A SYSTEM TO MEASURE SERVICE LOADS THAT AFFECT THE SU-22UM3K STRUCTURE

SYSTEM DO POMIARU OBCIĄŻEŃ EKSPLOATACYJNYCH W ELEMENTACH STRUKTURY SAMOLOTU SU-22UM3K

Mirosław Nowakowski, Zbigniew Jakielaszek

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

e-mail: miroslaw.nowakowski@itwl.pl; zbigniew.jakielaszek@itwl.pl

Abstract: *Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych has for years been engaged in research and development (R&D) aimed at the determination of wear-and-tear level that particular aircraft suffer from. The paper has been intended to present an innovative measuring-and-recording system to collect information on service loads that arise in structural components of the Su-22UM3K aircraft. Research work into loads in some selected structural components of the Su-22UM3K has been carried out with the KAM-500 measuring system applied. Modular design has been used to develop the system. This, in turn, allows of changes in the system's configuration, according to what a measuring task requires. The flight testing of loads has covered items of tasks included in the flying training program for the Su-22UM3K to collect/deliver data on an actual service profile and to determine representative strain-gauge measuring channels to be utilized in further aircraft's service.*

Keywords: recorder, flight test

Streszczenie: *Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych prowadzi od lat prace badawczo-rozwojowe mające na celu określenie stopnia wyeksploatowania statków powietrznych. W pracy przedstawiono nowatorski system pomiarowo-rejestrujący do zbierania informacji o obciążeniach eksploatacyjnych występujących w elementach struktury samolotu Su-22UM3K. Badania obciążeń w wybranych elementach konstrukcji płatowca samolotu Su-22UM3K przeprowadzono z wykorzystaniem systemu pomiarowego KAM-500. W opracowaniu systemu wykorzystano modułową budowę co pozwala na zmianę konfiguracji systemu zgodnie z potrzebą zadania pomiarowego. Badania w locie obciążeń obejmowały elementy zadań występujące w programie szkolenia lotniczego na samolocie Su-22UM3K w celu dostarczanie informacji o rzeczywistym profilu eksploatacji oraz określenie reprezentatywnych tensometrycznych kanałów pomiarowych w dalszej eksploatacji samolotu.*

Słowa kluczowe: rejestrator, badanie w locie

1. Wstęp

Obiektem badań był samolot Su-22UM3K przystosowany do pomiaru obciążeń eksploatacyjnych występujących w wybranych elementach struktury samolotu. W pracy przedstawiono system pomiarowo-rejestrujący zbudowany na bazie rejestratora KAM-500 oraz wykorzystujący standardowe wyposażenie pokładowe statku powietrznego.

2. System pomiarowo-rejestrujący

System pomiarowo-rejestrujący zabudowano na pokładzie samolotu Su-22UM3K. Główną grupą parametrów mierzonych przez system są odkształcenia wybranych elementów struktury statku powietrznego. Dla uzyskania korelacji pomiędzy odkształceniami występującymi w elementach struktury a parametrami lotu wykorzystano parametry pokładowego rejestratora TESTER-U3 oraz sygnał radiowysokościomierza pokładowego. Równoczesne korzystanie z sygnałów parametrów lotu przez pokładowy rejestrator parametrów lotu oraz badawczy system pomiarowy KAM-500 zapewnione jest przez blok akwizycji B1 (AKW-6). Blok ten zapewnia powielenie wybranych sygnałów rejestratora TESTER-U3 przy jednoczesnym galwanicznym oddzieleniu współpracujących rejestratorów. Taka modyfikacja układu pomiarowego pokładowego rejestratora parametrów lotu nie wpływa na pracę rejestratora TESTER-U3, ale również zapewnia rejestrację wymaganego zestawu parametrów przez badawczy system pomiarowy KAM-500. Schemat blokowy rejestratora pokładowego i badawczego przedstawia rys. 1.

Rys. 1 Schemat blokowy współpracy systemu rejestracji TESTER-U3 i KAM-500

W skład systemu pomiarowo-rejestrującego wchodzi:

- badawczy system pomiarowo-rejestrujący KAM-500;
- pokładowy system rejestracji parametrów lotu samolotu TESTER-U3;
- wyposażenie pokładowe: radiowysokościomierz, sieć zasilania pokładowego.

Pokładowy system rejestracji parametrów lotu samolotu TESTER-U3

Pokładowy katastroficzno-eksploatacyjny system rejestracji parametrów lotu TESTER-U3 jest integralnym wyposażeniem samolotu Su-22UM3K. Rejestrator ten przeznaczony jest do rejestracji parametrów lotu samolotu w normalnych i awaryjnych warunkach lotu oraz do zabezpieczenia zarejestrowanej informacji w przypadku katastrofy lotniczej. Dla potrzeb zestawu aparatury pomiarowo-rejestrującej wykorzystano parametry rejestratora TESTER-U3 pozwalające określić położenie przestrzenne samolotu oraz dynamikę lotu samolotu. W celu pozyskania niezbędnych parametrów pokładowego rejestratora parametrów lotu podłączono się do odpowiednich wyjść bloku 4TM (rys. 1) wykorzystując standaryzowane do poziomu 6.3 V sygnały rejestratora TESTER-U3.

Wykaz parametrów TESTER-U3 wykorzystywanych przez rejestrator KAM-500:

- prędkość przyrządowa – V_p ;
- wysokość barometryczna – H_b ;
- kąt pochylenia samolotu – P_{och} ;
- znak kąta pochylenia – $Znak_{poch}$;
- kąt przechylenia samolotu – $Przech$;
- znak kąta przechylenia – $Znak_{poch}$;
- przeciążenie pionowe – N_z ;
- przeciążenie poziome – N_x .

Dodatkowo z radiowysokościomierza pokładowego A-031 wykorzystano parametr „wysokość geometryczna – H_g ”. W celu ujednolicenia wskazań obu rejestratorów wykonano jednoczesne skalowanie torów pomiarowych wspólnych dla rejestratora pokładowego i badawczego oraz sprawdzenie poprawności działania systemów pokładowych.

Badawczy system pomiarowo-rejestrujący KAM-500

Badawczy system pomiarowo-rejestrujący został zbudowany na bazie rejestratora KAM-500 firmy ACRA LTD. W skład badawczego systemu pomiarowo-rejestrującego wchodzi:

- rejestrator KAM-500;
- skrzynka modułów przejściowych SMP-4;
- skrzynka modułu przejściowego SMP-1;
- podstawa złącz kalibracyjnych PZK-1;
- blok akwizycji AKW-6;
- blok złącz i bezpieczników BZB-3;
- radiowysokościomierz MRA Type 2;
- akumulator AS512/6.5S;
- czujniki tensometryczne;
- podstawy wyposażenia pomiarowego;
- okablowanie.

Do pomiaru odkształceń w elementach struktury samolotu Su-22UM3K wykorzystane zostały tensometry.

A system to measure service loads that affect the Su-22UM3K structure.

System do pomiaru obciążeń eksploatacyjnych w elementach struktury samolotu...

Odształcenia elementów mechanicznych a tensometria

Pomiary odkształceń w miejscu umieszczenia tensometru są pomiarami bezpośrednimi. Podstawowe zależności łączące odkształcenie materiału próbki i zmianę rezystancji tensometru naklejonego na materiale to:

- odkształcenie względne podłużne materiału

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

gdzie:

- ε - odkształcenie względne podłużne;
- Δl - przyrost długości próbki;
- l - długość próbki.

- zależność odkształcenia poprzecznego od podłużnego

$$\varepsilon_1 = -\nu \cdot \varepsilon$$

gdzie:

- ν - współczynnik Poisson'a materiału próbki;
- ε_1 - odkształcenie w kierunku poprzecznym.

- prawo Hooke'a dla rozciągania (lub ściskania)

$$\sigma = E\varepsilon$$

gdzie:

- σ - naprężenie;
- E - stała materiałowa nosząca nazwę modułu Younga.

- rezystancja tensometru

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

gdzie:

- ρ - rezystancja właściwa materiału z którego wykonany jest tensometr;
- l - długość czynna tensometru;
- S - pole przekroju poprzecznego drutu użytego na wykonanie czujnika pomiarowego.

- zasadnicze równanie tensometrii oporowej

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$$

gdzie:

- R - rezystancja znamionowa tensometru ;
- ΔR - przyrost rezystancji tensometru wywołana odkształceniem próbki;
- k - stała tensometru.

Z zależności tej wynika, że odkształcenie względne badanego obiektu jest wprost proporcjonalne do względnego przyrostu rezystancji naklejonego na nim tensometru. Jest to bezpośrednie połączenie zjawisk zachodzących w badanej próbce i naklejonym na niej tensometrze. Zmiany rezystancji tensometrów odpowiadających odkształceniom elementów na których są naklejone są bardzo małe. Do takich przyrostów rezystancji niezbędny jest czuły układ pomiarowy. Do tych celów wykorzystywany jest zazwyczaj układ mostka Wheatstone'a. Elementami mostka mogą być same tensometry (pełny mostek), dwa tensometry (pół-mostek pomiarowy) lub jeden tensometr (ćwierć-mostek). Jeżeli tensometry nie tworzą pełnego mostka to należy uzupełnić mostek rezystorami. Wyniki pomiarów z wykorzystaniem tensometrów mają sens tylko wtedy gdy są wyskalowane w jednostkach odkształcenia, naprężenia (sił lub momentów). W sytuacji skomplikowanej budowy obiektu badań nie zawsze jest możliwość skalowania bezpośredniego. W tym celu wykonuje się kalibrację elektryczną (pośrednią) z wykorzystaniem rezystora kalibrującego podłączonego równolegle do tensometru pomiarowego lub do rezystora w gałęzi równoległej mostka pomiarowego.

- wartość rezystora kalibrującego

$$R_x = \frac{R}{k \cdot \varepsilon} - R$$

gdzie:

R_x - rezystancja rezystora kalibrującego;

- napięcie wyjściowe mostka pomiarowego

$$U_{wy} = \frac{1}{4} \cdot U_z \cdot N \cdot k \cdot (\varepsilon \cdot 10^{-6}) \cdot V$$

gdzie:

U_z - napięcia wyjściowe mostka – wynik pomiaru;

N - stała mostka zależna od ilości czynnych tensometrów i ich konfiguracji w stosunku do kierunku odkształcenia;

U_z - napięcia zasilania mostka.

Zasada pracy systemu pomiarowego

Zasadę pomiaru realizowanego przez jeden kanał systemu pomiarowego przedstawia rys. 2. W rozpatrywanym systemie pomiarowym zastosowano układy pół-mostków z uzupełnieniem do pełnego mostka. Pomiar odkształcenia podłużnego realizuje tensometr R_T a odkształcenie poprzeczne tensometr R_k . Dzięki temu wykorzystano jednoczesny pomiar odkształcenia podłużnego i poprzecznego. Wykorzystanie takiego czujnika pozwoliło również na

A system to measure service loads that affect the Su-22UM3K structure.

System do pomiaru obciążeń eksploatacyjnych w elementach struktury samolotu...

zastosowanie kompensacji wpływu temperatury na wyniki pomiaru. Uzupełnienie układu pół-mostków do postaci pełnego mostka odbywa się w skrzynkach modułów przejściowych SMP-1 i SMP-4. W modułach tych odbywa się również kalibracja z wykorzystaniem rezystorów kalibrujących R_x . Mostki pomiarowe zasilane są przez programowalne zasilacze rejestratora KAM-500. Napięcia wyjściowe mostków tensometrycznych przetwarzane są we wzmacniaczach i filtrach kanałów pomiarowych rejestratora.

Rys.2 Zobrazowanie zasady pomiaru systemu pomiarowego

Elementy systemu pomiarowo-rejestrującego KAM-500

a. Rejestrator KAM-500

Rejestrator KAM-500 zabudowany na pokładzie samolotu Su-22UM3K przeznaczony jest do zapisu parametrów przewidzianych do rejestracji w trakcie lotów próbnych doświadczalnych. Rejestrator posiada budowę modułową, dzięki której możliwe jest dostosowanie jego konfiguracji do potrzeb pomiarowych. Rejestrator KAM-500 występuje w następującym uкомплекtowaniu:

- obudowa KAM/CHS/13U;
- encoder KAD/BCU/001/B;
- moduł cyfrowy KAD/DSI/002;
- moduł diagnostyczny KAD/BIT/10;
- moduł analogowy KAD/ADC/105/B;
- moduł tensometryczny KAD/ADC/109/S1;
- moduł szyny danych KAD/UAR/102;
- moduł pamięci KAD/MEM/103/B.

b. Skrzynka modułu przejściowego SMP-1, SMP-4

Skrzynki SMP-1 i SMP-4 służą do uzupełnienia pół-mostków tensometrycznych do postaci pełnego mostka oraz zapewnienia kalibracji tensometrycznych kanałów pomiarowych. Skrzynka SMP-1 posiada jeden a skrzynka SMP-4 cztery moduły. Każdy moduł zawiera osiem kanałów pomiarowych. Kalibracja realizowana jest jednocześnie dla wszystkich kanałów skrzynki przez podłączenie rezystorów kalibrujących, które zmieniają rezystancję aktywnej gałęzi mostka podobnie jak zmieniłaby się ona pod wpływem odkształcenia 1000 μ Str.

c. Podstawa złącz kalibracyjnych PZK-1

Podstawa złącz kalibracyjnych PZK-1 zapewnia podłączenie odpowiedniego modułu skrzynki SMP-4 oraz SMP-1 do obwodu sterowania kalibracją. Każda podstawa zapewnia podłączenie obwodu zasilania układu kalibracji czterech modułów. Podłączenie wszystkich modułów do obwodu sterowania kalibracją powoduje jednoczesną kalibrację wszystkich modułów (kanałów) skrzynki modułów przejściowych.

d. Blok akwizycji AKW-6

Blok akwizycji AKW-6 służy do połączenia systemów pokładowych z systemem rejestracji KAM-500. Dzięki wykorzystaniu bloku akwizycji zapewniona jest galwaniczna izolacja systemów pokładowych od systemu rejestracji KAM-500. Dla celów pomiarowych wykorzystano osiem parametrów rejestratora pokładowego TESTER-3U i jeden parametr radiowysokościomierza pokładowego A-031.

A system to measure service loads that affect the Su-22UM3K structure.

System do pomiaru obciążeń eksploatacyjnych w elementach struktury samolotu...

e. Blok złącz i bezpieczników BZB-3

Blok złącz i bezpieczników BZB-3 zapewnia zasilanie wszystkich elementów systemu rejestracji KAM-500, sterowanie pracą systemu, zabezpieczenie prądowe włączonych obwodów zasilania oraz sygnalizację pracy włączonych obwodów.

f. Radiowysokościomierz MRA Type 2

Radiowysokościomierz MRA Type 2 zapewnia pomiar wysokości rzeczywistej samolotu – (Alt MRA) w ostatniej fazie lotu przed przyziemieniem.

g. Akumulatory AS512/6.5S

Akumulatory AS512/6.5S służą do zasilania awaryjnego systemu rejestracji na okoliczność wahan oraz zaniku napięcia pokładowego. Akumulatory pracują jako zasilacz buforowy systemu rejestracji. Podczas normalnej pracy systemu pomiarowego akumulatory są doładowywane.

h. Czujniki tensometryczne

Czujniki tensometryczne służą do pomiaru odkształceń, naprężeń, sił lub momentów jakie oddziałują na element struktury wybrany do monitorowania podczas badań. Tensometry to czujniki rezystancyjne naklejone na folię. Jako czujniki zastosowano tensometry mierzące odkształcenia w dwóch osiach. Przykładowy tensometr przedstawiono na rys. 3.

Rys. 3 Widok tensometru dwuosiowego

Tensometry naklejone są na elementy struktury. W ten sposób zmiany rezystancji tensometrów proporcjonalne są do odkształcenia elementu. Tensometry połączone są w układ pół-mostka i następnie uzupełnione do pełnego mostka Wheatstone'a (w SMP-1 i SMP-4). Dzięki temu bardzo małe zmiany rezystancji zamieniane są na napięcie, które mierzy i zapisuje rejestrator. Tensometry zabezpieczone są przed oddziaływaniem czynników zewnętrznych za pomocą lakieru, gumy butylowej oraz folii aluminiowej. Czujniki tensometryczne dodatkowo zabezpieczono przed uszkodzeniami mechanicznymi żywicą epoksydową.

i. Podstawy wyposażenia pomiarowego

W celu zapewnienia zabudowy elementów systemu pomiarowego do struktury samolotu wykonano podstawy wyposażenia dostosowane do elementów płatowca.

Wykaz parametrów podlegających pomiarowi i rejestracji

Podczas lotów badawczych przewidziano rejestrację parametrów przedstawiających:

- parametry użytkowe: zapis, liczba ramek, impuls, zdarzenie.
- położenie przestrzenne i tor lotu samolotu: prędkość lotu, wysokość barometryczną lotu, pochylenie i przechylenie samolotu, przeciążenie pionowe, przeciążenie poziome, wysokość rzeczywistą;
- parametry związane z odkształceniami struktury.

Wykaz rejestrowanych parametrów przedstawiono w tablicach od 1 do 3.

Tablica 1. Parametry użytkowe

SYGNAŁY UŻYTKOWE		
1.	Ramka	RAMKA
2.	Impuls	IMPULS
3.	Zapis	ZAPIS
4.	Zdarzenie	ZDARZENIE

Tablica 2. Parametry analogowe i cyfrowe

Lp.	Nazwa mierzonej wielkości	Oznaczenie
SYGNAŁY ANALOGOWE		
1.	Prędkość przyrządowa	Vp
2.	Wysokość barometryczna	Hb
3.	Przeciążenie pionowe	Nz
4.	Przeciążenie podłużne	Nx
5.	Kąt pochylenia	Poch
6.	Znak kąta pochylenia	Znak Poch
7.	Kąt przechylenia	Przech
8.	Znak kąta przechylenia	Znak Przech
9.	Wysokość geometryczna – radiowysokościomierz pokładowy	Hg
SYGNAŁY W FORMACIE RS-232		
10.	Wysokość geometryczna – radiowysokościomierz MRA	Alt MRA

Tablica 3. Parametry związane z odkształceniami struktury

Nr czujnika tensometr.	Lokalizacja czujnika tensometrycznego	Oznaczenie
POŁĄCZENIE LEWE SKRZYDŁO-KADŁUB		
T1	Dolne ucho	SKL11
T2	Górne ucho	SKL16
T3	Dźwigar góra	PSKLG
T4	Dźwigar dół	PSKLD
PRZEGUB GŁÓWNY LEWA STRONA		
T5	Nieruchoma część-góra	PGLRG
T6	Nieruchoma część-dół	PGLRD

A system to measure service loads that affect the Su-22UM3K structure.

System do pomiaru obciążeń eksploatacyjnych w elementach struktury samolotu...

Tablica 4. Parametry związane z odkształceniami struktury (cd).

LEWA GOLEŃ PODWOZIA GŁÓWNEGO		
T7	Zastrzał	GGL3
T8	Cięgło	GGL4
T9	Zginanie przód-tył	GGLZ1
T10	Zginanie przód-tył	GGLZ2
T11	Struktura nad cięgłem	GGLCS
T12	Struktura nad golenią 1	GGLS1
T13	Struktura nad golenią 2	GGLS2
T14	Dźwigar tył	GGLS3
T15	Struktura za zastrzałem	GGLZS
KADŁUB LEWA STRONA		
T16	Wnęka za podwoziem	KMGGPL
T17	Góra za kabiną	KMGGS
T18	Dół pod skrzydłami	KMGDSL
T19	Góra grzebień tył	KMGRTL
T20	Dół rozstykówka	KMGDTL
KADŁUB PRAWA STRONA		
T21	Góra za kabiną	KMGGPS
T22	Dół pod skrzydłami	KMGDSP
T23	Góra grzebień tył	KMGGTP
T24	Dół rozstykówka	KMGDTP
T40	Wnęka za podwoziem	KMGPP
POŁĄCZENIE PRAWO SKRZYDŁO-KADŁUB		
T25	Dolne ucho	SKP11
T26	Górne ucho	SKP16
T27	Dźwigar góra	PSKPG
T28	Dźwigar dół	PSKPD
PRZEGUB GŁÓWNY PRAWA STRONA		
T29	Nieruchoma część-góra	PGPRG
T30	Nieruchoma część-dół	PGPRD
PRAWA GOLEŃ PODWOZIA GŁÓWNEGO		
T31	Zastrzał	GGP3
T32	Cięgło	GGP4
T33	Zginanie przód-tył	GGPZ1
T34	Zginanie przód-tył	GGPZ2
T35	Struktura nad cięgłem	GGPCS
T36	Struktura nad golenią 1	GGPS1
T37	Struktura nad golenią 2	GGPS2
T38	Dźwigar tył	GGPS3
T39	Struktura za zastrzałem	GGPZS

Zapis wszystkich parametrów realizowany jest z częstotliwością 100 Hz. System rejestracji KAM-500 wymaga zasilania napięciem prądu stałego + 27 VDC z sieci pokładowej samolotu.

Schemat rozmieszczenia aparatury badawczej

Badawczy system pomiarowo-rejestrujący umieszczany jest w strukturze samolotu tj. kadłubie, wnęce podwozia, skrzydle, lukach technicznych itp. Schemat rozmieszczenia aparatury badawczej na pokładzie samolotu Su-22UM3K przedstawiają rys. 4a i 4b.

Rys.4a. Schemat rozmieszczenia aparatury badawczej na pokładzie samolotu – prawa strona

System do pomiaru obciążeń eksploatacyjnych w elementach struktury samolotu...

Rys.4b. Schemat rozmieszczenia aparatury badawczej na pokładzie samolotu -
lewa strona

3. Badania w locie

Badania w locie obciążeń konstrukcji samolotu SU-22UM3K przeprowadzono podczas:

- kołowania samolotu,
- startu,
- lądowania,
- startu z „konwojera” (bezpośrednio po przyziemieniu),
- prostego pilotażu (Basic),
- lotu z prędkością naddźwiękową,
- średniego pilotażu (Advanced),
- lotu ze zbiornikami podwieszonymi pod kadłubem,
- lotu ze zbiornikami podwieszonymi pod skrzydłem.

Przykładowe przebiegi wybranych obciążeń struktury samolotu Su-22UM3K podczas lotów próbnych doświadczalnych przedstawiono na rys. 5÷9.

Rys.5 Przykładowy przebieg parametrów związanych z podwoziem prawym

Rys.6 Przykładowy przebieg parametrów związanych z podwoziem lewym

*A system to measure service loads that affect the Su-22UM3K structure.
System do pomiaru obciążeń eksploatacyjnych w elementach struktury samolotu...*

Rys.7 Przykładowy przebieg parametrów związanych z połączeniem skrzydło-kadłub

Rys.8 Przykładowy przebieg parametrów związanych z kadłubem

Rys. 9 Przykładowy przebieg parametrów związanych z przegubami skrzydeł

4. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych lotów próbnych doświadczalnych stwierdzono korelację wartości parametrów zabudowanych na elementach struktury z wartością przeciążenia normalnego. Wyjątek stanowią parametry związane z podwoziem, które są aktywne tylko na ziemi, a niektóre od momentu wypuszczeniu podwozia przed lądowaniem.

System pomiarowo-rejestrujący do pomiaru obciążeń eksploatacyjnych w elementach struktury samolotu Su-22UM3K spełnił stawiane mu wymagania. Uzyskane wyniki z badań w locie pozwoliły na przygotowanie pełnoskalowej próby zmęczeniowej struktury samolotu, niezbędnej do przedłużenia ресурсu technicznego samolotu.

Ponadto w wyniku przeprowadzonych lotów próbnych doświadczalnych wybrano osiem reprezentatywnych lokalizacji tensometrów. Dane z tensometrów naklejone na elementach struktury kilku samolotów Su-22UM3K podlegać będą monitorowaniu w procesie eksploatacji nadzorowanej. Uzyskana zostanie w ten sposób ciągła i długotrwała kontrola procesów zachodzących podczas eksploatacji samolotów objętych programem. Na tej podstawie eksploatowane będą pozostałe samoloty Su-22UM3K.

A system to measure service loads that affect the Su-22UM3K structure.

System do pomiaru obciążeń eksploatacyjnych w elementach struktury samolotu...

5. Literatura

- [1] Roliński Z.: Tensometria oporowa, WNT, Warszawa 1981.
- [2] Styburski W.: Przetworniki tensometryczne, WNT, Warszawa 1971.
- [3] Biuletyn konstrukcyjno–eksploatacyjny Nr P/O/R/U/ 5658/K/E/2014. Samolot Su-22UM3K Nr 310 dotyczący: zabudowy systemu rejestracji KAM-500 do pomiaru obciążeń struktury samolotu Su-22UM3K nr 310 oraz określenia zakresu dodatkowych czynności obsługowych.
- [4] Sprawozdanie z pracy pt.: Zabudowa systemu pomiarowo-rejestrującego KAM-500 na pokładzie samolotu Su-22UM3K nr 310, nr bibl: 8123/50.
- [5] Sprawozdanie nr 2/36/2015 z przeprowadzenia lotów próbnych doświadczalnych na pomiar obciążeń struktury samolotu Su-22UM3K podczas wykonywania manewrów w locie i na ziemi, nr bibl: 8121/50.

dr hab. inż. Mirosław Nowakowski, prof. ITWL Kierownik Zakładu Samolotów i Śmigłowców Instytutu Technicznego Wojsk lotniczych. Specjalizuje się w badaniach statków powietrznych w locie, w tym badania kwalifikacyjne (państwowe), dopuszczające do eksploatacji. Kieruje unikalnym w kraju Laboratorium Badania Staków Powietrznych. Kierował kilkudziesięcioma pracami naukowymi dla potrzeb Ministerstwa Obrony Narodowej. Rozwija prace badawcze w obszarze bezpilotowych statków powietrznych.

mgr inż. Zbigniew Jakielaszek – absolwent Wojskowej Akademii Technicznej – specjalność osprzęt samolotów i śmigłowców. Major rezerwy. Służył w 1 PLM Mińsk Mazowiecki przy eksploatacji samolotów MiG-29 na stanowiskach dowódcy klucza osprzętu eskadry oraz inżyniera osprzętu pułku. Obecnie w ITWL na stanowisku kierownika pracowni aparatury pomiarowej do badań w locie SP. Współtwórca systemów pomiarowo-rejestrujących wykorzystywanych podczas badań wielu typów samolotów.