

Jerzy Lewitowicz, Andrzej Szelmanowski, Andrzej Pazur, Paweł Janik

Komputerowy system zarządzania niezawodnością i gotowością operacyjną zintegrowanego systemu łączności dla śmigłowców wojskowych

JEL: L93 DOI: 10.24136/atest.2019.055

Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W artykule przedstawiono wybrane wyniki prac analitycznych realizowanych w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych (ITWL) w zakresie możliwości komputerowego systemu ewidencji danych, zbudowanego w Zakładzie Awioniki ITWL, wykorzystywanego m.in. do zarządzania niezawodnością i gotowością operacyjną zintegrowanego systemu łączności ZSŁ. Wykazano, że dane zgromadzone w bazie mogą być wykorzystane do wyznaczania i oceny parametrów eksploatacyjnych, w tym oceny niezawodności i gotowości operacyjnej, co jest jednym z niezbędnych elementów pozwalających na efektywną eksploatację systemu ZSŁ, który zabudowany jest na śmigłowcach wojskowych w Siłach Zbrojnych RP.

Słowa kluczowe: zintegrowane systemy łączności, gotowość operacyjna.

Wstęp

W polskim lotnictwie wojskowym, w warunkach pokoju, priorytetem jest bezwzględne zapewnienie bezpieczeństwa lotów, przy rezygnacji z realizacji operacji lotniczych przy wykorzystaniu niesprawnego statku powietrznego (SP). Podjęcie realizacji tych zadań jest możliwe, gdy SP zostanie usprawniony i doprowadzony do stanu zdatności do lotu. W sytuacjach bezpośredniego zagrożenia życia, może wystąpić potrzeba użycia śmigłowca wojskowego z wyposażeniem niezdatnym do realizacji danego zadania, zawierającym nieprawności, w urządzeniach pokładowych, które nie wpływają bezpośrednio na bezpieczeństwo lotu i nie będą wykorzystywane w czasie wykonywania danego zadania.

Przykładem tego są misje poszukiwawczo-ratownicze (SAR–Search and Rescue) oraz poszukiwawczo-ratownictwo w warunkach bojowych (CSAR–Combat Search and Rescue). Sytuacja taka, może dotyczyć systemów pokładowych o wielu stanach zdatności cząstkowej, wykorzystujących urządzenia składowe, uczestniczące w wybranych trybach pracy systemu, zależnych od rodzaju wykonywanego zadania.

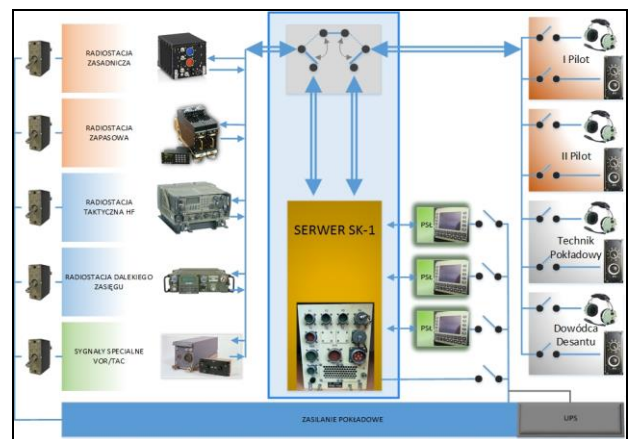
Gotowość SP to właściwość charakteryzująca zdatność do podjęcia zadania lotniczego natychmiast bądź w zadanym czasie z prognozą pomyślnego jego wykonania w przedziale czasu. Śmigłowce wojskowe mogą wykonywać różne operacje lotnicze i znajdować się w jednym z wybranych stanów niezawodnościowych (zdatności, niezdatności, zdatności częściowej) oraz eksploatacyjnych tj. (pełnienie dyżuru bojowego, obsłudze, odnowie, diagnozowaniu itp.) Odpowiedni stan techniczny danego SP jest warunkiem niewystarczającym do wykonania ww. zadań. Warunkiem wykonania zadania lotniczego niezbędne jest zrealizowanie przedsięwzięć logistycznych zapewniających warunek gotowości. Gotowość zatem rozpatrywana jest w trzech aspektach jako: gotowość początkowa, gotowość techniczna i gotowość operacyjna [1, 2, 3].

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych (ITWL) jako pierwszy w kraju opracował i zbudował Zintegrowany System Łączności (ZSŁ) dla polskich śmigłowców wojskowych oraz podjął działania mające na celu opracowania komputerowego systemu zarządzania jego niezawodnością i gotowością operacyjną.

1. Architektura i funkcje komputerowego systemu zarządzania niezawodnością i gotowością operacyjną systemu ZSŁ

Zintegrowany system łączności przeznaczony jest do zapewnienia komunikacji zewnętrznej z abonentami poza śmigłowcem (kontrola ruchu lotniczego, stanowiska dowodzenia, pododdziały wojsk, inne statki powietrzne) oraz komunikacji wewnętrznej na pokładzie śmigłowca pomiędzy członkami załogi, a przedziałem desantowym. Głównym elementem systemu jest serwer komunikacyjny, który zapewnia nadzór i zarządza pokładową siecią łączności radiowej. Zapewnia łączność oraz sterowanie parametrami poszczególnych radiostacji pokładowych za pomocą pulpitu sterowania łącznością w zależności od typu śmigłowca wojskowego [3].

Dostarcza załodze śmigłowca sygnały specjalne, w tym odłączalne sygnały nawigacyjne i nieodłączalne–ostrzegawcze. Połączenia realizowane są z wyznaczonych stanowisk łączności bez konieczności zamiany zestawu słuchawkowo mikrofonowego, niezależnie od rodzaju prowadzonej łączności radiowej. W skład systemu łączności wewnętrznej wchodzi stanowiska łączności wyposażone w tabliczki abonenckie (rys. 1).

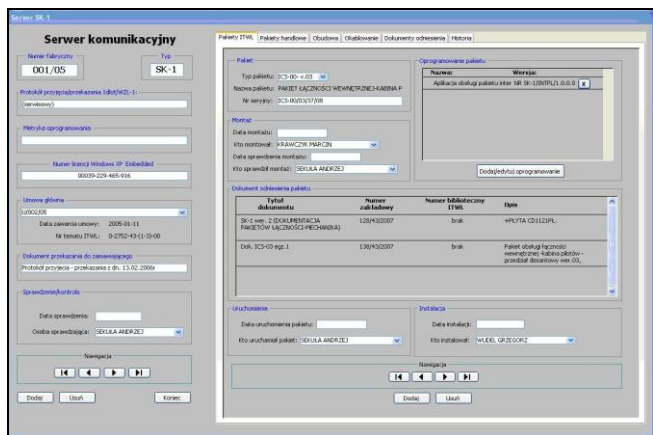


Rys. 1. Architektura Zintegrowanego systemu Łączności (ZSŁ)

Do gromadzenia szczegółowych danych i określania wartości wybranych parametrów eksploatacyjnych w zakresie zintegrowanego systemu łączności (ZSŁ) na śmigłowcach wojskowych Mi8/Mi17/Mi24 oraz W3PL) opracowano i zbudowano system komputerowy w postaci bazy danych (rys. 2). Baza danych systemu ZSŁ z chwilą dostarczenia urządzeń do ITWL jest systematycznie uaktualniana o informacje dotyczące m.in. nalotu (praca poszczególnych urządzeń), daty wykonania obsługi serwisowych, napraw, a także opisów uszkodzeń systemu. Dane eksploatacyjne pozyskiwane są z jednostek lotniczych (JW) użytkujących śmigłowce z system ZSŁ i dostarczane wraz z protokołami technicznymi oraz metrykami sprzętu lotniczego [3, 5, 6, 7].

Baza daje możliwość wykorzystania danych do wyznaczania i oceny parametrów eksploatacyjnych, w tym niezawodności oraz gotowości operacyjnej poszczególnych elementów systemu ZSŁ.

Moduł bazy danych ZSŁ oraz wprowadzanie danych do systemu dla serwera komunikacyjnego SK-1 przedstawiono na (rys. 3).



Rys. 3. Widok architektury komputerowego zarządzania bazą danych systemu ZSŁ

1.1. Architektura i skład komputerowego systemu zarządzania

Dane gromadzone w systemie SI ZSŁ wprowadzane są z dwóch źródeł, tj.: Administratora banku danych (Zakład Awioniki) i Użytkownika (Jednostki Wojskowej). W systemie zbierane są dane ewidencyjno-eksploatacyjne śmigłowców, które eksploatują Zintegrowany System Łączności wraz z ich rotacją np. miejsce eksploatacji serwera komunikacyjnego, data rozpoczęcia eksploatacji, data zakończenia eksploatacji, czas pracy (rys. 4).

Przedmiotem analiz jest stan techniczny oraz praca poszczególnych egzemplarzy np. serwera komunikacyjnego, typu statku powietrznego na którym był eksploatowany, praca liczona w godzinach lotu, dane o obsłudze, uszkodzeniach, oraz informacje o stanie realizacji biuletynów eksploatacyjnych, konstrukcyjnych, informacyjnych stanowiących zbiór informacji lotniczych, technicznych włącznie ze zmianami do ich zapisów. Dotyczy to również kart pracy i wykonania obsługi z podziałem na poszczególne lata w celu określenia stanów eksploatacyjnych każdego egzemplarza w każdym dniu kalendarzowym [2, 4].

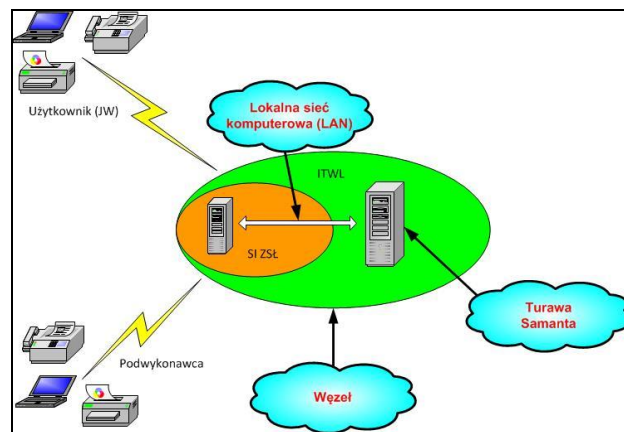
Lp.	Miejsce eksploatacji	Data rozpocz. eksploat.	Data zakończ. eksploat.	Czas pracy	Podpis osoby dok. wpsu	
8.	M: 2 10642	24.10.15	02.05.16	32,30	346,50	[Signature]
9.	M: 2 10652	05.05.16	01.06.16	27,10	346,50	[Signature]
10.			01.06.16			
11.	M: 8 A0 652	11.02.15	23.06.16	182,06	528,56	[Signature]
12.	M: 7 604	03.11.15	2017-03-01	0	528,56	[Signature]

Wypełnia uprawniony do wykonywania prac na obiekcie.

Rys. 4. Widok metryki sprzętu lotniczego

System SI ZSŁ funkcjonuje w sieci komputerowej. Zaprojektowano go wg architektury dwuwarstwowej (rys. 5), w której można wyróżnić: warstwę aplikacji, którą stanowi serwer zawierający logikę systemu oraz warstwę bazy danych, realizowaną za pomocą serwera (komputer) bazy danych przechowującego zarejestrowane dane. Elementy systemu informatycznego zarządzania to hardware-sprzęt techniczny, software- oprogramowanie oraz baza danych-zbiór danych systemu ZSŁ, która pozwala na zaspokojenie potrzeb jednego lub więcej użytkowników bez uprzedniego sortowania potrzebnych do udzielenia informacji, telekomunikacja- organizacja, sprzęt i oprogramowanie umożliwiające wspólną pracę dwu lub

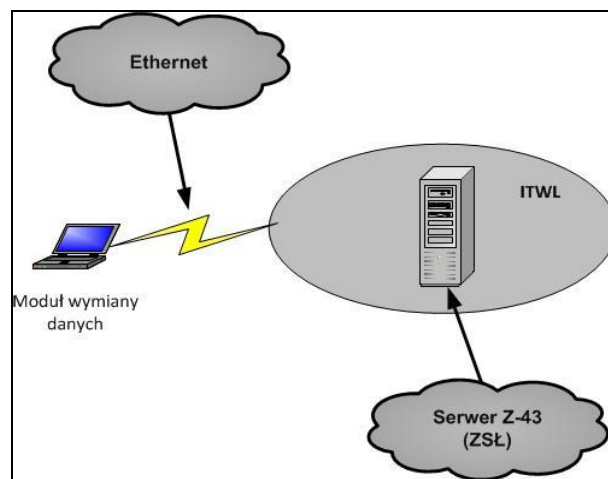
wielu komputerów, bądź jednego komputera z terminalami i końcówkami, personel, którym zarządzają, projektują, programują, eksploatują i konserwują system oraz organizacja-sprawa, że poszczególne elementy systemu stanowią całość. Baza danych może stanowić oddzielny moduł składowy w komponowany w system SI TURAWA, który zapewnia racjonalne sterowanie bezpieczeństwem lotów poprzez połączenie poszczególnych użytkowników w jeden spójny system pracujący w sieci komputerowej [9].



Rys. 5. Widok architektury komputerowego systemu zarządzania bazą danych systemu SI ZSŁ

1.2. Funkcje i zadania w komputerowym systemie zarządzania

Komputerowy system zarządzania ZSŁ to system, w którym funkcje zarządzania polegają na gromadzeniu i przetwarzaniu danych oraz wyznaczaniu decyzji, które realizowane są za pomocą komputera znajdującego się w Zakładzie Awioniki ITWL (rys. 6).



Rys. 6. Widok komputerowego systemu zarządzania bazą danych systemu ZSŁ w Zakładzie Awioniki

Dane mogą stać się informacją poprzez proces przetwarzania, który zawiera klasyfikację danych systemu ZSŁ, porządkowanie/sortowanie danych, zestawienie/agregację danych, wykorzystanie parametrów urządzeń ZSŁ do obliczeń, selekcję/wyбір danego parametru. Zbieranie danych systemu ZSŁ, pozwala nam na uzyskanie danych po ich przetworzeniu. Dzięki temu z informacji nabywamy wiedzę na temat całego systemu ZSŁ znajdującego się od początku eksploatacji na, który zbieraliśmy dane. To pozwala nam na podjęcie odpowiednich decyzji np. przy uszkodzeniach i zastosowania profilaktyki. Wartość pozyskanych informacji od Użytkowników eksploatujący system ZSŁ, zależy przede wszystkim od istotności, aktualności i ich dokładności zapisów parametrów urządzeń w metrykach sprzętu lotniczego [7].

Podstawowymi funkcjami komputerowego zarządzania bazą danych systemu ZSŁ jest gromadzenie informacji, przetwarzanie informacji, przechowywanie informacji i ich prezentowanie, które polega na dostarczeniu Użytkownikom niezbędnych informacji wynikowych w wymaganych przez nich terminach, miejscu, zakresie, postaci czy stopniu szczegółowości, dlatego nazywane jest wyjściem systemu informatycznego.

2. Dane wejściowe w komputerowym systemie zarządzania niezawodnością i gotowością operacyjną systemu ZSŁ

Do wyznaczania danych wchodzących w zależności opisujące gotowość operacyjną serwera komunikacyjnego SK-1 wykorzystano informacje zgromadzone w komputerowym systemie zarządzania [2, 4, 9]. Dane wejściowe do modelowania, wprowadzane do zależności matematycznych (1) i (2) opisujących gotowość operacyjną serwera, zostały wyznaczone z archiwizowanych informacji o danych rozpoczęcia i zakończenia serwisowania i naprawy oraz rodzaju uszkodzenia i sposobie naprawy.

$$G_F(t) = K_G(t) = \frac{E[T_Z(t)]}{E[T_Z(t)] + E[T_N(t)]} \quad (1)$$

gdzie:

$E[T_Z(t)]$ - wartość oczekiwana zmiennej losowej czasu zdadności serwera komunikacyjnego;

$E[T_N(t)]$ - wartość oczekiwana zmiennej losowej czasu niezdatności serwera komunikacyjnego.

Gotowość operacyjną serwera komunikacyjnego można wyznaczyć z zależności określającej jego funkcję niezawodności (2):

$$G_Z(\tau) = R_Z(\tau) = \frac{N - M(\tau)}{N} \quad (2)$$

gdzie:

$R_Z(\tau)$ - funkcja niezawodności serwera komunikacyjnego;

N - liczba wszystkich przejść serwera komunikacyjnego pomiędzy stanami eksploatacyjnymi;

$M(\tau)$ - liczba przejść serwera SK-1 do stanów niezdatności (obsługa, naprawa, serwis).

Posiadane w Zakładzie Awioniki ITWL dane nie obejmują całości czasów przebywania serwera komunikacyjnego w poszczególnych stanach eksploatacyjnych, stąd wykorzystanie tych danych wymaga innego podejścia niż przedstawione wyżej.

Do określenia współczynników charakteryzujących gotowość operacyjną serwera SK-1 wykorzystano model probabilistyczny ze stanami eksploatacyjnymi opisanymi łańcuchem semi-Markowa, charakteryzującym częstości przejść między stanami i pozwalającym wyznaczyć prawdopodobieństwa przejść między stanami [8].

2.1. Czasy przebywania w wybranych stanach eksploatacyjnych

Do analizy procesu eksploatacji serwera komunikacyjnego jako głównego elementu systemu ZSŁ, wybrano modelowanie według metody łańcuchów Markowa (z rozszerzeniem na łańcuchy semi-Markowa dla procesów charakteryzowanych przez czasy pozostawania serwera w poszczególnych stanach eksploatacyjnych o rozkładzie innym niż wykładniczy). Takie podejście pozwoliło na otrzymanie w miarę prostych zależności określających prawdopodobieństwa przejść i prawdopodobieństwa graniczne przebywania w poszczególnych stanach eksploatacyjnych, niezbędne do wyznaczania współczynników określających gotowość zadaniową [2, 10, 11].

W celu realizacji modelu opisano stany eksploatacji serwera komunikacyjnego wchodzącego w skład systemu ZSŁ oraz prawdopodobieństwa jego przebywania w tych stanach. Z uwagi na specyfikę pracy serwera, zabudowanego na pokładzie śmigłowca wojskowego, do opisu wybrano 5 podstawowych stanów eksploatacyjnych.

Tab. 1. Oznaczenia 5 podstawowych stanów eksploatacyjnych [4]

Oznaczenie	Rodzaj	Warunek	Schemat przejść serwera komunikacyjnego między stanami
S1	Użytkowanie	w locie	przejście tylko do stanu Obsługi S4 i serwisowania S5
S2	Dyżurowanie	na ziemi	przejście tylko do stanu Użytkowania S1 lub obsługi S4
S3	Naprawa	w warunkach ITWL	przejście tylko do stanu obsługi S4
S4	Obsługa	w warunkach JW	przejście tylko do stanu Użytkowania S1, Dyżurowania S2 lub Naprawy S3
S5	Serwisowanie	w warunkach ITWL	przejście tylko do stanu obsługi S4

2.2. Liczby przejść między wybranymi stanami eksploatacyjnymi

Dla poszczególnych stanów eksploatacyjnych serwera komunikacyjnego wyznaczono z danych wartości prawdopodobieństw przejść oznaczonych jako p_{ij} między wybranymi stanami co w praktyce można wyznaczyć korzystając z zależności (3):

$$p_{ij}(t) = \frac{n_{ij}(t)}{n_i(t)} \quad (3)$$

gdzie:

$n_{ij}(t)$ - liczba przejść ze stanu początkowego S_i do stanu S_j w badanym okresie czasu;

$n_i(t)$ - liczba wszystkich przejść ze stanu początkowego S_i w badanym okresie czasu.

3. Dane wyjściowe w komputerowym systemie zarządzania niezawodnością i gotowością operacyjną systemu ZSŁ

Na bazie posiadanych danych eksploatacyjnych systemu ZSŁ określono wybrane współczynniki, charakteryzujące gotowość operacyjną, przy wykorzystaniu zależności (4) oraz (5) i (6).

Gotowości operacyjną serwera komunikacyjnego można przedstawić w następującej postaci [1, 2, 8, 11]:

$$G_O(t, \tau) = G_F(t) \cdot G_Z(\tau) \quad (4)$$

gdzie:

$G_F(t)$ - gotowość funkcjonalna serwera komunikacyjnego, opisywana przez prawdopodobieństwo $P_F(t)$ znajdowania się serwera komunikacyjnego w stanie zdadności funkcjonalnej;

$G_Z(\tau)$ - gotowość zadaniowa serwera komunikacyjnego, opisywana przez prawdopodobieństwo $P_Z(\tau)$ znajdowania się serwera komunikacyjnego w stanie zdadności zadaniowej.

Chwilową wartość współczynnika gotowości funkcjonalnej serwera komunikacyjnego można wyznaczyć z następującej zależności:

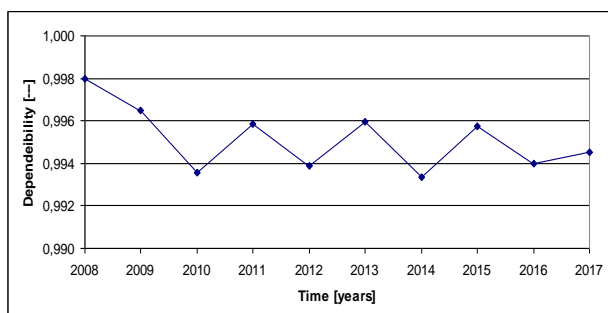
$$K_G(t) = \frac{p_1(t) + p_2(t)}{\sum_{j=1}^{j=5} p_j(t)} \quad (5)$$

gdzie:

$p_1(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania serwera komunikacyjnego w stanie użytkowania S1;

$p_2(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania serwera komunikacyjnego w stanie dyżurowania S2.

Dokonano weryfikacji stabilności modelu dla rzeczywistych danych obejmujących proces eksploatacji serwera komunikacyjnego. Do badania stabilności wykorzystano standardowy pakiet obliczeniowy Excel (rys. 6).



Rys. 6. Proces eksploatacji serwera komunikacyjnego

Niska wartość tak wyznaczonej gotowości operacyjnej serwera komunikacyjnego wynika z uwzględnienia tylko liczby przejść między stanami, bez oszacowania czasów jego przebywania w tych stanach.

3.1. Niezawodność wybranych elementów systemu ZSŁ

Chwilową wartość gotowości zadaniowej serwera komunikacyjnego można wyznaczyć przy wykorzystaniu funkcji niezawodności z następującej zależności [1, 4, 8, 11]:

$$G_Z(\tau) = R_Z(\tau) = \exp \left[- \int_{t=0}^{t=t_0+\tau} \lambda(t) dt \right] \quad (6)$$

gdzie:

$R_Z(\tau)$ - funkcja niezawodności serwera komunikacyjnego w przedziale czasu o długości τ nie krótszym niż czas potrzebny na realizację zadania;

$\lambda(t)$ - wartość intensywności uszkodzeń serwera komunikacyjnego.

3.2. Gotowość operacyjna wybranych elementów systemu ZSŁ

Na podstawie powyższego gotowość operacyjna systemu ZSŁ może być wyznaczona w postaci:

$$G(t, \tau) = K_g(t) \cdot R(\tau) = \frac{p_Z(t)}{p_Z(t) + p_N(t)} \cdot e^{-\lambda \cdot \tau} \quad (7)$$

Dla wyznaczonych na podstawie analizy danych zgromadzonych w systemie informatycznym SI ZSŁ, dla eksploatowanego ZSŁ na śmigłowcach Mi8/Mi17/Mi24, analizowanego jako zbiór połączonych szeregowo w łańcuchu niezawodnościowym trzech elementów składowych (serwera, radiostacji i tzw. rdzenia systemu obejmują-

cego pozostałe urządzenia m.in. pulpity sterowania łącznością, słuchawki, mikrofony, tabliczki abonenckie) przyjęto:

Współczynnik gotowości funkcjonalnej systemu w stanie zdatności pełnej wynosi: $K_g = 0,900$;

Współczynnik funkcji niezawodności systemu w stanie zdatności pełnej wynosi: $R(\tau) = 0,729$, stąd wyliczona gotowość operacyjna wynosi (8):

$$G(t, \tau) = K_g(t) \cdot R(\tau) = 0,900 \cdot 0,729 = 0,656 \quad (8)$$

Wyznaczona w powyższy sposób gotowość operacyjna systemu lub urządzenia o jednym stanie zdatności określa prawdopodobieństwo zdarzenia, że system ZSŁ będzie zdalny w wybranej chwili czasu t oraz że, zdalność utrzyma podczas realizacji zadania o wybranym przedziale czasu τ .

Nowe miary dotyczą opisu systemu lub urządzenia złożonego z wielu elementów, które oprócz stanu zdatności pełnej, gdzie wszystkie jego elementy są sprawne, może przebywać w jednym ze stanów o zdatności obniżonej, umożliwiającej realizację wybranych zadań, dla których nie jest wymagane aby wszystkie elementy systemu były w stanie jego zdatności podczas lotu.

Dla systemu lub urządzenia złożonego z wielu elementów o wielu stanach zdatności tj. zdalność pełna i obniżona, współczynnik gotowości funkcjonalnej, może być określony w postaci prawdopodobieństwa lub czasu przebywania w stanie zdatności w odniesieniu do łącznego prawdopodobieństwa lub czasu przebywania systemu w stanach zdalności i niezdalności (9):

$$K_g(t) = \frac{\sum_{i=1}^{i=M} p_{Zi}(t)}{\sum_{i=1}^{i=M} p_{Zi}(t) + \sum_{i=1}^{i=M} p_{Ni}(t)} \quad \text{lub} \quad K_g(t) = \frac{\sum_{i=1}^{i=M} T_{Zi}(t)}{\sum_{i=1}^{i=M} T_{Zi}(t) + \sum_{i=1}^{i=M} T_{Ni}(t)} \quad (9)$$

gdzie:

$\sum_{i=1}^{i=M} p_{Zi}(t)$ - suma prawdopodobieństw przebywania systemu w

stanach zdalności pełnej i obniżonej w wybranej chwili czasu t ;

$\sum_{i=1}^{i=M} p_{Ni}(t)$ - suma prawdopodobieństw przebywania systemu w

stanach niezdalności w wybranej chwili czasu t ;

$\sum_{i=1}^{i=M} T_{Zi}(t)$ - suma średnich czasów przebywania systemu w sta-

nach zdalności pełnej i obniżonej do wybranej chwili czasu t ;

$\sum_{i=1}^{i=M} T_{Ni}(t)$ - suma prawdopodobieństw przebywania systemu w

stanach niezdalności do wybranej chwili czasu t .

Na podstawie analizy powyższej zależności można stwierdzić, że współczynnik gotowości dla systemu lub urządzenia złożonego z wielu elementów o wielu stanach zdalności tj. zdalność pełna i obniżona, może być przedstawiony jako suma współczynników składowych:

$$K_g(t) = K_{g1}(t) + K_{g2}(t) + \dots + K_{gM}(t) \quad (10)$$

gdzie:

$K_{1g}(t)$ - współczynnik gotowości systemu przebywającego w 1-szym stanie zdalności (zdalność pełna);

$K_{2g}(t)$ - współczynnik gotowości systemu przebywającego w 2-gim stanie zdalności (zdalność obniżona);

$K_{gM}(t)$ - współczynnik gotowości systemu przebywającego w M -tym stanie zdatności (zdatność obniżona).

$$K_g(t) = \sum_{i=1}^{i=M} K_{gi}(t) \quad (11)$$

Dla uwypuklenia znaczenia wydzielonych stanów zdatności, współczynnik gotowości operacyjnej można przedstawić w postaci zależnej od wagi współczynnika gotowości operacyjnej cząstkowej:

$$K_g^*(t) = W_1 \cdot K_{g1}(t) + W_2 \cdot K_{g2}(t) + \dots + W_M \cdot K_{gM}(t) \quad (12)$$

gdzie:

W_1 - waga współczynnika gotowości systemu przebywającego w 1-szym stanie zdatności (zdatność pełna);

W_2 - waga współczynnika gotowości systemu przebywającego w 2-gim stanie zdatności (zdatności obniżonej);

W_M - waga współczynnika gotowości systemu przebywającego w M -tym stanie zdatności (zdatności obniżonej), co można zapisać w postaci:

$$K_g^*(t) = \sum_{i=1}^{i=M} W_i \cdot K_{gi}(t) \quad (13)$$

Miary współczynnika gotowości funkcjonalnej w wersji zmodyfikowanej można zapisać w postaci: dla wagi $W_1 = 1$ oraz pozostałych wag $W_2 \div W_M = 0$.

Wtedy nowa miara przyjmuje postać współczynnika gotowości funkcjonalnej, dotychczas stosowaną dla systemu przebywającego tyłko w stanie pełnej zdatności.

Miary dla współczynnika gotowości funkcjonalnej systemu o wielu stanach z obniżoną zdatnością można zapisać w postaci macierzej:

$$\begin{bmatrix} K_{g1}^*(t) \\ K_{g2}^*(t) \\ \dots \\ K_{gM}^*(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{g1}(t) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & K_{g2}(t) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & K_{gM}(t) \end{bmatrix} \cdot x \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_M \end{bmatrix} \quad (14)$$

Wtedy gotowość operacyjna może być przedstawiona w postaci macierzej:

$$\begin{bmatrix} G_{11}(t, \tau) \\ G_{12}(t, \tau) \\ \dots \\ G_{1M}(t, \tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{g1}(t) & 0 & \dots & 0 \\ K_{g1}(t) & K_{g2}(t) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{g1}(t) & K_{g2}(t) & \dots & K_{gM}(t) \end{bmatrix} \cdot x \begin{bmatrix} R_{11}(\tau) \\ R_{12}(\tau) \\ \dots \\ R_{1M}(\tau) \end{bmatrix} \quad (15)$$

Gotowość operacyjna wyznaczona dla systemu o wielu stanach z obniżoną zdatnością przedstawiona w postaci macierzej pozwala na ocenę wykorzystania systemu w operacjach lotniczych, dla których nie jest wymagana zdatność wszystkich elementów składowych systemu.

Dla elementów tych zapis macierzowy umożliwia wyznaczenie wymaganej wartości niezawodności dla założonej wartości gotowości operacyjnej. Poziomy niezawodności można wyznaczyć przy wykorzystaniu macierzy współczynników gotowości operacyjnej po jej odwróceniu, gdzie musi być spełniony warunek odwracalności macierzy, co można przedstawić w następującej postaci:

$$\begin{bmatrix} R_{11}(\tau) \\ R_{12}(\tau) \\ \dots \\ R_{1M}(\tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{g1}(t) & 0 & \dots & 0 \\ K_{g1}(t) & K_{g2}(t) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{g1}(t) & K_{g2}(t) & \dots & K_{gM}(t) \end{bmatrix}^{-1} \cdot x \begin{bmatrix} G_{11}(t, \tau) \\ G_{12}(t, \tau) \\ \dots \\ G_{1M}(t, \tau) \end{bmatrix} \quad (16)$$

Wyznaczenie wymaganych wartości niezawodności pozwala na określenie jej poziomu na etapie projektowania lub na etapie eksploatacji (poprzez wprowadzanie zmian korekcyjnych, tj. wymianę elementów o obniżonej niezawodności na elementy o niezawodności wyznaczonej w powyższy sposób. Nowe miary mogą stanowić narzędzie wspomaganie realizacji procesu eksploatacji według strategii z nadzorowaną niezawodnością.

Dla wyznaczonych na podstawie analizy danych zgromadzonych w systemie informatycznym SI ZSL, dla eksploatowanego ZSL na śmigłowcach Mi8/Mi17/Mi24, analizowanego jako zbiór połączonych szeregowo w łańcuchu niezawodnościowym trzech elementów składowych (serwera, radiostacji i tzw. rdzenia systemu obejmującego pozostałe urządzenia m.in. pulpity sterowania łącznością, słuchawki, mikrofony, tabliczki abonenckie) przyjęto:

Współczynnik gotowości funkcjonalnej systemu w stanie zdatności pełnej wynosi: $K_g = K_{g1} = 0,900$, a zdatności obniżonej wynosi: $K_{g2} = 0,050$; $K_{g3} = 0,030$; $K_{g4} = 0,010$

Współczynnik funkcji niezawodności systemu w stanie zdatności pełnej wynosi: $R(\tau) = R_{11}(\tau) = 0,729$, a zdatności obniżonej wynosi: $R_{12}(\tau) = 0,810$; $R_{13}(\tau) = 0,810$; $R_{14}(\tau) = 0,900$, stąd wyliczona gotowość operacyjna systemu w stanie zdatności pełnej wynosi:

$$G(t, \tau) = K_g(t) \cdot R(\tau) = 0,900 \cdot 0,729 = 0,656 \quad (17)$$

Dla przyjętych wartości współczynnika gotowości funkcjonalnej i niezawodności wyznaczonych na podstawie danych pozyskanych z systemu informatycznego SI ZSL, otrzymano wartości gotowości operacyjnej systemu przy wykorzystaniu zależności (18):

$$\begin{bmatrix} G_{11}(t, \tau) \\ G_{12}(t, \tau) \\ G_{13}(t, \tau) \\ G_{14}(t, \tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,656 \\ 0,697 \\ 0,721 \\ 0,730 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,900 & 0 & 0 & 0 \\ 0,900 & 0,050 & 0 & 0 \\ 0,900 & 0,050 & 0,030 & 0 \\ 0,900 & 0,050 & 0,030 & 0,010 \end{bmatrix} \cdot x \begin{bmatrix} 0,729 \\ 0,810 \\ 0,810 \\ 0,900 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Nowe miary gotowości operacyjnej pozwalają, także na realizację procesu odwrotnego, polegającego na wyznaczaniu niezbędnego poziomu niezawodności elementów składowych przy zadanej gotowości operacyjnej systemu. Wartości wymaganej niezawodności poszczególnych konfiguracji dla przyjętego poziomu gotowości operacyjnej systemu (70% w stanie zdatności pełnej, 80% w stanie zdatności obniżonej bez serwera i radiostacji), można wyznaczyć korzystając z zależności (16) i przedstawić w postaci macierzej:

$$\begin{bmatrix} R_{11}(\tau) \\ R_{12}(\tau) \\ R_{13}(\tau) \\ R_{14}(\tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,778 \\ 0,900 \\ 0,900 \\ 0,900 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,900 & 0 & 0 & 0 \\ 0,900 & 0,050 & 0 & 0 \\ 0,900 & 0,050 & 0,030 & 0 \\ 0,900 & 0,050 & 0,030 & 0,010 \end{bmatrix}^{-1} \cdot x \begin{bmatrix} 0,700 \\ 0,745 \\ 0,772 \\ 0,800 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Dla podwyższonych wymagań w zakresie wartości niezawodności dla przyjętego poziomu gotowości operacyjnej systemu (75% w

stanie zdadności pełnej, 85% w stanie zdadności obniżonej bez serwera i radiostacji), wartości poziomu niezawodności poszczególnych elementów systemu można wyznaczyć korzystając z zależności (16) i przedstawić w postaci macierzowej:

$$\begin{bmatrix} R_{11}(\tau) \\ R_{12}(\tau) \\ R_{13}(\tau) \\ R_{14}(\tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,833 \\ 0,900 \\ 0,900 \\ 1,000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,900 & 0 & 0 & 0 \\ 0,900 & 0,050 & 0 & 0 \\ 0,900 & 0,050 & 0,030 & 0 \\ 0,900 & 0,050 & 0,030 & 0,010 \end{bmatrix}^{-1} \cdot x \begin{bmatrix} 0,750 \\ 0,795 \\ 0,822 \\ 0,850 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Na podstawie analizy uzyskanych wyników można stwierdzić, że dla otrzymania gotowości operacyjnej na poziomie 75% (0,750) dla systemu w stanie zdadności pełnej i 85% (0,850) dla systemu w stanie obniżonej zdadności (bez serwera i radiostacji) wymagana wartość niezawodności powinna wynosić 1,000, co oznacza, że pozostałe elementy systemu (bez serwera i radiostacji) powinny być całkowicie zdadne.

Otrzymane wyniki wskazują na osiągnięcie granicznych wartości niezawodności i mogą być wykorzystane do oceny procesu eksploatacji z przyjętą strategią zarządzania ich niezawodnością.

Podsumowanie

W lotnictwie wojskowym zaproponowane nowe miary mogą być stosowane w strategii zarządzania niezawodnością dla eksploatacji systemów lotniczych w stanach kryzysowych. Wymaga to jednak dodatkowych prac analitycznych i weryfikujących, które obecnie prowadzone są w ITWL. Optymalizacja procesu operacyjnego zintegrowanych systemów komunikacyjnych wymaga nowych metod oceny i komputerowych systemów zarządzania niezawodnością wspierających proces decyzyjny w zakresie definiowania i kształtowania gotowości operacyjnej. Zgromadzone w systemie komputerowym dane umożliwiają określenie odstępów między niesprawnościami, intensywnością uszkodzeń i rozkładów prawdopodobieństwa uszkodzeń, a na tej podstawie czynników charakteryzujących zdolność operacyjną poszczególnych elementów systemu ZSŁ. Zbudowany model stanów eksploatacyjnych, umożliwi bieżącą ocenę i kształtowanie zdolności operacyjnej serwera komunikacyjnego, który jest głównym elementem systemu ZSŁ. Zaproponowane nowe formuły służące określeniu gotowości operacyjnej zintegrowanego systemu łączności z wieloma stanami o obniżonej zdadności oraz opracowana metoda analizy może być zastosowana w strategii zarządzania niezawodnością dla racjonalnej (naukowej) eksploatacji pokładowych systemów lotniczych. Prowadzone są prace wstępne nad włączeniem komputerowego systemu zarządzania do profesjonalnego systemu informatycznego SI TURAWA, co pozwoli na prowadzenie bieżącej oceny i kształtowania gotowości operacyjnej zintegrowanych systemów łączności eksploatowanych na śmigłowcach wojskowych w Lotnictwie Sił Zbrojnych RP.

Bibliografia:

1. Barlow R.E., Proschan F., *Statistical Theory of Reliability and Testing Probability Models*, Wyd. Holt, Rienhart and Wilson, New York, 1975.

2. Lewitowicz J., *Podstawy eksploatacji statków powietrznych*, Tom 3, *Systemy eksploatacji statków powietrznych*, Wyd. ITWL, Warszawa, 2006.
3. Pazur A., *Technologia nr 50/43/15 Obsługi serwisowe i naprawy zintegrowanego systemu łączności śmigłowca Mi8, Mi17, (Mi171V), Mi24 (co 2 lata eksploatacji)*, BT ITWL, Warszawa, 2015.
4. Knopik L. & Migawa K., *Multi-state model of maintenance policy. Maintenance and Reliability*, 20 (1): 125–130, Poland (2018).
5. Pazur A., *Badanie niezawodności systemów łączności w oparciu o specjalizowany serwer komunikacyjny*, Wyd. ITWL, Warszawa, 2010.
6. Pazur A., Szelmanowski A., Kowalczyk H., Janik P., *The polish electronically integrated avionics systems for military aircraft. 3rd IEEE International Workshop on "Metrology for Aerospace"*. Florence, Italy (2016).
7. Szelmanowski A. et al., *Integration standpoint of avionics systems based on digital data buses*, AFIT, Warsaw, Poland (2004).
8. Restel F., *The Markov reliability and safety model of the railway transportation system. Safety and reliability: methodology and applications. Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014, 14-18 CRC Press/Balkema: 303-311.*, Wrocław, Poland (2015).
9. Zieja M., Ważny M. & Stępień S., *Distribution determination of time of exceeding permissible condition as used to determine lifetimes of selected aeronautical devices/systems. Maintenance and Reliability* 18 (1), p: 57-64, Poland (2016).
10. Kececioglu P., *Maintainability, Availability and Operational Readiness Engineering Handbook*, New Jersey, (1995).
11. Woropay M., Żurek J., Migawa K., *Model oceny i kształtowania gotowości operacyjnej podsystemu utrzymania ruchu w systemie transportowym*, Wyd. ITE, Radom, (2003).

Computer-based management system for reliability and operational readiness of the integrated communication system for military helicopters

Paper presents the possibilities of computer-based data recording system, constructed and maintained in the Air Force Institute of Technology (AFIT) Division for Avionics, used among others to manage the operational readiness of the integrated communication system ZSŁ. It was shown that the data collected in the database can be used to determine and evaluate operational parameters, including reliability and operational readiness, which is one of the necessary element when it comes to an effective operation of the ZSŁ system, built on board Polish Armed Forces helicopters

Keywords: integrated communication systems, operational readiness.

Autorzy:

prof. dr hab. inż. **Jerzy Lewitowicz** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Awioniki

dr hab. inż. **Andrzej Szelmanowski** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Awioniki

dr inż. **Andrzej Pazur** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Awioniki

mgr inż. **Paweł Janik** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Awioniki