

A MAINTENANCE SYSTEM TO SUPPORT AIR OPERATIONS

SYSTEM EKSPLOATACYJNY WSPOMAGANIA OPERACJI LOTNICZEJ

Leszek Cwojdzński, Jerzy Lewitowicz, Andrzej Żyluk

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

e-mail: samolot221@wp.pl, jerzy.lewitowicz@itwl.pl, andrzej.zyluk@itwl.pl

Abstract: *A system to support maintenance, approached with respect to particular maintenance actions. The modelling of a smart system to support maintenance of multi-role aircraft. Diagnostic– properties determining accomplishment of an air operation. A standard maintenance cycle. A maintenance programme targeted at the multi-role aircraft fleet.*

Keywords: *multi-role aircraft, maintenance, air operation*

Streszczenie: *System wspomagający eksploatację opisano w ujęciu działaniowym, Modelowanie systemu wspomagającego eksploatację samolotów wielozadaniowych. Diagnostyka - własność determinująca wykonanie operacji powietrznej. Standardowy cykl eksploatacyjny. Program eksploatacyjny dla floty samolotów wielozadaniowych.*

Słowa kluczowe: *samolot wielozadaniowy, eksploatacja, operacja powietrzna*

1. Wstęp

Odpowiedni system eksploatacji statków powietrznych jest jednym z warunków sukcesu misji bojowej. Współczesny system eksploatacji to taki, który reaguje na konieczne zmiany czynników eksploatacyjnych w czasie rzeczywistym (on line) i posiada zdolność odtwarzania cech eksploatacyjnych użytkowanych statków powietrznych. Warunkiem jest posiadanie wiarygodnego podsystemu diagnozowania i prognozowania stanu technicznego eksploatowanych statków powietrznych oraz podsystemu odtwarzania ich zdolności technicznej w wymaganym zakresie cech użytkowych. Wymagany nowoczesny podsystem diagnostyczny powinien posiadać zdolność diagnozowania stanu technicznego w logice trójwartościowej [2, 4]. Działania z takim podsystemem zwiększa ryzyko podejmowanych decyzji ale w zamian podnosi efektywność działania operacyjnego lotnictwa, ponieważ wprowadza pojęcie częściowej zdolności statku powietrznego, takiej, która pozwala jednak na wykonywanie wybranych misji bojowych w sytuacji, kiedy jest brak innych, w pełni zdolnych statków powietrznych.

2. Warunek eksploatacyjny operacji lotniczej

Statek powietrzny przeznaczony jest do wykonywania lotów. Poprzez lot zapewnia się wykonanie planowanego lub wyznaczonego losowo zadania lotniczego, zwanego operacyjnym zadaniem lotniczym (OZL). Wykonania zadania OZL wymaga eksploatacyjnego użytkowania statku powietrznego w locie. Zadanie to wiąże się ściśle z przemieszczeniem ładunku. Wplecione jest w pełny cykl eksploatacyjny (PCE), w którym realizowane są prace diagnostyczne i utrzymujące zdolność techniczną SP, a w tym:

- przygotowanie ładunku użytecznego (ŁU) do realizacji OZE;
- prace obsługowo-alimentacyjne;
- prace z zakresu diagnostyki, odnowy i remontu SP (o ile są niezbędne);
- rozładowanie ŁU po wylądowaniu lub uwolnienie go w czasie trwania lotu.

Realizacja części cyklu eksploatacyjnego (CE), która odbywa się od startu do lądowania, nosi nazwę misji lotniczej (ML) w ramach większej lub mniejszej operacji lotniczej (OL).

Powodzenie misji lotniczej (ML) dla statku powietrznego – podobne rozważania dotyczą grupy statków powietrznych – zależy od trzech składowych:

- terminowego jej rozpoczęcia, to jest od gotowości (G) w momencie rozpoczęcia misji (t_1). Niech zdarzenie to zostanie oznaczone jako A ;
- gotowości operacyjnej zawierającej składową niezawodności (R) w czasie trwania operacji (τ). Niech zdarzenie to zostanie oznaczone jako B ;
- odpowiedniego wyposażenia w ładunek użyteczny (ŁK) składający się z ładunku alimentacyjnego (ŁK_a) jak paliwo, tlen itp. oraz ładunku użytego w czasie operacji (ŁU), jak: pasażerowie, ładunek cargo, środki bojowe. Niech zdarzenie to zostanie oznaczone jako C . Zdarzenie C opisuje tak zwane pojęcie odpowiedniości (O). Niebagatelną rolę w tym pojęciu odgrywa odporność SP na czynniki destrukcyjne, niebezpieczne pojawiające się w locie, jak: przeciwdziałanie przeciwnika (w operacjach wojennych), burzę, piorun – wylądowanie elektryczne, pożar SP itp.

Realizacja części cyklu eksploatacyjnego (SPCE), która odbywa się od startu do lądowania, nosi nazwę misji lotniczej (ML).

Model eksploatacyjny misji lotniczej można opisać poprzez prawdopodobieństwo zdarzeń A, B, C .

$$ME(t, t_1, \tau) = P(A) \cdot P(B/A) \cdot P(C/AB) \quad (1)$$

gdzie:

$P(A)$ – prawdopodobieństwo zdarzenia A , które może być wyrażone przez gotowość $G(t_1, \tau)$

$P(B/A)$ – prawdopodobieństwo zdarzenia B pod warunkiem zaistnienia zdarzenia A , które może być wyrażone przez niezawodność $R(t_1, \tau)$;

$P(C/AB)$ – prawdopodobieństwo zdarzenia C pod warunkiem zaistnienia zdarzeń A i B , które wyraża się poprzez wartość odpowiedniości $O(t_1, \tau)$.

W praktyce należy uwzględnić przedział czasu gotowości mobilizacyjnej Θ . Prace wykonywane w tym przedziale czasu mają wpływ na parametr gotowości operacyjnej i osiągnięciu odpowiedniej wartości odpowiedniości. Zatem, o ile przedział czasu Θ będzie oznaczać zdarzenie (D) przejścia od gotowości potencjalnej (w momencie czasu $t_0 = t_1 - \Theta$) do gotowości początkowej w $t_1 = t_0 + \Theta$, to wyrażenie (1) można zapisać w sposób pełniejszy, w postaci iloczynu prawdopodobieństw zdarzeń:

$$ME(t, \Theta, \tau) = P(D) \cdot P(A/D) \cdot P(B/AD) \cdot P(C/ABD) \quad (2)$$

Rozwiązanie równania (2) sprowadza się do oszacowania prawdopodobieństw: gotowości, niezawodności i odpowiedniości. Wówczas równanie (2) można zapisać jako:

$$ME(t_0, \Theta, \tau) = G_{sp}(t_0) \cdot G_{sp}(t_1) \cdot G_{sp}(\Theta, \tau) \cdot R(t, \Theta, \tau) \cdot O(\Theta, \tau) \quad (3)$$

gdzie:

$G_{sp}(t_0)$ – gotowość potencjalna statku powietrznego równoznaczna z niezawodnością w chwili $t = t_0$ określana dla momentu postawienia zadania operacyjnego;

$G_{sp}(t_1 = t_0 + \Theta)$ – gotowość początkowa do rozpoczęcia realizacji OZL;

$G_{sp}(\Theta, \tau)$ – gotowość operacyjna w czasie τ realizacji OZL z uwzględnieniem czasu Θ ;

$R(t, \Theta, \tau)$ – niezawodność SP dla danego OZL;

$O(\Theta, \tau)$ – odpowiedniość SP dla danego OZL;

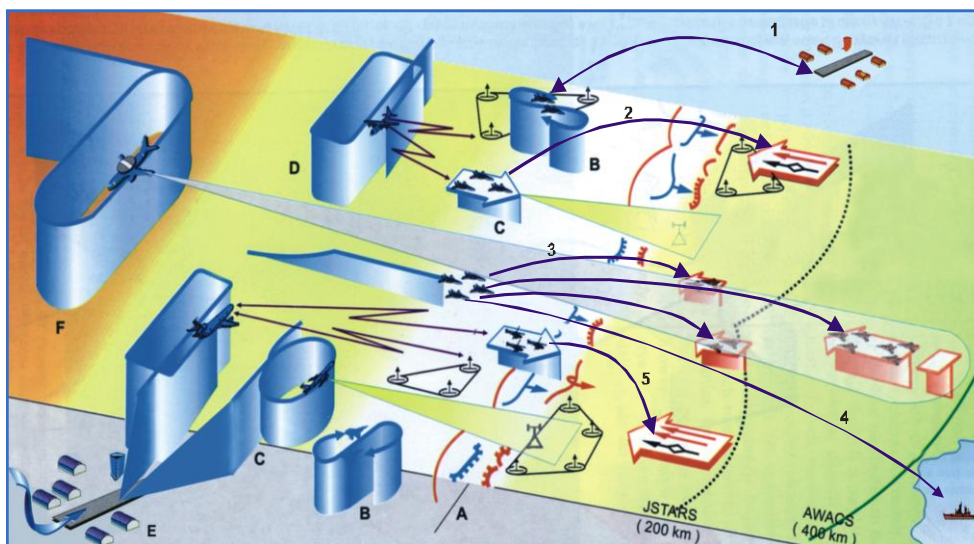
t_1, t_0, Θ, τ – odpowiednie czasy realizacji zadań eksploatacyjnych.

Odpowiedniość (O) to stopień przystosowania statku powietrznego do wykonania operacyjnego zadania lotniczego. Charakteryzuje przydatność, stopień przystosowania do realizacji różnych planowych lub losowo napływających zadań lotniczych.

A maintenance system to support air operations
System eksploatacyjny wspomagania operacji lotniczej

W lotniczych systemach wojskowych (LSW) podstawowe misje (ML) to (rys. 1):

- walka powietrzna (niszczenie celów powietrznych);
- zwalczanie celów naziemnych, nawodnych;
- wsparcie walczących wojsk (niszczenie celów na polu walki);
- patrolowanie w powietrzu;
- przewóz osób i ładunków;
- dowodzenie (ze statków powietrznych) innymi statkami powietrznymi i wojskami lądowymi;
- walka radioelektroniczna;
- rozpoznanie lotnicze;
- szkolenie lotnicze.



Rys. 1. Typowe misje lotnicze samolotów i śmigłowców eksploatowanych w Lotniczym Systemie Wojskowym (LSW)

A – linia styczności bojowej z nieprzyjacielem; B – strefy dyżurowania samolotów wielozadaniowych; C – samoloty rozpoznania i walki radioelektronicznej; D – samoloty dowodzenia; E – lotnisko lub drogowy odcinek lotniskowy; F – samolot systemu AWACS; 1 – zwalczanie celu naziemnego; 2 – zwalczanie kolumn na polu walki przez samoloty wielozadaniowe; 3 – walki powietrzne; 4 – zwalczanie celów nawodnych; 5 – wsparcie pola walki przez śmigłowce

Czas trwania misji jest zmienną losową (T_z), czas zdatności SP ze względu na jego cechy konstrukcyjne wyrażone przez funkcję niezawodności (R) i zewnętrzne czynniki destrukcyjne mieszczące się w pojęciu odpowiedności (O), jest też zmienną losową (T_M).

Powodzenie misji wyznacza prawdopodobieństwo misji spełniające warunek:

$$P(T_Z \leq T_M) = \int_0^{\infty} R_{TM}(\tau) dG_{T_Z}(\tau) \quad (4)$$

gdzie:

$R_{TM}(\tau)$ – funkcja niezawodności SP;

$G_{T_Z}(\tau)$ – dystrybuanta zmiennej losowej T_Z , czasu trwania misji.

Równanie (4) oznacza, że powodzenie misji wyraża prawdopodobieństwo tego, że zmienna losowa T_M powinna być większa (dużo większa) lub równa w skrajnym przypadku, ale nie mniejsza od T_Z .

Każdą misję (ML) można zaplanować jako sekwencję zadań realizowanych według następujących struktur:

- szeregowej (S),
- równoległej (R),
- równoległej z oczekiwaniem (RM),
- mieszanej (M).

Przykłady takich struktur przedstawiono na rys. 2.

Powodzenie misji zaplanowanych według wymienionych struktur mierzone prawdopodobieństwem P_{misji} wyrażającym niezawodność operacyjną, oblicza się za pomocą następujących wzorów:

Dla struktury szeregowej (typ S) – rys. 2a:

$$P_{\text{misji}}^R = R_1 R_2 \cdots R_n = \prod_{i=1}^n R_i \quad (5)$$

Dla struktury równoległej (typ R) – rys. 2b:

$$P_{\text{misji}}^R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) = \prod_{i=1}^n R_i \quad (6)$$

Dla struktury równoległej (typu RM) z oczekiwaniem i kolejnym włączaniem bloków zadaniowych struktury - rys. 2c:

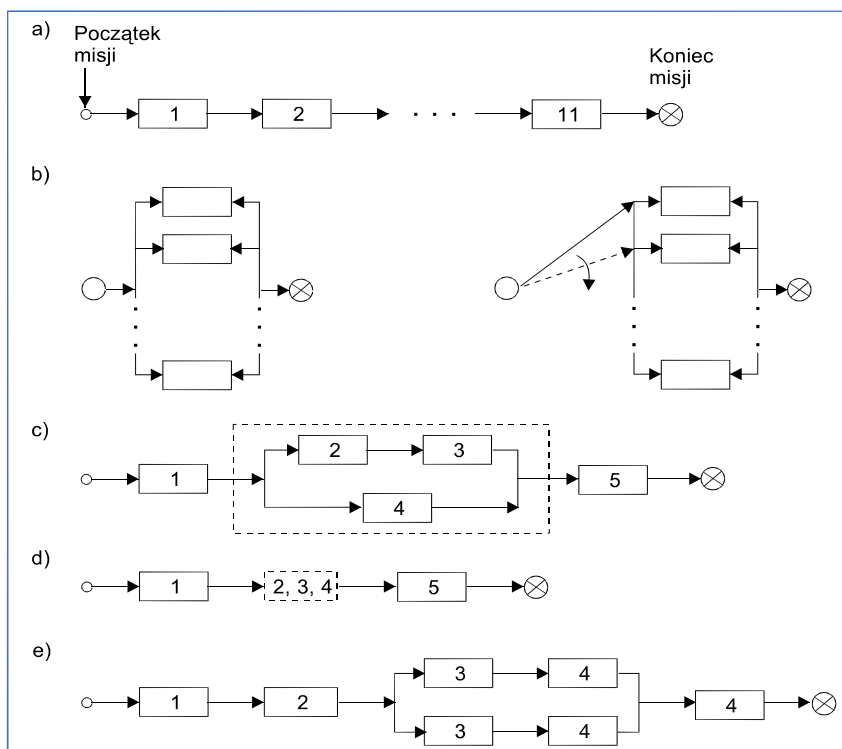
$$P_{\text{misji}}^{\text{RM}} = \left[1 + \lambda + \frac{\lambda^2}{2!} + \cdots + \frac{\lambda^{n-1}}{(n-1)!} \right] e^{-\lambda} \quad (7)$$

gdzie: λ – intensywność niewykonania zadań na jednostkę czasu.

Dla struktury mieszanej (typ M) – rys. 2d:

$$P_{\text{misji}}^M = R_1 [1 - (1 - R_2 R_3)(1 - R_4)] \quad (8)$$

Klasycznym przykładem misji lotniczej jest misja o nazwie powietrze – powietrze, dotycząca zaplanowania i wykonania walki powietrznej na przykład w ramach obrony powietrznej czy walki – panowania w powietrzu.



Rys. 2. Przykłady struktur operacyjnych misji lotniczych
a – struktura szeregową (S); b – struktura równoległa (R); c – struktura
równoległa z oczekiwaniem (RM); d – struktura mieszana (M);
e – struktura misji p-p

Przykład struktury takiej misji musi uwzględniać następujące prawdopodobieństwa (rys. 2e):

- 1 – niezawodność naziemnej stacji radiolokacyjnej wykrywania i naprowadzania (R_1);
- 2 – niezawodność radaru pokładowego (R_2);
- 3 – niezawodność pocisku raketowego (R_3);
- 4 – niezawodność głowicy bojowej pocisku raketowego (R_4);
- 5 – prawdopodobieństwo uszkodzenia celu (R_5).

Prawdopodobieństwo sukcesu wyniesie:

$$P_{\text{misji}}^{\text{P-P}} = R_1 \cdot R_2 \cdot R_5 \left[1 - (1 - R_3 \cdot R_4)^2 \right] \quad (9)$$

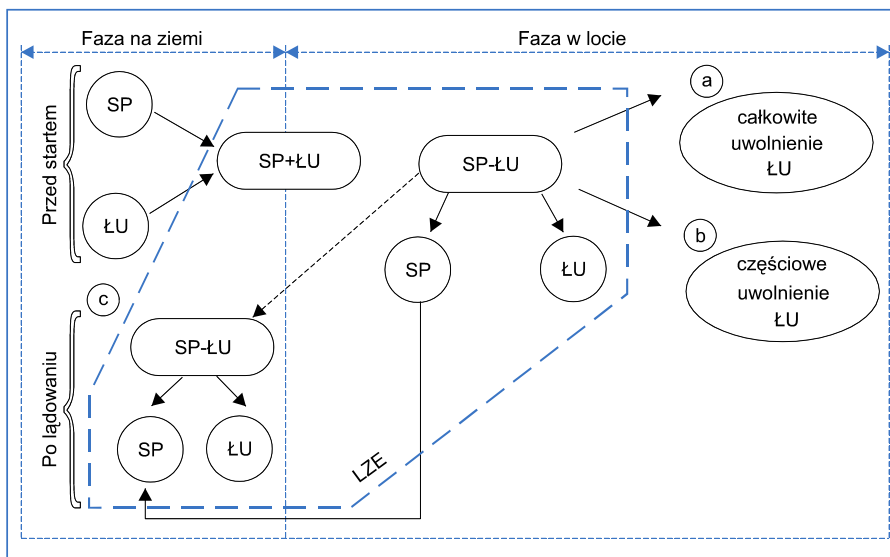
W omówionym przykładzie założono atak dwoma pociskami raketowymi.

3. System eksploatacji floty statków powietrznych z elementem diagnostyki

Cykl eksploatacyjny (CE) daje się podzielić na odcinki i stany oraz procesy. Należy też uwzględnić – przy analizie – czy dotyczy on działania pojedynczego SP, czy też grupy statków powietrznych (SSP). Działania grupy SSP wprowadza się do SPCE jako relacje właściwe dla grupy, tj. relacje pomiędzy statkami powietrznymi, które mogą znaleźć się w fazie użytkowania (w locie) lub w fazie utrzymywania zdolności (na ziemi) w różnych stanach fizycznych, mogą być poddawane (przez otoczenie) różnym procesom usprawniającym lub destrukcyjnym.

CE realizowany jest na ziemi i w locie. Czasy realizacji są różne w różnych systemach lotniczych. CE realizowany jest przez SP i ładunek ŁU poprzez kolejne zdarzenia eksploatacyjne (rys. 3).

SP i ŁU są przygotowane do LZE na ziemi. Następnie ŁU jest umieszczany na SP (wewnątrz lub na podwieszeniach zewnętrznych). Ładunek ten może być uwalniany całkowicie lub częściowo w czasie lotu (zrzut środków do gaszenia pożarów, zrzut środków ochrony roślin, zrzut ładunku i osób – desantowanie, przekazanie informacji z powietrza, zrzut ładunków bojowych w systemie LSW) lub uwalniany na ziemi (wyładunek pasażerów, towarów, informacji).



Rys. 3. Cykl eksploatacyjny realizacji misji lotniczej
 SP – statek powietrzny; ŁU – ładunek użyteczny; a – wersja całkowitego zwolnienia ładunku w powietrzu; b – wersja częściowego zwolnienia ładunku w powietrzu; c - wersja całkowitego lub częściowego zwolnienia ładunku w powietrzu

Model eksploatacyjny SP (ME) odwzorowuje te właściwości SP, jakie decydują o jego efektywności tj.: gotowości (G), niezawodności (R), odpowiedniość (O), z uwzględnieniem jego bezpieczeństwa – bezpieczeństwa lotów (B), trwałości (T_R), żywotności (Z), podatności eksploatacyjnej (P_E), logistyki (L).

Model eksploatacyjny dotyczy przedziału czasu $\Delta t = t_2 - t_1$; tj. różnicy czasu t_2 zakończenia planowanego wykorzystania SP i czasu t_1 , w którym rozpoczęto realizację zadania. Gotowość G odnosi się do momentu czasu t_1 . Powinna być maksymalna i praktycznie dla wykonania planowanego zadania – równa jedności, a jednocześnie mierzona w kategoriach prawdopodobieństwa. Problem gotowości jest bardzo złożony i będzie tematem osobnego rozdziału. W tym miejscu można przyjąć pierwsze przybliżenia dla oszacowania wartości prawdopodobieństwa możliwości użycia SP poprzez wyrażenie [1, 3]:

$$G = \frac{T_{gu}}{T_{gu} + T_{ut}} \quad (10)$$

gdzie :

T_{gu} – czas, w jakim SP jest gotowy do użycia,

T_{ut} – czas, w jakim realizowane są prace związane z utrzymaniem zdolności SP do użycia (prace w podsystemie PEUt).

Niezawodność R to prawdopodobieństwo tego, że SP uniknie niesprawności wywołanych czynnikami (zdarzeniami) wewnętrznymi w przedziale czasu Δt . W pierwszym przybliżeniu, traktując uszkodzenia jako niezależne (od siebie), R można wyrazić w kategoriach prawdopodobieństwa jako:

$$R = R_0 \exp \left[- \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt \right] \quad (11)$$

gdzie:

R_0 – wartość początkowej niezawodności w chwili t_1 (najczęściej $R_0 = 1$),

$\lambda(t)$ – intensywność uszkodzeń jako funkcja czasu.

Odpowiedniość O można oszacować prawdopodobieństwem stanu, że SP będzie odpowiedni (odpowiednio wyposażony, uzbrojony itp.) do warunków, w których zostanie zastosowany i dla zadania, jakie przed nim postawiono. Zatem uwzględnia się tu warunki otoczenia (atmosferyczne) jako obiektywne, warunki otoczenia jako subiektywne przeciwdziałanie zewnętrzne (np. obrony przeciwlotniczej) przyjmując je poprzez oddziaływanie aktywne lub pasywne albo mieszane. Obliczenie prawdopodobieństw wymienionych oddziaływań jest bardzo trudne i poza nielicznymi przypadkami przyjmuje się metodę ekspertów.

Łączne prawdopodobieństwo dla O można wyrazić iloczynem prawdopodobieństw jak dla struktury szeregowej:

$$O = \prod_{i=1}^N P_i^{(0)} \quad (12)$$

gdzie:

i – numeruje kolejne warunki działań, jakich może być N ($i = 1\overline{N}$);

$P_i^{(0)}$ – początkowa wartość odpowiedniości cząstkowej.

O ile w pierwszym przybliżeniu potraktujemy, że prawdopodobieństwa G , R , O są niezależne, to model eksploatacyjny można przedstawić iloczynem ich prawdopodobieństw:

$$ME = G \cdot R \cdot O \quad (13)$$

ME w rzeczywistości jest bardziej złożony jako funkcja czasu eksploatacji, ponieważ prawdopodobieństwa G , R , O są funkcjami czasu, warunków eksploatacji, oddziaływań zewnętrznych: realizacji (poziomu skuteczności itp.) prac utrzymujących zdadność SP, jak też wewnętrznych procesów eksploatacyjnych typu czwartego (korozja, zużycie, zmęczenie elementów SP itp.). Złożoność ME wyznaczają także czynniki wpływające na prawdopodobieństwa zewnętrznych oddziaływań: bezpieczeństwo lotów, trwałość, żywotność, podatność eksploatacyjna, logistyka, przechowywalność.

Zatem ME można uznać za stacjonarny tylko w określonych przedziałach czasu np. dla jednego wylotu SP.

Problem jeszcze bardziej komplikuje się dla grupy SP. Każdy z nich może w rozpatrywanym przedziale czasu Δt znajdować się w innym stanie eksploatacyjnym (w: użytkowaniu, stanie obsługi dowolnego typu, odnowie, remoncie, alimentacji).

Każdy egzemplarz SP jest użytkowany (wykonuje lot) w czasie, który jest zmienną losową, a następnie podlega diagnostyce i pracom utrzymującym zdadność techniczną [5]. Prace te, zwane obsługowymi, można podzielić na: doraźne (statystycznie dobrze zdefiniowane jako przeglądy przedlotowe i polotowe), średnie co do zakresu i długości ich wykonywania (zawierają one konieczność wykonania prac odnowy o niedużym zakresie) o zmiennej losowej T_Z i remontowej T_R . Zmienne losowe T_R są dobrze zdefiniowane przez wytwórcę statku powietrznego. Do analizy pozostaje problem zmiennych losowych czasów lotów T_L między pracami o średnim zakresie obsługi (okresowych) opisywanych przez T_Z .

Przy intensywności wykonywania lotów λ_L przez egzemplarz SP, długość przedziału użytkowania między kolejnymi pracami okresowymi wyniesie:

$$T_L = \frac{Z}{\lambda_L} \quad (14)$$

gdzie: Z – potencjał eksploatacyjny wykorzystywany pomiędzy pracami okresowymi [liczba lotów}.

Jeżeli w okresie eksploatacji SP przechodzi k obsługa okresowych to T_R wyniesie:

$$T_R = k\bar{T}_Z + (k + 1)\bar{T}_L \quad (15)$$

gdzie:

\bar{T}_Z – wartość oczekiwania czasów obsługa okresowych;

\bar{T}_L – wartość oczekiwania czasów realizacji misji.

W praktyce eksploatacyjnej wykonywanie obsługa okresowych rozkłada się w czasie wg kryterium ciągłości pracy w podsystemie utrzymywania zdadności statków powietrznych. Ze względów losowych, eksploatując statki powietrzne (N) wg stanu technicznego, długość realizacji obsługa też jest zmienną losową. Z tego powodu w eksploatacji – użytkowaniu znajduje się w mniejszych przedziałach czasu, np. miesięcznych, różna liczba egzemplarzy SP (n_e), gdzie $n_e(t) < N$. O jakości systemu eksploatacji świadczyć może tzw. wskaźnik dyspozycyjności $\eta(t)$:

$$\eta(t) = \frac{n_e(t)}{N} \quad (16)$$

Wskaźnik η umożliwia rozstrzygnięcie problemów ekonomicznych, na przykład takich, jak opłacalność modernizacji bazy obsługaowej, którą można zrealizować poprzez:

- powiększenie średniej liczby użytkowanych statków powietrznych n_e , czyli zwiększenie wartości η do η_{\max} tzn. przez modernizację bazy obsługaowej;
- zwiększenie liczby eksploatowanych statków powietrznych (N) z zachowaniem stałej wartości η i proporcjonalnym powiększeniem bazy obsługaowej.

Wskaźnik dyspozycyjności umożliwia oszacowanie minimalnej liczby statków powietrznych N_{\min} w celu zapewnienia realizacji planowanych misji lotniczych na przykład w założonym rocznym okresie:

$$N_{\min} = \frac{R_e}{\lambda_{\max} \cdot \eta \cdot \rho} \quad (17)$$

gdzie:

R_e – całkowity zadany resurs na okres np. jednego roku;

λ_{\max} – intensywność użytkowania jako liczba lotów na okres między pracami okresowymi (w godzinach);

η – wskaźnik dyspozycyjności;

ρ – wskaźnik liczby godzin resursu na jeden SP.

Rozkłady czasów przebywania statków powietrznych w stanie zdatności zależą od stanów jego procesu zmian repertuaru zadań $Z_i(\tau)$. Zmiany te mają wpływ na zmiany niezawodności SP. Warunkowa funkcja niezawodności w stanie zdatności dana jest wzorem:

$$R_i(\tau) = \sum_{k=1}^{v_i} p_i^k(\tau) R_i^k(\tau), \quad \tau \in \langle 0, t \rangle, \quad i = [1, n] \quad (18)$$

gdzie:

p_i^k – prawdopodobieństwo i -tego SP w stanie k ;

R_i^k – niezawodność i -tego SP w stanie k .

4. Podsumowanie

Realizacja eksploatacji statków powietrznych to proces zachodzących zjawisk, proces przechodzenia ich przez określone stany w tym najważniejszy – użytkowania, wykonania zadania operacyjnego (misji lotniczej). Stany eksploatacyjne mogą podlegać szybkim zmianom (np. lot SP) i wolnym (np. magazynowanie, remont), sterowalnym (np. w procedurach diagnostycznych) i niesterowalnym (np. korozja SP).

Lotnicze systemy eksploatujące statki powietrzne mogą być duże i małe. Można zatem mówić o wielu różnych procesach eksploatacyjnych, z których część charakteryzuje się koniecznością rozwiązywania licznych problemów decyzyjnych i organizacyjnych.

Gdy zrozumie się, jakim prawem eksploatacyjnym podlega statek powietrzny, wówczas w systemie organizacyjnym można podjąć próbę sterowania, w celu uzyskania zakładane wyników poprzez wykorzystanie metod modelowania struktur i systemów, obecnie wykorzystując inteligentne programy komputerowe.

5. Literatura

- [1] Azzam H., Andrew M.: *A modular intelligent data administration approach for helicopter health and usage monitoring systems*. Proc. Instn. Mech. Eng., Vol. 209 – Journal of Aerospace Engineering, 1995, pp.139-145.
- [2] Duer S.: *Artificial neural network-based technique for operation process control of a technical object*. Defence Science Journal, Vol. 59, No 3, May 2009, pp 305-313, 2009.
- [3] Hardy R., Yanez D., Connor G.: *Integrated program management system and VdotTM*. AIAA 2010-8772, AIAA SPACE Conference, Anaheim CA, 2012.

- [4] Młokosiewicz J. R., Tomkiewicz K.: *Inductive information system in diagnosis of complex technical objects*. *Exploitation Problems of Machines*, Vol. XXX, No 1(101), pp. 137-148, 1995 [in polish].
- [5] Żółtowski B.: *Diagnostic system maintenance the ability of machines*. *Maintenance and Reliability*, No 4(36), 2007, pp. 72-76.



gen. dyw. pil. dr Leszek Cwojdziański - wychowanek Aeroklubu Poznańskiego, absolwent Wyższej Oficerskiej Szkoły Lotniczej w Dęblinie, studia ukończył z wyróżnieniem w 1979 r. W 1983 r. uzyskał tytuł magistra pedagogiki na UMCS w Lublinie. Pilot instruktor. Ukończył z wyróżnieniem Akademię Lotniczą Sił Powietrznych im. Jurija Gagarina w Monino (Rosja). Pracę doktorską z teledetekcji - rozpoznania obrazowego obronił w Wojskowej Akademii Technicznej. Ukończył kurs oficerów flagowych w NATO Defense College w Rzymie. Autor licznych prac naukowych dotyczących techniki lotniczej, użycia bojowego statków powietrznych i szkolenia lotniczego. Pełni funkcję Dyrektora Departamentu Polityki Zbrojeniowej. Posiada nalot 2400 godzin na samolotach odrzutowych i tytuł pilota wojskowego klasy mistrzowskiej.



Prof. Dr hab. inż. Jerzy Lewitowicz. Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej i Uniwersytetu Warszawskiego. Główne zainteresowania: rozwój najnowszej techniki wojskowej, w tym w szczególności lotniczej, budowa i eksploatacja samolotów i śmigłowców ze szczególnym uwzględnieniem diagnostyki. Posiada ponad 50. letni staż naukowy i dydaktyczny w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych i na Politechnice Warszawskiej. Jest członkiem SIMP, AIAA, ICAS. Wieloletni członek trzech komitetów Polskiej Akademii Nauk: Fizyki, Budowy Maszyn, Badań Kosmicznych i Satelitarnych. Autor licznych publikacji naukowych (ponad 400). Autor i współautor 23 książek naukowych z dziedziny eksploatacji statków powietrznych, tribologii, diagnostyki, bezpieczeństwa lotów, licznych patentów oraz wzorów użytkowych. Posiada stopień wojskowy generała brygady (w rez.). Jest pracownikiem naukowym Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych.



Prof. nadzw. dr hab. inż. Andrzej Żyłuk. Absolwent wydziału Elektromechanicznego Wojskowej Akademii Technicznej w 1985 roku w dziedzinie konstrukcji i eksploatacji uzbrojenia lotniczego. Jest pracownikiem naukowym w ITWL i pełni obowiązki zastępcy dyrektora ds. naukowo-badawczych ITWL. W dorobku naukowym posiada ponad 60 publikacji naukowych z zakresu badań i eksploatacji statków powietrznych, w tym w szczególności systemów uzbrojenia lotniczego, badania wypadków lotniczych, modelowanie matematyczne systemów technicznych. Posiada stopień wojskowy podpułkownika w rezerwie.