w danej sytuacji decyzyjnej mogą być uznane za najbardziej adekwatne, tym samym wiąże się z zastosowaniem ich matematycznych modeli.

Wydaje się zatem, iż systemy, które na podstawie gromadzonych w czasie rzeczywistym informacji będą mogły wypracować propozycję decyzji w sposób automatyczny stają się niezbędnym elementem zarządzania eksploatacją.

Nadrzędną rolę w systemie pełnić muszą modele decyzyjne, dla których wartości parametrów uzyskanych na podstawie modeli procesów eksploatacji stanowić będą pewną grupę wielkości wejściowych.

Proces wyboru takiej decyzji, która w danych warunkach mogłaby być uznana za najlepszą powinien być oparty na podstawie możliwie najpełniejszych danych, które w tych warunkach są możliwe do uzyskania. Jednak nawet w przypadku (praktycznie niespotykanym) dysponowania pełnymi danymi o obiekcie eksploatacji naturą procesu decyzyjnego jest wybór kryterium, które pozwala ocenić i porównać skutki podjęcia różnych decyzji.

W przypadku złożonych systemów technicznych realizujących szczególnie istotne zadania wiążące się z jednej strony z oczekiwanym zyskiem, z drugiej zaś stworzeniem istotnego zagrożenia dla otoczenia dwa główne, równorzędne kryteria to:

- maksymalizacja wartości zysków (minimalizacja strat),
- minimalizacja szansy powstania sytuacji zagrożenia bezpieczeństwa.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

W związku z tym, iż pojawia się naturalna sprzeczność pomiędzy przedstawionymi kryteriami – zwiększanie poziomu bezpieczeństwa obniża wartość zysków i odwrotnie – a istniejące w zakresie bezpieczeństwa uregulowania formalne określają wyłącznie pewien minimalny, wymagany stan rzeczy, realizacja procesu decyzyjnego jest w odniesieniu do tych samych obiektów, eksploatowanych w podobnych warunkach dość różnorodna, a często ma charakter intuicyjny.

Zagrożenie dla ludzi, statku i środowiska naturalnego sprawia, iż w czasie eksploatacji użytkownicy bezpośredni i pośredni siłowni okrętowej w sposób ciągły podejmują decyzje dotyczące użytkowania i obsługiwania poszczególnych urządzeń (w tym przede wszystkim układu napędowego) dążąc w tym względzie do zapewnienie sytuacji normalnej, a więc takiej, w której możliwy jest ich bezpieczny ruch.

W racjonalnym systemie eksploatacji jedną z podstawowych przesłanek umożliwiających podjęcie trafnej decyzji powinna być diagnoza. Opracowanie diagnozy wymaga z kolei zastosowania dostępnych form wnioskowania diagnostycznego.

Wnioskowanie takie jest niemożliwe bez odpowiedniego systemu diagnostycznego. System taki, aby mógł spełniać odpowiednia rolę w procesie sterowania eksploatacją powinien być odpowiednio wkomponowany i kompatybilny z przyjętą strategią eksploatacji. Oznacza to, że w przypadku okrętowego silnika napędu głównego oprócz wymagań ogólnych np. relatywnie niskich kosztów wdrożenia powinien spełniać następujące wymagania:

- wymóg zgodności z opracowanym celem i przeznaczeniem informacji diagnostycznych tzn. informacje te stanowią nie tylko podstawę do oceny aktualnego stanu technicznego, ale również są danymi wejściowymi do przyjętych modeli procesu eksploatacji i decyzyjnego,
- wymóg uznania przez instytucje klasyfikacyjne, które (jak np. PRS w publikacjach: „2/P Alternatywne systemy nadzoru urządzeń maszynowych - Alternative Survey Arrangements for Machinery – 2009”, „9/P Wymagania dla systemów komputerowych – 2007” oraz „14/P Zasady uznawania programów komputerowych – 1998”) formułują podstawowe zasady akceptacji tego typu narzędzi, uznanie takie oprócz kwestii formalno – prawnych stanowi swego rodzaju gwarancje wiarygodności danego systemu,
- wymóg elastyczności i otwartości architektury systemu umożliwiającej bieżącą korektę i dostosowanie jego funkcjonowania w zależności od specyfiki eksploatacyjnej danego typu statku (siłowni),
- wymóg możliwie najwyższego stopnia zautomatyzowania przetwarzania wyników badań, które oprócz postaci „surowej” przedstawiane byłyby w formie propozycji diagnozy i prognozy (ewentualnie genezy),
- wymóg rejestracji wyników w formie „banku danych” dotyczącego historii danego obiektu eksploatacji z możliwością eksportu danych w popularnych formatach danych w celu ich ewentualnej analizy w programach dedykowanych tego rodzaju procesowi.

Spełnienie tych minimalnych wymagań stanowić może przesłankę pozytywnej asymilacji systemów diagnostycznych w istniejących systemach sterowania eksploatacją okrętowych silników spalinowych.

6. Literatura

1. Cempel Cz., Tomaszewski F.: *Diagnostyka Maszyn*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1992r.
2. Gercbach I.B., Kordonski Ch.B.: *Modele niezawodnościowe obiektów technicznych*, WNT, Warszawa 1968.
3. Gichman I.I, Skorochod A.W.: *Wstęp do teorii procesów stochastycznych*, PWN, Warszawa 1968.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

4. Girtler J.: *Sterowanie procesem eksploatacji okrętowych silników spalinowych na podstawie diagnostycznego modelu decyzyjnego,* Zeszyty Naukowe AMW, nr 100A, Gdynia 1989.
5. Girtler J.: *Diagnostyka jako warunek sterowania eksploatacją okrętowych silników spalinowych,* Studia Nr 28, WSM, Szczecin 1997.
6. Girtler J.: *Możliwości zastosowania i przydatność procesów semimarkowskich jako modeli procesów eksploatacji maszyn,* Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, z. 3/1996, s. 419-428.
7. Grabski F.: *Teoria semi-markowskich procesów eksploatacji obiektów technicznych,* Zeszyty Naukowe AMW, nr 75A, Gdynia 1982.
8. Kaźmierczak J., *Eksploatacja systemów technicznych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
9. Konieczny J.: *Podstawy eksploatacji urządzeń,* Wyd. MON, Warszawa 1975.
10. Konieczny J.: *Sterowanie eksploatacją urządzeń,* PWN, Warszawa 1975
11. Rudnicki J., *Koncepcja modelu matematycznego procesu eksploatacji okrętowego systemu energetycznego,* Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej Rok XLX NR 178A, Gdynia 2009.
12. Sadowski W., *Teoria podejmowania decyzji. Wstęp do badań operacyjnych,* Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1976.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl