

Mariusz WAŻNY
Konrad WOJTOWICZ

ANALIZA SYSTEMU EKSPLOATACJI WOJSKOWEGO STATKU POWIETRZNEGO W ASPEKCIE JEGO MODERNIZACJI

THE ANALYSIS OF THE MILITARY AIRCRAFT MAINTAINS SYSTEM AND THE MODERNIZATION PROPOSAL

W artykule przedstawiono koncepcję modernizacji procesu obsługiwanego jednego z systemów funkcjonalnych wojskowego statku powietrznego w oparciu o metodę wyznaczania czasookresu przebywania wybranych urządzeń systemu nawigacyjno-celowniczego w systemie użytkownika. Głównym celem prowadzonych rozważań było opracowanie jak najlepszego sposobu wykorzystania potencjału techniczno-bojowego wojskowego statku powietrznego eksploatowanego w Siłach Zbrojnych RP.

Słowa kluczowe: parametr diagnostyczny, system eksploatacji, system nawigacyjno-celowniczy.

The study presents the concept of the maintenance process modernization. The example regards one of the military aircraft functional systems. The concept is based on the method of determining the time concerning the operation of an aiming head in the operation system. The main target in this research was to prepare the most efficient procedure of Polish Air Force military aircrafts maintenance.

Keywords: diagnostic parameter, maintenance system, navigation and aiming system.

1. Wstęp

Eksploatacja obiektów technicznych definiowana jest jako zespół celowych działań organizacyjno-technicznych i ekonomicznych ludzi z obiektami technicznymi oraz wzajemne relacje występujące pomiędzy nimi od chwili przyjęcia obiektu do wykorzystania zgodnie z przeznaczeniem, aż do jego likwidacji [1]. Ustalenie tych relacji oraz identyfikacja działań występujących pomiędzy poszczególnymi podmiotami oparta jest na wiedzy i doświadczeniu projektantów i konstruktorów obiektów technicznych. Ich profesjonalizm w pierwszej kolejności determinuje podatność obsługa i przydatność użytkowa. Niemniej jednak przyjęte przez nich założenia niejednokrotnie ulegają w trakcie istnienia obiektu weryfikacji pociągając za sobą określone zmiany mające na celu zmniejszenie „efektu odpadowego” eksploatacji i zmaksymalizowaniu „efektu użytkowego”.

W technice obok nadrzędnego celu jakim jest niezawodność obiektu bardzo istotną kwestią jest optymalizacja systemu eksploatacji (w różnych aspektach jego funkcjonowania). Jedną z przesłanek uprawniających do podjęcia tematyki związanej z optymalizacją są wnioski wyciągnięte z dotychczasowego przebiegu eksploatacji określonego obiektu (systemu) technicznego. W niniejszym opracowaniu przedstawiona zostanie próba weryfikacji sposobu eksploatacji wybranego urządzenia systemu nawigacyjno-celowniczego wojskowego statku powietrznego.

1. Introduction

The technical objects maintenance is defined as a set of intentional organizational and economical operations of the people on the technical objects and the relationships between them from the beginning of the object lifecycle up to the end of lifecycle and object disposal [1]. Relationships recognition and identification of the operations which appear between subjects based on the knowledge and experience of the technical objects designers, developers and engineers. The maintenance compliance and utility of product mainly depends on the engineers and designers crew professional competence. However the design presumptions can be altered many times during object lifecycle. These operations are performed to decrease maintenance “waste effect” and maximize “utility effect”.

The primary goal in technology process is reliability but very significant matter is also the maintenance system optimization (in various functional aspects). One of the circumstances which allow considering modernization and optimization researches is the conclusions from the historical maintenance process of the specified technical object or system. This study presents the method of verification of the specified military aircraft navigation and aiming system maintenance process.

2. System eksploatacji wojskowych statków powietrznych

Współczesny wojskowy statek powietrzny, będący podstawowym obiektem technicznym w strukturze organizacyjnej powietrznych sił zbrojnych, jest hybrydą rozmaitych rozwiązań konstrukcyjnych, technologicznych i organizacyjnych. Przyjęcie takiej konsolidacji wymuszone zostało wymaganiami taktyczno-technicznymi, których czynnikiem rozwojowym jest współczesne pole walki.

Budowa statku powietrznego oparta jest na strukturze modułowej (rys. 1) pozwalającej na rozdzielenie określonych zadań pomiędzy poszczególne bloki funkcjonalne. Takie rozwiązanie usprawnia m.in. proces eksploatacji ułatwiając obsługiwanie oraz użytkowanie statku powietrznego.

Warunki w jakich następuje wykorzystanie statku powietrznego są na tyle specyficzne, że nakładają na technikę lotniczą w trakcie jej funkcjonowania wymóg uzyskania wysokiego poziomu wskaźników określających jej niezawodność, trwałość, efektywność oraz bezpieczeństwo. Żądane wartości tych wskaźników uzyskiwane są poprzez nadanie urządzeniom odpowiedniej struktury funkcjonalnej oraz przyjęcie odpowiedniej nadmiarowości.

Ze względu na specyfikę funkcjonowania statku powietrznego, jego eksploatacja może odbywać się tylko w ramach określonego systemu, który zapewnia warunki niezbędne do prawidłowego funkcjonowania samolotu. System ten określany jest mianem Systemu Lotniczego (SL) i obejmuje swoim obszarem statek powietrzny, osoby uczestniczące w procesie eksploatacyjnym oraz urządzenia stanowiące elementy systemu zapewniające zabezpieczenie ciągłości procesu (w sensie funkcjonalnym).

Podstawowym celem eksploatacji wojskowych statków powietrznych w warunkach pokoju jest utrzymanie, zarówno

2. The maintenance system of military aircraft

The modern military aircraft, which is the basic technical object in Polish Air Force organization structure, is the complex product including various constructional, technological, engineering and organizational concepts. Design of so sophisticated product based on tactical and technical military requirements which was created after modern battlefield analysis.

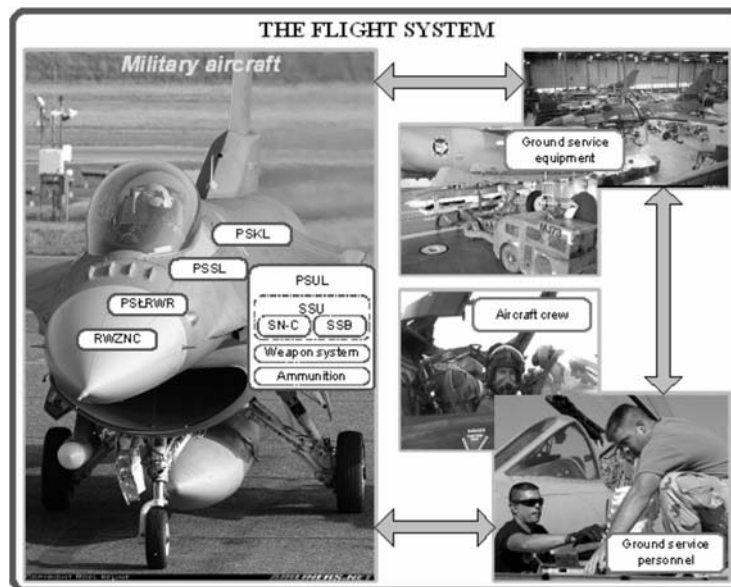
The aircraft construction is based on the module structure (Fig. 1.) which allows dividing the specified tasks between separate functional blocks. This solution improves the maintenance process and facilitates service and operational use of the aircraft.

The conditions in which the aircrafts are operated are so specific that involves the specified requirements regarding high level of reliability, durability, effectiveness and safety parameters as far as airborne technology is concerned. Required levels of parameters are provided by determining specified functional structure of devices and specified level of redundancy.

Due to specific character of aircraft operations the aircraft maintenance can be performed only within specified system which provides the conditions indispensable for correct aircraft operation. This specified system is called Air System (AR) and contains the aircraft frame, the people who participate in the maintenance process and the devices building the system which ensure process permanence (in functional way).

The primary target in military aircraft maintenance process during peace is maintaining both the technical equipment and the personnel on the specified reliability and training level. It is required to provide high level of efficacy and effectiveness during wartime.

Due to many various external factors, which influence negatively on the specified technical elements of the Air System,



Rys. 1. Schemat strukturalny wojskowego statku powietrznego oraz systemu lotniczego: PSSL – pokładowy system sterowania lotem (konstrukcja siłowa wraz z poszyciem); PSKL – pokładowy system kierowania lotem; PSLRRW – pokładowy system łączności, radionawigacji i walki radioelektronicznej; RWZNC – radar wielofunkcyjny i zasobniki nawigacyjno-celownicze; PSUL – pokładowy system uzbrojenia lotniczego; SSU – system sterowania uzbrojeniem; SSB – system sterowania bronią; SN-C – system nawigacyjno-celowniczy (zdjęcia - [9])

Fig. 1. Structural diagram of the military aircraft and the flight system: PSSL – Flight Control System Actuators (frame construction with plating); PSKL – Flight Control System; PSLRRW – Airborne Communication, Radio Navigation and Electronic Warfare Systems.; RWZNC – Multifunctional Radar and Navigation and Aiming Pod; PSUL – Air Armament System; SSU – Armament Control System; SSB – Weapon Control System; SN-C – Navigation and Aiming System; (pictures [9])

sprzętu technicznego jak i personelu, na odpowiednim poziomie niezawodności i wyszkolenia, w celu zapewnienia wysokiej skuteczności i efektywności działania w warunkach konfliktu zbrojnego.

Z uwagi na występowanie różnorodnych czynników zewnętrznych mających negatywny wpływ na wybrane techniczne elementy SL, można stwierdzić, że w okresie eksploatacji następuje ich „zużywanie się”. Dlatego też w celu utrzymania SL w odpowiednim stanie niezawodnościowym wymagane jest wprowadzenie obsługi technicznej, w wyniku której dokonuje się m.in. regulacji, strojenia, wymiany elementów lub całych zespołów w celu spowolnienia procesów zużycia.

W praktyce istnieją obecnie trzy sposoby eksploatacji statków powietrznych (rys. 2):

- 1) system eksploatacji z planowanymi pracami profilaktycznymi,
- 2) system eksploatacji „według stanu”,
- 3) system eksploatacji „według warunku niezawodności” [4].

Logika i organizacja eksploatacji statków powietrznych według planowej profilaktyki przedstawiona jest na rys. 3. W tym sposobie podstawą eksploatacji jest resurs (lub zapas resursu) statku powietrznego. Wyróżnikiem, według którego wykonuje się określony rodzaj obsługi jest ilość pracy (nalot) statku powietrznego [4].

W procesie eksploatacji wg planowej profilaktyki jednym ze stanów eksploatacyjnych jest stan pośredniej zdatności. W stanie tym statek powietrzny jest przeważnie sprawny, ale utracił zdolność do wykonywania lotów z uwagi na okoliczności wymienione na rys. 3. Po wypracowaniu resursu technicznego statek powietrzny powinien być wycofany z eksploatacji lub podany badaniom w celu ustalenia nowego resursu technicznego.

Dla eksploatacji według stanu technicznego obowiązuje zasada, według której statek powietrzny jest tak długo eksploatowany, jak długo wartości konkretnych parametrów określających jego stan techniczny mieszczą się w dopuszczalnym przedziale. Znajomości stanu technicznego urządzenia określa się za pomocą wewnętrznych lub zewnętrznych urządzeń diagnostycznych. Dla tego sposobu podstawą do wykonywania określonego rodzaju obsługi są wartości kontrolowanych parametrów. Prawidłowe sterowanie eksploatacją według stanu technicznego sprowadza się do tego, iż sterowanie stanem dużego parku statków powietrznych wykonuje się poprzez sterowanie stanem każdego statku powietrznego oddzielnie.

W koncepcji eksploatacji według zasady zachowania żądanej niezawodności zakłada się, że niezawodność jest charakterystyką projektowaną. Jej poziom (wartość) zapewnia się w czasie powstawania danego urządzenia i podtrzymuje się

it can be claimed, that during operating process the elements are getting “used up”. Therefore, due to maintain Air System in the appropriate reliability condition there is required to perform technical service. This action contains adjustment, tuning and replacement of particular devices or whole aggregates, in order to slow down the “using up” process.

In practice there are three aircraft maintenance strategies (Fig. 2):

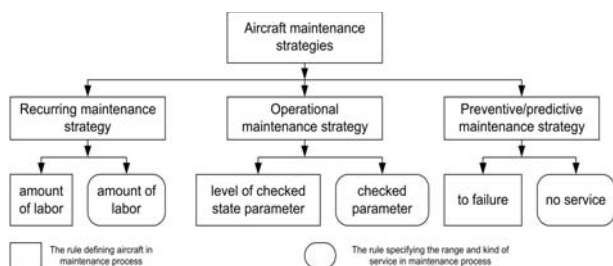
- 1) maintenance system containing prevention services schedule (recurring maintenance).
- 2) operational maintenance system.
- 3) preventive/predictive maintenance system.

Organization and scheme of military aircrafts recurring maintenance strategy is presented on Fig. 3. The basis of this maintenance strategy is the measurement of the amount of labor executed by the plant. As far as aircraft is concerned the amount of labor is defined as a number of hours in the sky [4].

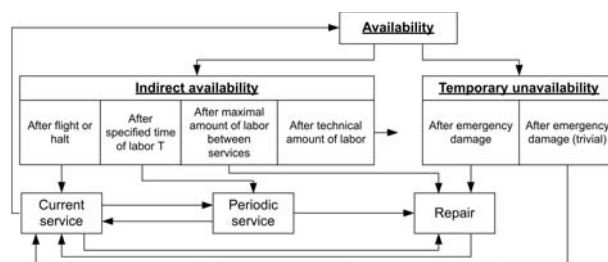
One of the maintenance states in the recurring maintenance process is the indirect airworthiness state. The aircraft in this state is mostly working correctly but it lost the flying ability in order to circumstances determined on figure 3. After execution the specified amount of labor (hours of fly) the aircraft lifecycle should be either terminated or directed to the professional service to determine the new amount of labor possible to execute.

As far as operational maintenance strategy is concerned there is the rule the aircraft is in operation as long as the levels of specified parameters do not exceed the specified limits of error. The knowledge about the maintenance state of the device is determining by the external and internal diagnostic equipment. The service operations during this maintenance strategy are executed according to levels of measured diagnostic parameters. The proper control of operational maintenance strategy even for the considerable fleet of aircrafts requires control of every aircraft separately.

The preventive/predictive maintenance strategy defines the reliability as a designed characteristic. The level (value) of the reliability must be provided in the device design and manufacturing process and is maintaining during the device lifecycle. The maintenance schedule which is based on preventive/predictive maintenance strategy provides the desirable or defined levels of both reliability and flight safety. The all of described aircrafts maintenance strategies are followed during the real conditions fleet maintenance process.



Rys. 2. Sposoby eksploatacji wojskowych statków powietrznych
Fig. 2. Military aircrafts maintenance strategies



Rys. 3. Schemat obsługi według planowej profilaktyki
Fig. 3. Recurring maintenance strategy scheme

w całym okresie jego eksploatacji. Opracowany do tego rodzaju eksploatacji program technicznej obsługi zapewnia pożądane lub zadane poziomy zarówno niezawodności, jak i bezpieczeństwa lotów.

W warunkach rzeczywistych statki powietrzne eksploatuje się stosując wszystkie strategie obsług.

3. Analiza systemu eksploatacji wojskowego statku powietrznego w aspekcie jego modernizacji

Przystępując do analizy procesu eksploatacyjnego wojskowego statku powietrznego (WSP) w pierwszej kolejności dokonano identyfikacji tegoż procesu dla wybranego typu statku powietrznego. Za obiekt posłużył samolot Su-22 eksploatowany w Siłach Zbrojnych RP. Analizie poddano proces eksploatacji 15 statków powietrznych. W oparciu o podział stanów eksploatacyjnych w jakich może przebywać WSP [1] przeprowadzono ich identyfikację ilościową. W ten sposób otrzymano uśredniony procentowy udział poszczególnych stanów w skali jednego roku eksploatacji WSP, przedstawiony poniżej na rys. 4.

Przyjęte określenia definiują powyższe stany eksploatacyjne jako:

- gotowość użytkowa - jest to stan w którym WSP może zostać użyty zgodnie z przeznaczeniem;
- niegotowość użytkowa - uniemożliwia wykorzystanie WSP zgodnie z przeznaczeniem - występowanie tego stanu spowodowane może być m.in. brakiem personelu latającego (choroby, urlopy, delegacje, itp.);
- gotowość obsługowa - jest stanem w którym wykonywane są prace obsługowe;
- niegotowość obsługowa - związana jest, podobnie jak w przypadku niegotowości użytkowej, z czasową przerwą w realizacji prac obsługowych, wynikająca m.in. z chwilowego braku personelu do realizacji określonych zadań przewidzianych w danym stanie eksploatacyjnym.

Ponadto z przedstawionej na rys. 4 analizy wynika, że istnieją jeszcze dwa stany eksploatacyjne, nie zdefiniowane powyżej, charakteryzujące się dużą wartością procentowego udziału w ramach rocznego cyklu eksploatacyjnego w odniesieniu do pozostałych wymienionych stanów. Są to: stan postoju WSP i stan przestoju WSP.

Największy niewykorzystany obszar odnosi się do stanu postoju statku powietrznego. Tak duża wartość procentowego udziału tego stanu w systemie eksploatacji wynika ze specyfiki przeznaczenia i wykorzystania WSP oraz możliwości finansowych istniejących w SL Sił Zbrojnych RP. Głównym przeznaczeniem WSP jest realizacja zadania bojowego z wykorzystaniem środków bojowych. Realizacja takiego zadania wiąże się z ogromnymi kosztami poniesionymi m.in. na zakup środków bojowych, materiałów eksploatacyjnych w jakie zasilany jest WSP (tlen, azot, paliwo), na zabezpieczenie logi-

3. The military aircraft maintenance system analysis and the modernization aspect

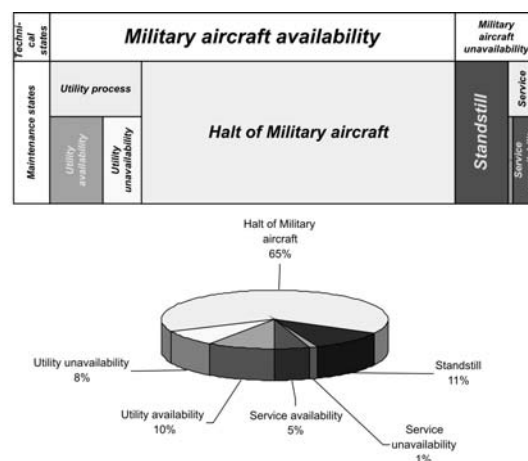
In the beginning of the military aircraft maintenance process analysis the first stage is process identification for the specified kind of aircraft. The plant was Su-22 aircraft which is operated in Polish Air Force. The fleet of 15 aircraft was taken into analysis. The quantitative identification based on the maintenance states division which military aircraft can follow [1]. In this way the average annual percentage usage of particular states is determined. The scheme of the analysis is showed on Fig. 4.

The phrases on the scheme define the maintenance states as follow:

- utility availability – the state when the military aircraft is available to be used in mission.
- utility unavailability – the state when the military aircraft is not available to be used in mission - e.g. this state may be result of personnel absence (illness, leave, business trip)
- service availability – the state when the military aircraft is in service.
- service unavailability – the state when, similar to the utility unavailability, the military aircraft is temporarily not in service due to e.g. personnel absence.

Moreover, the scheme presented on figure 4 involves two other maintenance states which are not defined above. These states are significant as far as comprehensive percentage scheme (fig. 4.) is concerned. These states are halt and standstill of the military aircraft.

The biggest unused area in maintenance process regards the military aircraft halt. So big percentage scale of this state in maintenance process results from the specific destination and exploitation of the military aircraft and from the military budget of the Polish Forces. The main destination of the military aircraft is performing combat mission with armament. The successful combat mission accomplish involves huge costs of the missile weapon, maintenance materials and the fluids (fuel, oxygen, nitrogen). Therefore during the peacetime the level of cost should be reasonable planned. On account of costs the flights schedule during peacetime should be economical. Other aspects of the number of flights constraint are the aircraft flight conditions. The maneuvers during the flight can involve the huge g-load which substantially influence on the frame. As a result of these influences specified parts of the aircraft



Rys. 4. Uśredniony procentowy udział stanów eksploatacyjnych w skali jednego roku eksploatacji samolotu Su-22

Fig. 4. Average annual percentage usage of the particular maintenance states. Su-22 aircraft maintenance process

styczne itp. elementów. Dlatego też wielkość tych kosztów w okresie pokoju powinna być rozsądnie planowana. Z tego też względu loty WSP są „reglamentowane”.

Innym aspektem ograniczającym ilość wykonywanych lotów są warunki w jakich realizowany jest ruch statku powietrznego. Manewry wykonywane w trakcie lotu niejednokrotnie powodują występowanie dużych przeciążeń, co nie pozostaje obojętne na konstrukcję siłową. W wyniku tych oddziaływań następuje „zużywanie się” określonych elementów samolotu. Aby nie doprowadzić do zbyt szybkiego zużywania się tychże elementów, loty WSP są planowane i realizowane w określonych odstępach czasowych, zapewniając w ten sposób pilotom pewną systematyczność latania w celu podtrzymania określonych nawyków oraz racjonalne „zużywanie się” samolotów.

Przytoczone czynniki mają dominujący wpływ na wartość procentowego udziału postoju statku powietrznego w przedstawionym całościowym zestawieniu, jednakże wydaje się, że obecnie ze względów ekonomicznych i politycznych nie istnieje możliwość i konieczność modernizacji tego fragmentu procesu eksploatacji WSP. Nie mniej jednak należy zaznaczyć, że w trakcie postoju wojskowy statek powietrzny znajduje się w stanie zdatności.

Drugim pod względem wielkości procentowego udziału w ogólnym rocznym rozliczeniu stanów eksploatacyjnych WSP jest przestój. Jest to stan występujący w trakcie trwania procesu obsługi samolotu, a związany jest głównie z możliwościami organizacyjno-technicznymi personelu wykonującego prace obsługowe. Z uwagi na bezpieczeństwo i należyty poziom staranności wykonywania prac obsługowych, czas pracy pracowników jest limitowany i wynosi 8 godzin dziennie. Oznacza to, że przez pozostałe 16 godzin WSP oczekuje na wznowienie prac obsługowych i to właśnie ten okres wpływa na wartość procentową charakteryzującą przestój. W celu zmniejszenia tej wartości można by zatrudnić dodatkowe osoby do wykonywania prac obsługowych, jednakże z ekonomicznego punktu widzenia wydaje się to być niezasadne. Zatem należałoby zastanowić się czy nie można dokonać zmian w częstotliwości realizacji prac obsługowych.

Częstotliwość realizacji prac obsługowych determinowana jest liczbą godzin spędzonych przez WSP w powietrzu. Po każdym 100 godzinach nalotu samolot przekazywany jest do eskadry technicznej w której wykonywane są, zgodnie z przyjętą technologią, prace obsługowe. W trakcie tych prac realizowane są m.in. sprawdzenia wartości parametrów diagnostycznych wybranych urządzeń WSP. Przebieg realizacji tychże prac zawarty jest w dokumentacji technicznej, a zakres ich realizacji ustalany jest na podstawie uzyskanego wyniku kontroli parametrów diagnostycznych. Jeżeli następuje przekroczenie przez parametry diagnostyczne wartości dopuszczalnego błędu, przeprowadzana jest regulacja mająca na celu zniwelowanie zaistniałej odchyłki. Przytoczony tok postępowania jest słuszny, jednakże z ekonomicznego punktu widzenia obciążony jest ogólnymi kosztami związanymi z koniecznością rejestracji parametrów diagnostycznych, tj. m.in. niwelacją WSP, zasileniem urządzeń w materiały eksploatacyjne (np. azot) itp. elementy. Ponadto realizacja tychże prac jest niejednokrotnie czasochłonna.

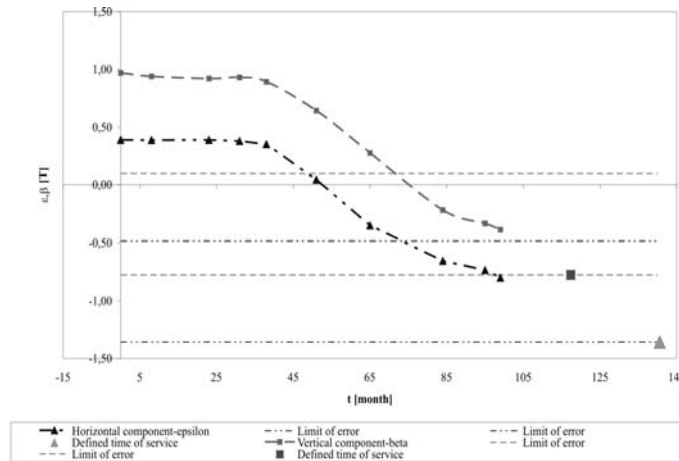
Rodzi się zatem pytanie czy zachodzi konieczność realizacji wszystkich prac zgodnie z wytycznymi przyjętymi w technologii. Udzielenie odpowiedzi wiąże się z analizą wartości parametrów diagnostycznych zarejestrowanych w trakcie trwania procesu eksploatacyjnego.

are “using up”. The counteraction to the unexpected and irrational “using up” of the aircraft parts can be reasonable scheduling and performing the military aircraft flights. This strategy allows provide appropriate flights regularity and maintain pilots’ qualifications and habits.

Above parameters are prevailing in the percentage amount of the military aircraft halt in the presented total scheme. There is no political and economical need and even possibility to change this stage of military aircraft maintenance strategy now. Withal should be noticed that the military aircraft in “halt” stage is still available. The standstill is the second in amount period of time as far as the total annual military aircraft maintenance scheme is concerned. This is a maintenance state when the military aircraft is in service. This state is mostly connected to the service personnel availability. Due to the safety and the high level of service, the work time of the service personnel is limited to the eight hours a day. It means that during the next sixteen hours the military aircraft is awaiting for service. This period of time involves the considerable scale of the standstill state. There could be more service personnel engaged in order to decrease standstill state scale but in the economical point of view it is not remunerative. It should be considered if the frequency of service could be altered.

The service frequency stemmed from the number of hours in the sky. After every 100 hours of flight the military aircraft is allocated to the technical squadron where the full service is performed. In service the levels of diagnostic parameters of specified aircraft devices are checked. The specification of this kind of service is described in the technical documentation. The range of service really need to perform is determine according to the diagnostic parameters check. If the levels of specified parameters exceed the specified limits of error the adjustment is performed. This procedure is correct but additional costs are generated. These costs come from the extra service actions necessary to check diagnostic parameters i.e. leveling of aircraft, maintenance fluids supply etc. Furthermore these actions performance is mostly time-consuming.

W tym celu analizie poddano parametry diagnostyczne głowicy celowniczej, będącej jednym z podstawowych urządzeń systemu nawigacyjno-celowniczego. Rejestrowane w procesie obsługi parametry diagnostyczne odnoszą się do znacznika celowniczego i określają jego położenie na reflektorze głowicy celowniczej poprzez parametry ε i β . Przedstawione na rys. 5 przebiegi, będące odzwierciedleniem wartości zarejestrowanych parametrów dla wybranego urządzenia, pokazują, że wraz z upływem czasu eksploatacji WSP następuje pogorszenie jakości parametrów diagnostycznych.



Rys. 5. Przebieg zmian położenia kontrolnego składowej pionowej i poziomej punktu centralnego ruchomego znacznika celowniczego w trakcie trwania procesu eksploatacyjnego

Fig. 5. Traces of the horizontal and vertical deviation of the aiming indicator during maintenance period

Jak widać na powyższym rys. nku nie istniała konieczność przeprowadzania prac obsługowych za każdym razem. A zatem czy można oszacować czas w którym należałoby dokonać sprawdzenia wartości parametrów diagnostycznych w celu określenia momentu przeprowadzenia regulacji badanych urządzeń WSP.

Naprzeciw tym oczekiwaniom wychodzi metoda wyznaczenia czasookresu przebywania wybranego urządzenia systemu nawigacyjno-celowniczego w systemie użytkowania [8]. Zakładając, że parametry diagnostyczne mogą przyjmować dowolne wartości ze zdefiniowanej przestrzeni stanu, można dokonać ich opisu przy pomocy funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu normalnego $u(z,y,t)$. Dokonując zamiany zmiennych i określonych przekształceń wyznaczono funkcję:

$$u(z_*, y_*, t) = \frac{1}{2p\sqrt{a_1 t a_2 t}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_*^2}{a_1 t} + \frac{y_*^2}{a_2 t} \right)} \quad (1)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} z_* &= z - b_1 t, \\ y_* &= y - b_2 t, \end{aligned} \quad (2)$$

z, y - zmienne losowe parametrów diagnostycznych, $b_1 t, b_2 t$ - wartość średnia przyrostu odchyłek parametrów diagnostycznych w przedziale czasu $(0, t)$, $a_1 t, a_2 t$ - wariancja przyrostu odchyłek parametrów diagnostycznych zależna od czasu.

Powyzsza funkcja $u(z_*, y_*, t)$ przyjmuje stała wartość, gdy:

$$\frac{z_*^2}{a_1 t} + \frac{y_*^2}{a_2 t} = k^2 \quad (3)$$

The question is if the all service actions have to be performing according to service book. To answer this question the analysis of diagnostic parameters was realized during the aircraft maintenance process.

In this survey the parameters of the aiming head was tested. The aiming head is one of main devices in the navigation-aiming system. Registered diagnostic parameters during maintenance process are the parameters of the aiming indicator and specify position of indicator on the aiming head reflector by ε and β parameters. Fig. 5 presents the traces of the diagnostic pa-

rameters in aircraft maintenance period. It shows the diagnostic parameters levels decrease in time.

As the figure above shows, there was not necessary to perform service actions every time. It means that it is possible to estimate time when service action should be performed and diagnostic parameters should be checked to determine a time when adjustment of the specified aircraft devices is required. This estimation can be executed with the aid of the method of determining the time concerning the operation of an aiming head in the operation system [8]. Assuming that diagnostic parameters value can be various in defined state space. Parameters can be described by the density of probability of Gaussian distribution $u(z,y,t)$. After the variables replacement and specified transformations the function was defined:

$$u(z_*, y_*, t) = \frac{1}{2p\sqrt{a_1 t a_2 t}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_*^2}{a_1 t} + \frac{y_*^2}{a_2 t} \right)} \quad (1)$$

where:

$$\begin{aligned} z_* &= z - b_1 t, \\ y_* &= y - b_2 t, \end{aligned} \quad (2)$$

z, y - random variables of diagnostic parameters, $b_1 t, b_2 t$ - an average value of the growth in deviation of diagnostic parameters over the range of time $(0, t)$, $a_1 t, a_2 t$ - the variation of the growth in deviation of diagnostic parameters (depending on time).

The above function $u(z_*, y_*, t)$ is constant if:

$$\frac{z_*^2}{a_1 t} + \frac{y_*^2}{a_2 t} = k^2 \quad (3)$$

Równanie (3) opisuje elipsę rozrzutu, której pole oznaczone zostało przez S_k . Zatem, prawdopodobieństwo tego, że $(z_*, y_*) \in S_k$ można określić rozwiązując równanie:

$$P((z_*, y_*) \in S_k) = \iint_{S_k} \frac{1}{2p\sqrt{a_1t}\sqrt{a_2t}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z_*^2}{a_1t} + \frac{y_*^2}{a_2t}\right)} dz_* dy_* \quad (4)$$

Dokonując:

- zamiany zmiennych: z_* na $m = \frac{z_*}{\sqrt{a_1t}}$ i y_* na $n = \frac{y_*}{\sqrt{a_2t}}$ (wówczas $\mu^2 + \nu^2 = \kappa^2 = r^2$);
- przejścia na współrzędne biegunowe: $\mu = \rho \cos \varphi$, $\nu = \rho \sin \varphi$ oraz

- obliczenia całek: $\frac{1}{2p} \int_0^{2p} dj$ i $\int_0^k e^{-\frac{1}{2}r^2} r dr$

otrzymano zależność:

$$P((z_*, y_*) \in S_k) = 1 - e^{-\frac{\kappa^2}{2}} \quad (5)$$

Przyjmując, że $\sqrt{a_1t} = \sqrt{a_2t} = \sqrt{at}$, wówczas elipsa rozrzutu przekształca się w okrąg, którego promień wynosi:

$$r = k\sqrt{at} \quad k = \frac{r}{\sqrt{at}} \quad (6)$$

Dokonując podstawienia powyższej zależności do równania (5) otrzymano:

$$P((z_*, y_*) \in C_k) = 1 - e^{-\frac{r^2}{2at}} \quad (7)$$

gdzie: r - dopuszczalna wartość promienia okręgu, którego przekroczenie przez zmienną losową powoduje utratę parametrów nominalnych pracy urządzenia; \sqrt{at} - jest odchyleniem standardowym; $P^*((z_*, y_*) \in C_k)$ - założone prawdopodobieństwo z jakim chcemy aby parametr użytkowy nie przekroczył wartości r .

W oparciu o powyższą zależność można wyznaczyć wzór na wartość czasu po którym nastąpi przekroczenie przez urządzenie dopuszczalnych wartości błędu granicznego:

$$t^* = \frac{r^2}{2a \ln P^*} \quad (8)$$

Przedstawioną metodę zweryfikowano na przykładzie przedstawionym na rys. 5. Dla powyższych danych dla parametru ε czas użytkowania wyniósł $t_\varepsilon=42$ miesiące, natomiast dla parametru $\beta - t_\beta=18$ miesięcy. Tak więc w oparciu o przedstawioną metodę, proces kontroli parametrów diagnostycznych i ewentualne wprowadzenie poprawek niwelujących występujący błąd powinien być przeprowadzony przed upływem 18 miesięcy od daty ostatniego sprawdzenia.

4. Wnioski

Podstawowymi kryteriami stawianymi urządzeniom przeznaczonym do eksploatacji w lotnictwie jest niezawodność i bezpieczeństwo. Wynika to przede wszystkim ze specyfiki ich zastosowania. W odniesieniu do techniki wojskowej powyższe wskaźniki zostają rozbudowane jeszcze o trzeci element związany ze skutecznością. Utrzymanie tychże wskaźników na właściwym poziomie pozwala na bezpieczną i efektywną eksploatację WSP. Obecnie należy uwzględnić jeszcze jeden aspekt analizy eksploatacyjnej obiektów technicznych – aspekt

The equation (3) describes the ellipse of dispersion. S_k - the field of the ellipse. So, the probability that $(z_*, y_*) \in S_k$ can be determined by solving the following equation:

$$P((z_*, y_*) \in S_k) = \iint_{S_k} \frac{1}{2p\sqrt{a_1t}\sqrt{a_2t}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z_*^2}{a_1t} + \frac{y_*^2}{a_2t}\right)} dz_* dy_* \quad (4)$$

After:

- changing variables z_* into $m = \frac{z_*}{\sqrt{a_1t}}$ and y_* into $n = \frac{y_*}{\sqrt{a_2t}}$ (Then $\mu^2 + \nu^2 = \kappa^2 = r^2$);
- polar coordinates introducing;

- calculating integrals: $\frac{1}{2p} \int_0^{2p} dj$ and $\int_0^k e^{-\frac{1}{2}r^2} r dr$

thus:

$$P((z_*, y_*) \in S_k) = 1 - e^{-\frac{\kappa^2}{2}} \quad (5)$$

Providing that $\sqrt{a_1t} = \sqrt{a_2t} = \sqrt{at}$, then the ellipse of dispersion changes into the circle whose radius is:

$$r = k\sqrt{at} \quad k = \frac{r}{\sqrt{at}} \quad (6)$$

Inserting the above dependence into the equation the following result was obtained:

$$P((z_*, y_*) \in C_k) = 1 - e^{-\frac{r^2}{2at}} \quad (7)$$

where: \sqrt{at} - a standard deviation, r - a permissible value of the circle radius; if a random variable exceeds it, nominal parameters are lost; $P^*((z_*, y_*) \in C_k)$ - an assumed probability in the case of which an operational parameter shall not exceed the value r .

Using the above equation, dependences concerning the time were determined (the time after which a device will exceed permissible values of the error limit):

$$t^* = \frac{r^2}{2a \ln P^*} \quad (8)$$

Presented method was verified with data introduced on figure 5. For the above data and considering parameter ε the mean time between failure was defined $t_\varepsilon=42$ months and considering parameter $\beta - t_\beta=18$ months. Then, basing on the presented method, the diagnostic parameters analysis and actually device adjustments have to be performed earlier than 18 month after last check.

5. Conclusions

The main coefficients for devices in airspace industry are reliability and safety. It stem from specific environment the devices are being use. As far as military technology is concerned the above coefficients are enriched with another one – the effectiveness. Maintaining coefficients on the proper level allows use the military aircraft in save and efficient way. At the present time one more coefficient should be taken under consideration – economic coefficient. After political transformation in Poland this is substantial aspect also in Polish Forces. There are perceptible milita-

ekonomiczny. Po dokonanych zmianach ustrojowych w Polsce, również w Siłach Zbrojnych zaczęto brać pod uwagę jego znaczenie dając temu wyraz w trakcie prac nad budżetem. Z tego też względu wszelkie działania pozwalające na właściwe i racjonalne planowanie obciążeń finansowych są zasadne i wydają się być potrzebne.

Przedstawiona w niniejszym artykule analiza ukazuje w głównej mierze dwa aspekty, tj.:

- 1) obszary stanowiące podłoże do prac mających na celu zminimalizowanie niewłaściwe wykorzystanie sprzętu technicznego (w przedstawionym przykładzie wojskowego statku powietrznego);
- 2) praktyczną implementację metody określania czasu przebywania wybranego urządzenia, którego stan techniczny określany jest za pomocą parametrów diagnostycznych, w systemie użytkowania.

Jako przykład zastosowania przedstawionej metody wykorzystano głowicę celowniczą wchodzącą w skład systemu nawigacyjno-celowniczego. W identyczny sposób można analizować proces eksploatacyjnych innych elementów systemu nawigacyjno-celowniczego, których parametry diagnostyczne sprawdzane są w ramach prac obsługowych, tj. np. dla dalmierza laserowego czy też nadajnika kątów natarcia i ślizgu. Próba włączenia przedstawionej metody do systemu obsługi mogłaby w znaczący sposób skrócić czas przestoju WSP, co pozwala na uzyskanie wymiernych efektów w postaci:

- wzrostu wartości czasu przebywania WSP w stanie zdalnym do użycia, zapewniając w ten sposób wysoką gotowość bojową jednostek;
- obniżenie kosztów związanych z realizacją prac obsługowych.

Z uwagi na powyższe wydają się za zasadne prowadzenie prac mających na celu usprawnienie procesu eksploatacyjnego obiektów technicznych – w tym również WSP.

5. References

- [1] Downarowicz O.: *System eksploatacji. Zarządzanie zasobami techniki*. WITE, Gdańsk-Radom 1997.
- [2] Fisz M.: *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958.
- [3] Lewitowicz J., Kustron K.: *Podstawy eksploatacji statków powietrznych cz. I*. Wydawnictwo ITWL, Warszawa 2001.
- [4] Olearczuk E., Sikorski M., Tomaszek H.: *Eksploatacja samolotów (elementy teorii)*. Wydawnictwo MON, Warszawa 1978.
- [5] *Samolot Su-22M4. Książka 7. Uzbrojenie cz. VII. Technologia obsługi okresowych*. Dowództwo Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej, Poznań 1986.
- [6] Skomra A., Tomaszek H., Wróblewski M.: *Charakterystyki taktyczno-techniczne i skuteczność lotniczych środków bojowych*. Skrypt WAT, Warszawa 1999.
- [7] Ważny M.: *Badanie eksploatacyjnych przyczyn rozrzutu wybranych środków bojowych i ich wpływu na skuteczność systemów uzbrojenia lotniczego*. WAT, Warszawa 2003.
- [8] Ważny M.: *Metoda wyznaczania czasookresu przebywania wybranego urządzenia systemu nawigacyjno-celowniczego w systemie użytkowania*. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, Nr 2/2008, Lublin 2008.
- [9] www.airliners.net

ry budget constraints. Therefore, every modernization which facilitates the costs reduction seems to be sensible and necessary.

The above analysis shows two main aspects:

- 1) The areas where the improperly designed schedule not allows to take full advantage from equipment (e.g. military aircraft)
- 2) Practical implementation of the method of determining the time concerning the operation of a device in the operation system.

An example for this method was the aiming head which is part of the complex navigation-aiming system. In the same way another parts of navigation-aiming system can be checked. The diagnostic parameters from the device must be checked during maintenance services i.e. laser range finder, angle of attack sensor etc. Integrating described method in the maintenance strategy allows obtaining significant effects:

- increase of the military aircraft utility availability period and the mission readiness period;
- decrease the costs level – less service actions in maintenance process.

To sum up, it is reasonable performing integration and development of the maintenance process for the technical objects, especially for the military aircraft.

Dr inż. Mariusz WAŻNY
Mgr inż. Konrad WOJTCWICZ

Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Mechatroniki
ul. Kaliskiego 2
00-908 Warszawa 49
tel. (0-22) 6837947, (0-22) 6839851
faks (0-22) 6857581, (0-22) 6857581
e-mail: mwazny@wp.pl
