

ZASTOSOWANIE METODOLOGII RCM DLA POPRAWY DOSTĘPNOŚCI ŚMIGŁOWCA MORSKIEGO

SERGIUSZ SZAWŁOWSKI

Dowództwo Marynarki Wojennej

Streszczenie

Podnoszenie efektywności funkcjonowania systemów lotniczych dotyczy również ich systemów eksploatacji.

Ocena obiektu technicznego (OT), w tym systemu utrzymania jego stanu zdatności (systemu obsługiwanego), może być dokonana w oparciu o kryterium dostępności (gotowości), czyli zdolności do wykorzystania OT do realizacji nakazanego zadania, po wystąpieniu takiej potrzeby.

Wskaźniki dostępności OT łączą w sobie trzy parametry: niezawodność, podatność obsługowa oraz efektywność systemu wsparcia (logistyki).

Wspominana podatność obsługowa, charakteryzująca pracochłonność czynności obsługowych, jest podatna na modyfikacje. Dlatego zasadnym jest zbadanie możliwości „optymalizacji” systemu utrzymania stanu zdatności OT, w zakresie planowych obsług zapobiegawczych PM (Preventive Maintenance).

W swoim referacie przedstawiłem przykład podniesienia poziomu dostępności OT przy wykorzystaniu metodologii RCM (Reliability Centered Maintenance), tj. metody doboru czynności obsługowych, pod kątem ich odpowiedniości oraz efektywności dla zachowania istotnych funkcji OT. Podstawowym warunkiem stosowania RCM dla modyfikacji systemów obsługiwanego OT jest bezwarunkowe zapewnienie: bezpieczeństwa eksploatacji, skuteczności realizacji wymaganego zadania oraz ekonomiki eksploatacji.

Przy analizie niniejszego zagadnienia posłużyłem się przykładem systemu obsługiwanego śmigłowca morskiego Mi-14PŁ. Ten statek powietrzny jest eksploatowany wg. strategii PBM (Preventive Based Maintenance) – planowych obsług zapobiegawczych. To powoduje, że jego obsługiwane cechuje duża pracochłonność, wskaźnik MMFH (średniej pracochłonności obsług na godzinę nalotu) przekracza wartość 25 rh/h nalotu.

Stosując RCM zaprezentowałem metodę zmniejszenia ww. pracochłonności obsług. Przy pomocy opracowanego modelu przedstawiłem sposób badania poziomu dostępności OT (śmigłowców).

pozytywną cechą metodologii RCM jest możliwość stosowania jej do OT (np. śmigłowców), będących już w eksploatacji. Daje to bardzo skuteczne narzędzie obniżania wskaźników pracochłonności obsługiwanego i tym samym poprawy wskaźników dostępności dla śmigłowców od lat eksploatowanych wg. nieefektywnych strategii eksploatacji.

W rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych niewątpliwą miarą oceny obiektu technicznego (OT) i jego systemu eksploatacji, jest poziom dostępności tego OT (ang. Availability), zwanej również dyspozycyjnością lub gotowością do wypełniania wymaganych funkcji. Dotyczy to w szczególności OT, które służą do niesienia pomocy, jak również systemów uzbrojenia, dla których priorytetem jest utrzymania zdolności OT do realizacji zadania „na wezwanie”. W celu oceny tego parametru wykorzystywany jest współczynnik dostępności (gotowości), który może być opisany przez następującą zależność:

$$K_g = \frac{MTBM}{MTBM + MMT + MLDT},$$

gdzie:

$MTBM$ – średni czas pomiędzy obsługiwaniem obiektu;

MMT – średni czas obsługiwanego obiektu, który obejmuje średni czas wykonywania obsług korekcyjnych \bar{t}_{CM} oraz średni czas wykonywania obsług prewencyjnych \bar{t}_{PM} ;

$MLDT$ – średni czas przestoju obiektu z powodów organizacyjnych (logistycznych lub administracyjnych).

W praktyce eksploatacyjnej do obliczeń wykorzystywana jest modyfikacja wzoru o postaci:

$$K_g = \frac{T_o(T) + T_{SB}(T)}{T_o(T) + T_{SB}(T) + T_{CM}(T) + T_{PM}(T) + T_{ALP}(T)},$$

gdzie:

$T_o(T)$ – sumaryczny czas poprawnej pracy obiektu w rozpatrywanym przedziale czasu T (okres T);

$T_{SB}(T)$ – sumaryczny czas oczekiwania obiektu na podjęcie pracy w okresie T ;

$T_{CM}(T)$ – sumaryczny czas wykonywania obsług korekcyjnych (CM) obiektu w okresie T ;

$T_{PM}(T)$ – sumaryczny czas wykonywania obsług prewencyjnych (PM) obiektu w okresie T ;

$T_{ALP}(T)$ – sumaryczny czas przestoju obiektu w okresie T , z powodów administracyjnych lub logistycznych.

Wartość współczynnika K_g uzależniono jest od trzech elementów: T_{ALP} – odzwierciedlająca skuteczność systemu logistycznego, T_{CM} – niezawodność oraz podatność diagnostyczna OT oraz T_{PM} – efektywność systemu obsług planowych (zapobiegawczych). Na ten ostatni element znaczący wpływ ma przyjęta strategia eksploatacji OT.

Przyjmuje się, że systemy obsługowe (**utrzymania zdolności technicznej**) OT, są oparte na czterech podstawowych strategiach eksploatacyjnych:

1. Strategia PBM (ang. Preventive Based Maintenance) – planowych obsług prewencyjnych, gdzie determinantą jest czas eksploatacji obiektu – (**tzw. strategia wg. resursów**).
2. Strategia CBM (ang. Condition Based Maintenance) – oceny stanu technicznego, gdzie determinantą są zdefiniowane parametry stanów przedawaryjnych.
3. Strategia BDM (ang. Break Down Maintenance) – eksploatacji do momentu wystąpienia awarii – (**tzw. strategia wg. niezawodności**).
4. Strategia RBM (ang. Risk Based Maintenance) – oceny ryzyka stosowanego rodzaju obsług, gdzie determinantą jest efektywność zastosowanych obsług – (**tzw. strategia wg. bezpieczeństwa i niezawodności**).

Wraz z rozwojem technologii wytwarzania OT, podnoszeniem poziomu niezawodności oraz wiedzy inżynierów o genezie powstawania uszkodzeń, diagnostyce oraz profilaktyce, większość współczesnych systemów technicznych eksploatowana jest w ramach strategii RBM. Łączy ona w sobie elementy wszystkich pozostałych strategii, stosując dla poszczególnych elementów OT taki sposób obsługiwanie, który jest dla niego najbardziej efektywny.

Pomocniczą miarą oceny efektywności systemu obsługowego statków powietrznych (sp) jest wskaźnik *MMFH* (średniej wartości pracochłonności obsług do wykonanego nalotu):

$$MMFH = N_{rh} / N_{lot}$$

gdzie:

N_{rh} – liczba roboczogodzin obsługiwanie sp w analizowanym okresie;

N_{lot} – liczba godzin nalotu sp w analizowanym okresie.

Do analizy wpływu czynnika T_{PM} na poziom K_g wykorzystywany jest zmodyfikowany wskaźnik pracochłonności systemu obsług planowych:

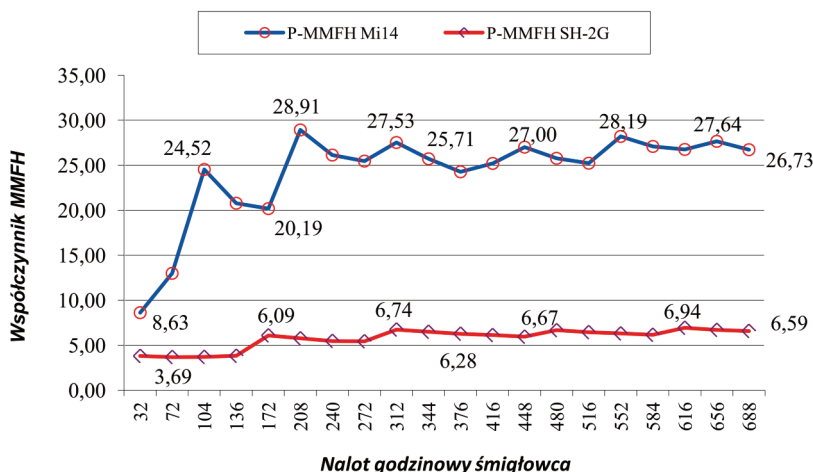
$$P-MMFH = N_{rh PM} / N_{lot}$$

gdzie:

$N_{rh PM}$ – liczba roboczogodzin obsługiwanie przewencyjnego sp w analizowanym okresie;

N_{lot} – liczba godzin nalotu sp w analizowanym okresie.

Potrzeba przeprowadzenia analizy efektywności systemu obsług śmigłowców morskich, wynika z porównania pracochłonności systemów obsług planowych dwóch śmigłowców morskich, eksploatowanych w Lotnictwie Marynarki Wojennej: Mi-14PŁ oraz SH-2G. Pierwszy jest przedstawicielem strategii eksploatacyjnej PBM, natomiast drugi strategii RBM.



Rys. 1. Porównanie zmian współczynnika pracochłonności *MMFH* dla obsługi *PM* śmigłowców Mi-14PŁ oraz SH-2G w okresie 688 godzin nalotu, z uwzględnieniem wymian agregatów resursowych

Drastyczna różnica wskaźnika *P-MMFH* (rys. 1), na niekorzyść śmigłowca Mi-14PŁ, potwierdziła przypuszczenia o nieefektywności strategii PBM. Konsekwencją jest potrzeba

zbadań możliwości zmniejszenia pracochłonności obsługi planowych, tym samym poprawy wskaźnika K_g dla Mi-14PŁ.

W związku z tym, że system obsługi planowych śmigłowca SH-2G został opracowany przy wykorzystaniu metodologii RCM (Reliability Centered Maintenance), podjęto wysiłek w celu sprawdzenia możliwości wykorzystania RCM dla poprawy efektywności systemu obsługi również śmigłowca Mi-14PŁ.

Zgodnie z definicją: **RCM to analityczny proces, wykorzystywany dla zdeterminowania wymagań obsługi zapobiegawczych i zidentyfikowania potrzeby podjęcia innych czynności, które zagwarantują bezpieczne oraz efektywno – ekonomiczne działanie systemu.** Należy podkreślić odmienne podejście do zagadnienia sprawności poszczególnych elementów OT. Zgodnie z „filozofią” RCM celem obsługiwanego nie jest utrzymanie w sprawności wszystkich systemów OT (np. śmigłowca), lecz jedynie tych, które realizują istotne funkcje, ze względu na trzy podstawowe kryteria: 1. bezpieczeństwo eksploatacji, 2. wymagania operacyjne oraz 3. koszty eksploatacji.

Jedną z cech RCM jest możliwość analizy systemów obsługowych sprzętu, będącego już w eksploatacji. W zależności od indywidualnych cech danego OT oraz potrzeb można ją przeprowadzić w odniesieniu do całego obiektu technicznego lub tylko do jego części, tj. wybranych systemów lub instalacji, które wykazują wysoki poziom pracochłonności obsługiwanego lub niezadowalający poziom niezawodności.

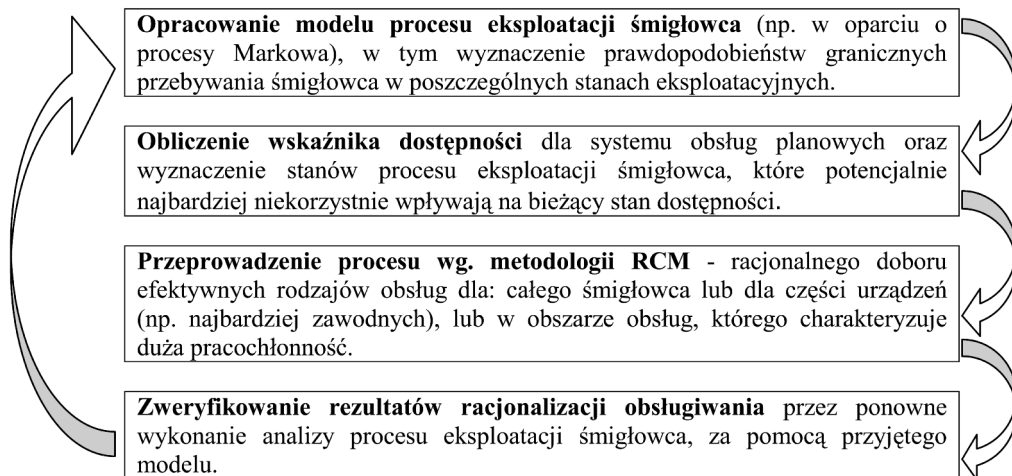
Jako przykład przeprowadzono analizę efektywności obsługiwanego nieskomplikowanego przyrządu pokładowego śmigłowca Mi-14PŁ, tj. wysokościomierza barometrycznego WD-10WK, którego parametry pracy, wg. oryginalnych wymagań eksploatacyjnych, podlegają sprawdzeniu na stanowisku warsztatowym co 100 godzin nalogu. Wysokościomierz WD-10WK jest reprezentantem kilkudziesięciu przyrządów i urządzeń pokładowych śmigłowca Mi-14PŁ, które podlegają równie częstym, pracochłonnym sprawdzeniom. Ponadto wybrano WD-10WK jako przykład, ponieważ przy wskaźniku bezawaryjnej pracy *MTBF* na poziomie 15000 godz., jego wskaźnik *MMFH* wynosi $5,2 \times 10^{-3}$ rh/h, natomiast dla wysokościomierza AAU-31/A (z SH-2G), który eksploatowany jest wg. niezawodności, wskaźnik *MTBF* kształtuje się na poziomie 4000 godz., natomiast wskaźnik *MMFH* wynosi jedynie $0,06 \times 10^{-3}$ rh/h.

Jednym z głównych etapów analizy RCM jest „inżynierska” – ekspercka ocena odpowiedniości i skuteczności poszczególnych rodzajów obsługi w odniesieniu do wytypowanych uszkodzeń funkcjonalnych i mechanizmów ich powstawania. Analizie podlegają wszystkie zdefiniowane rodzaje uszkodzenia funkcjonalnego, powiązane z każdym zidentyfikowanym trybem (pryczyną) tego uszkodzenia. Poniżej zaprezentowano końcowe wnioski z analizy pojedynczego rodzaju uszkodzenia funkcjonalnego wysokościomierza WD-10WK w postaci: błędu wskazań wysokości o wartości powyżej 25 m dla zakresu lotu do 500 m, z powodu zużycia elementów kinematyki układu pomiarowego.

Możliwość rezygnacji z planowych obsługi wysokościomierza WD-10WK, skraca o ok. 90 minut czas wykonywania obsługi planowych po 100 nalogu (na śmigłowcu Mi-14PŁ są zamontowane trzy WD-10WK). Analizując w podobny sposób kolejne przyrządy pokładowe śmigłowca Mi-14PŁ, możemy zaoszczędzić dalsze kilkadziesiąt godzin obsługi planowych, zwiększając wskaźnik K_g , jednocześnie nie obniżając poziomu bezpieczeństwa, niezawodności, a często obniżając koszty eksploatacji sprzętu.

Zaprezentowana analiza dla wysokościomierza WD-10WK jest przykładem „wyrwykowego” zbadania wybranego elementu wyposażenia śmigłowca, pod kątem sprawdzenia zasadności jego pracochłonnej obsługi. W celu weryfikacji systemu obsługiwanego całego śmigłowca wskazanym jest opracowanie metody systemowej. Poniżej zaprezentowano schemat autorskiej metody oceny systemu obsługiwanego śmigłowca w aspekcie jego dostępności.

Pytanie z algorytmu RCM	Odpowiedź	Wniosek
Czy błędne wskazania wysokościomierza WD-10WK jest widoczne dla członków załogi śmigłowca, w czasie wykonywania normalnych czynności podczas użytkowania śmigłowca?	Tak	Uszkodzenie jawne
Czy błędne wskazania wysokościomierza WD-10WK ma bezpośredni, niekorzystny wpływ na bezpieczeństwo eksploatacji śmigłowca?	Nie	Spełnia kryterium bezpieczeństwa
Czy błędne wskazania WD-10WK mają bezpośredni niekorzystny wpływ na zdolność wykonania zadania?	Nie	Spełnia kryterium operacyjne
Czy smarowanie i serwisowania (L/S) jest zadaniem odpowiednim i skutecznym dla zapobieżenia powstania analizowanego trybu uszkodzenia WD-10WK?	Nie	Nie realizować obsługi typu L/S
Czy ocena stanu technicznego (OC) jest zadaniem odpowiednim i skutecznym dla zapobieżenia powstania analizowanego trybu uszkodzenia WD-10WK?	Nie	Nie realizować obsługi typu OC
Czy wymiana elementu po określonym czasie eksploatacji (HT) jest zadaniem odpowiednim i skutecznym dla zapobieżenia powstania analizowanego trybu uszkodzenia WD-10WK?	Nie	Nie realizować obsługi typu HT
<i>Wniosek końcowy</i>	Wykonanie obsługi zapobiegawczych dla WD-10WK nie jest zasadne. Zastosować strategię BDM	



Rys. 2. Schemat metody oceny systemu obsługi śmigłowca w aspekcie dostępności

Ww. schemat wykorzystano do zbadania możliwości poprawy wskaźnika dostępności (gotowości technicznej) K_g dla śmigłowca SH-2G, wstępnie uzyskując możliwość potencjalnego wzrostu ww. wskaźnika - z poziomu 68,28% do poziomu 82,20%. Potwierdza to kolejne założenie metodologii RCM, że proces weryfikacji prawidłowego doboru rodzajów obsługi OT powinien odbywać się okresowo, przez cały okres życia obiektu technicznego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ARMP-1 Ed.3: *NATO Requirements for Reliability and Maintainability*, NATO Military Agency for Standardization, 2002.
- [2] ARMP-4 Ed. 3: *Guidance for Writing NATO R&M Requirements Documents*, NATO Military Agency for Standardization, 2003.
- [3] MSG-3 Rev. 2: *Airline/Manufacturer Maintenance Program Development Document*, Air Transport Association of America, Maintenance Steering Group – 3 Task Force, September 1993.
- [4] NAVAIR 00-25-403: *Guidelines for the Naval Aviation Reliability – Centered Maintenance Process*, US Naval Air System Command, 2005.
- [5] Szawłowski S.: *Metoda wyznaczania gotowości technicznej śmigłowca pokładowego w funkcji realizowanych zadań*, Rozprawa Doktorska, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, 2009.

SERGIUSZ SZAWŁOWSKI

APPLICATION OF RCM PROCESS FOR AVAILABILITY IMPROVEMENT OF MARITIME HELICOPTER

Abstract

Improvement of effectiveness of aviation systems performance is related to their maintenance systems as well. The assessment of technical item (including its maintenance system) can be done from availability perspective, which means ability of the item to be ready to perform dedicated task, when it is needed.

The availability combines three factors: reliability, maintainability and supportability. The mentioned maintainability as maintenance workload measure is able to be modified. So it is reasonable to research capability to optimize the preventive maintenance procedures for the item.

In this paper I have presented example of improving item`s availability by utilizing RCM (Reliability Centered Maintenance) analysis. The RCM is a process of selection the most appropriate and effective maintenance actions to keep significant functions of the item. The basic rule of using RCM to modify maintenance system is unconditionally keeping for the item: high level of safety, effectiveness of performing dedicated task and economy of service.

As an example of this topic I have analyzed Mi-14PL maritime helicopter maintenance system. Maintenance of this aircraft is based on Preventive Based Maintenance (PBM) strategy, which effects on very high workload rate for maintenance system – the value of its MMFH (Maintenance Manhours per Flight Hours) index is over 25 man-hours/flight hour.

Applying RCM process I have shown the method of reduction of maintenance man – hours. Thanks to specially designed model I have presented the way of analysis of helicopter availability level.

Very positive feature of RCM is its ability to be applied for technical items (for example helicopters) already being in service. It gives effective tool to reduce maintenance man-hours and improve availability rates, for helicopters which have been maintained in accordance with poor effective maintenance system for years.