

Jerzy BOROWSKI<sup>1</sup>  
Andrzej SZELMANOWSKI  
Sławomir MICHALAK

### **NAHELMOWY SYSTEM PREZENTACJI DANYCH – POPRAWA BEZPIECZEŃSTWA LOTNICZYCH SYSTEMÓW TRANSPORTOWYCH**

*W referacie przedstawiono wyniki przeprowadzonych w ITWL badań w zakresie możliwości zastosowania systemu nahałmowej prezentacji danych dla modernizowanych śmigłowców wojskowych typu Mi-8, Mi-17 i Mi-24. W części ogólnej omówiono wybrane metody i systemy wykorzystywane do wspomagania pilota w zakresie nahałmowej prezentacji danych (zobrazowanie okularowe i za pomocą gogli noktowizyjnych). W części szczegółowej przedstawiono wybrane wyniki analizy wiarygodności źródeł informacji pilotażowo-nawigacyjnej wykorzystywane do cyfrowego zobrazowania danych (na przykładzie sztucznego horyzontu AGB-3K śmigłowca Mi-17). Na zakończenie zaprezentowano zestaw nahałmowego systemu wyświetlania parametrów lotu SWPL-1 (zbudowany w Zakładzie Awioniki ITWL) oraz scharakteryzowano jego elementy składowe (w tym m.in. układ dopasowania sygnałów analogowych i komputer graficzny). System ten otrzymał Nagrodę Prezydenta RP na XVII Międzynarodowym Salonie Przemysłu Obronnego MSPO'2009 w Kielcach.*

### **A HELMET-MOUNTED DISPLAY SYSTEM - AN IMPROVEMENT IN SAFETY OF AIR TRANSPORTATION SYSTEMS**

*The paper has been intended to present results of the ITWL-conducted studies on the suitability of the helmet-mounted data display system for the Mi-8, Mi-17, and Mi-24 helicopters. Some selected methods and systems used to support a pilot as far as helmet-mounted display capability is concerned (projection of monocular/binocular and night-vision goggles imagery) have been discussed in 'Generalities'. In the part on the particularities, especially on the assessment of the effect(s) of inaccuracies in the data display system, presented are selected analyses on the reliability of sources of flight and navigation information used for the digital data display function (the sources being exemplified with the artificial horizon AGB-3K built in, e.g. the Mi-17 helicopter). Finally, the helmet mounted display system SWPL-1 built in the ITWL's Division for Avionics has been shown and components thereof, including the analogue-signal matching system and the graphics-generating computer, discussed in details. The SWPL-1 system has been given the President of Poland's Award at the 17<sup>th</sup> International Defence Industry Exhibition (MSPO) 2009 in Kielce.*

---

<sup>1</sup>Air Force Institute of Technology, POLAND; Warsaw 01-494, Księcia Bolesława 6. Phone: +48 22 685-10-43, 685-10-95, Fax: +48 22 685-10-43, E-mail: jerzy.borowski@itwl.pl

## 1. WPROWADZENIE

Współczesne systemy awioniczne (m.in. nawigacyjne, łączności, uzbrojenia, rejestracji danych) zabudowane na wojskowych statkach powietrznych są integrowane z użyciem szyny MIL-1553B. Standard MIL-STD-1553B jest tam szeroko stosowany z uwagi na posiadane możliwości (m.in. częstotliwości i tryby pracy) w zakresie integracji urządzeń awionicznych oraz zapewnienia redundancji informacji z nich otrzymywanej.

Dodatkowo jednym z ważniejszych (jak się obecnie ocenia) elementów zwiększenia bezpieczeństwa lotniczych systemów transportowych jest zastosowanie układów wspomagających komunikację tzw. systemu antropotechnicznego „człowiek – statek powietrzny” [1]. Współczesne zintegrowane systemy awioniczne obejmują m.in. nahełmowe systemy prezentacji danych wykorzystujące w wersji klasycznej okulary dzienne i gogle noktowizyjne (stanowiące wyposażenie np. wojskowych samolotów F-16, RAFALE i MIRAGE-2000 oraz śmigłowców AH-64 APACHE i TIGRE) [2,3,4]. Umożliwiają one nie tylko bezpośrednie (tj. wyświetlane przed oczami pilota) informowanie o parametrach pilotażowo-nawigacyjnych (co jest bardzo ważne podczas lotów manewrowych), ale także podają komendy dyrektywne (nakazujące czynności niezbędne dla wykonania zadania) lub ostrzeżenia o sytuacjach awaryjnych lub niesprawnościach (otrzymywane z systemów kontroli stanu technicznego systemu antropotechnicznego). Nahełmowe systemy prezentacji danych mogą być wykorzystane także do układu sterowania uzbrojeniem ruchomym statku powietrznego (np. w zakresie nahełmowego wskazywania celu dla działka lub rakiety kierowanej) oraz w systemach poszukiwawczo-ratowniczych (możliwych do zastosowania także w transporcie drogowym).

Prace rozwojowe systemów nahełmowej prezentacji danych to hełmy przystosowane do pracy w tzw. cyberprzestrzeni (np. system nahełmowy dla samolotu F-35). W Polsce przy podobnych pracach prowadzonych przez m.in. ITWL i PCO w ramach modernizacji śmigłowców z awioniką analogową pojawił się problem wiarygodności źródeł pozyskania danych analogowych (z dotychczas eksploatowanych nadajników) i ich przetworzenia do wersji cyfrowej (wg standardu tzw. GLASS COCKPIT).

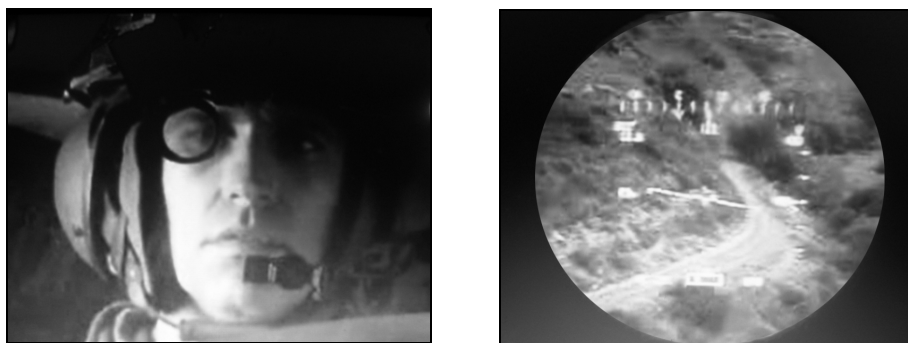
## 2. WYBRANE METODY I SYSTEMY NAHEŁMOWEJ PREZENTACJI DANYCH

Systemy prezentacji danych pilotażowo-nawigacyjnych przeszły dość znaczną ewolucję, począwszy od przyrządów umieszczanych w kokpicie, wymagających od pilota odwracania wzroku, stosowanych we wszystkich myśliwcach bojowych latających do końca wojny w Wietnamie, aż po system HUD (Head-up Display) stosowany aktualnie w F-16 oraz innych współczesnych samolotach i śmigłowcach wojskowych. Obecnie piloci F-16 mają do dyspozycji obraz cyfrowy wyświetlany na wizjerze hełmu z układem celowniczo-obrazującym JHMCS (Joint Helmet-Mounted Cueing System). System ten prezentuje wyłącznie dane celownicze, natomiast informacje dotyczące lotu piloci odczytują z wyświetlacza HUD [5].

Wśród wielu metod stosowanych dla wyświetlania parametrów lotu stosowane są metody pośrednie, wykorzystujące nieruchome względem kabiny wskaźniki przeziernie (np. typu HUD) oraz metody bezpośrednie, w których wskaźniki nahełmowe (okularowe lub wizyjne) na stałe związane są z hełmem pilota lub operatora [6]. Na okularze lub wizjerze hełmu wyświetlane są tzw. kluczowe informacje m.in. o prędkości lotu,

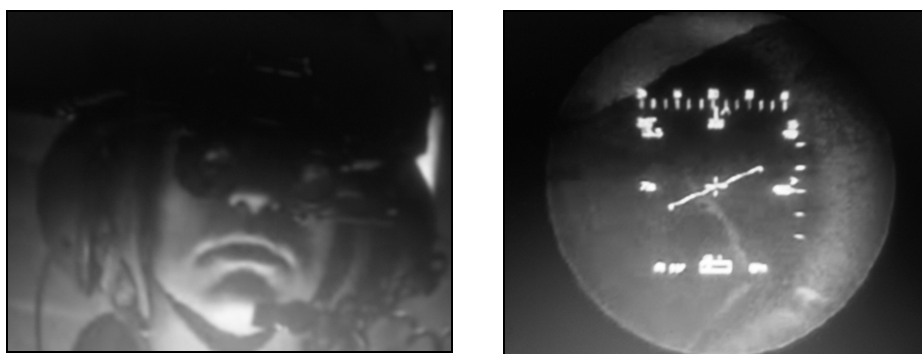
wysokości, prędkości wznoszenia oraz dane celownicze dla wszystkich elementów uzbrojenia. Wyświetlacz przekazuje również informacje potrzebne w sytuacji zagrożenia.

Dla przykładu, w warunkach dziennych obraz rzutowany jest poprzez wizjer (rys.1.) i nałożony on jest na rzeczywisty obraz terenu widziany przez pilota.



*Rys.1. Przykładowy nahałmowy wyświetlacz dzienny (po lewej) i sposób zobrazowania wybranych parametrów (po prawej) otrzymanych z systemu awionicznego*

Z kolei w warunkach nocnych zastosowanie mają gogle noktowizyjne (rys.2.) z nałożonym wyświetlaczem nahałmowym.



*Rys.2. Przykładowy nahałmowy wyświetlacz nocny (po lewej) i sposób zobrazowania wybranych parametrów (po prawej) otrzymanych z systemu awionicznego*

Jednym z najnowocześniejszych rozwiązań jest system HMD dla samolotu myśliwskiego F-35 (Lockheed Martin) [7]. Hełm myśliwca F-35 (rys.3.) umożliwia pilotowi patrzenie dosłownie przez kadłub samolotu. System HMDS odpowiednio dopasowuje obraz z zestawu kamer DAS (Distributed Aperture System), umieszczonych na zewnątrz samolotu. Dzięki niemu pilot otrzymuje obraz całego otoczenia samolotu. Przykładowo, spojrzenie w dół powoduje, że wyświetlacz HMDS pokazuje obraz poniżej kadłuba.



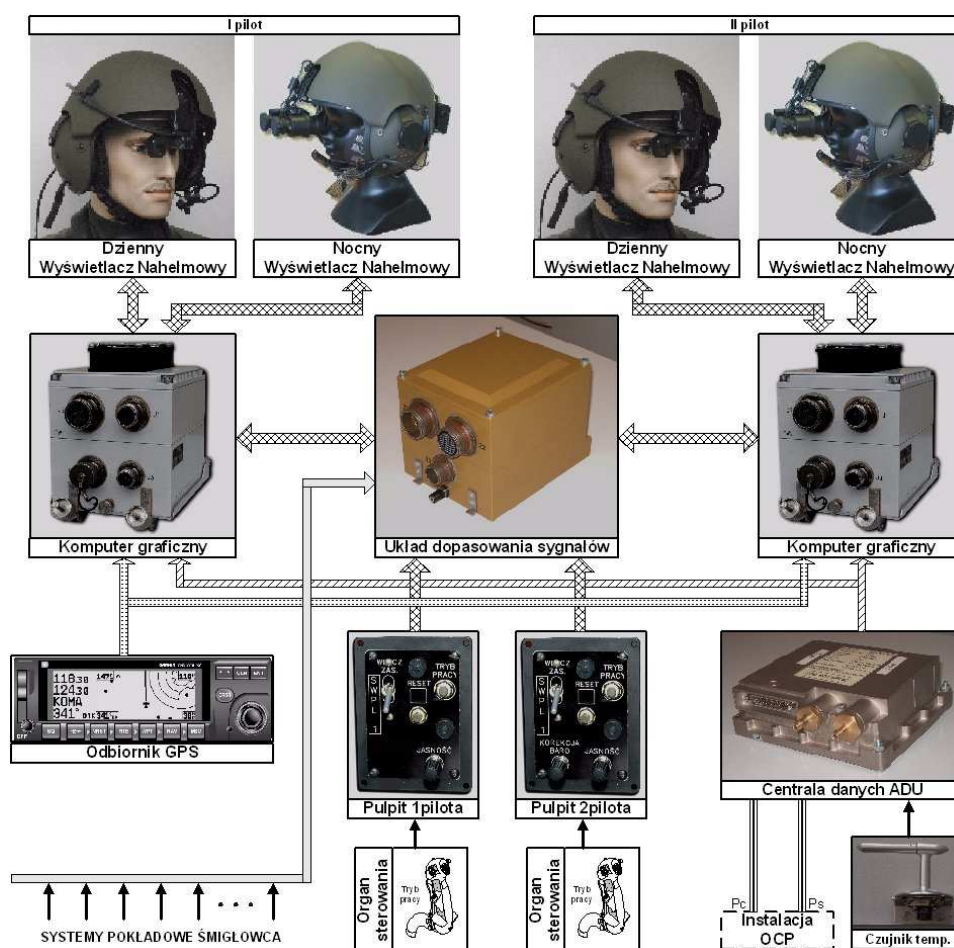
*Rys.3. Przykładowe wyświetlacze danych dla systemu zobrazowania nahałmowego samolotu F-35 (po lewej) oraz wizja futurystyczna (po prawej)*

W chwili obecnej jednak nie istnieje dostępny na rynku polskim system nahałmowej prezentacji danych z zakresem zastosowania na polskich śmigłowcach wojskowych. Istniejące na rynkach zachodnich (przedstawione wyżej jako przykładowe) systemy zobrazowania nahałmowego są wykorzystywane na pokładach statków powietrznych tylko do zadań zobrazowania parametrów lotu (w wersji minimalnej), ale zgodnie z posiadaną wiedzą, na rynku polskim nie ma dostępnych urządzeń tego rodzaju.

### **3. PROPOZYCJA SYSTEMU ZOBRAZOWANIA DLA ŚMIGŁOWCA MI-17-1V**

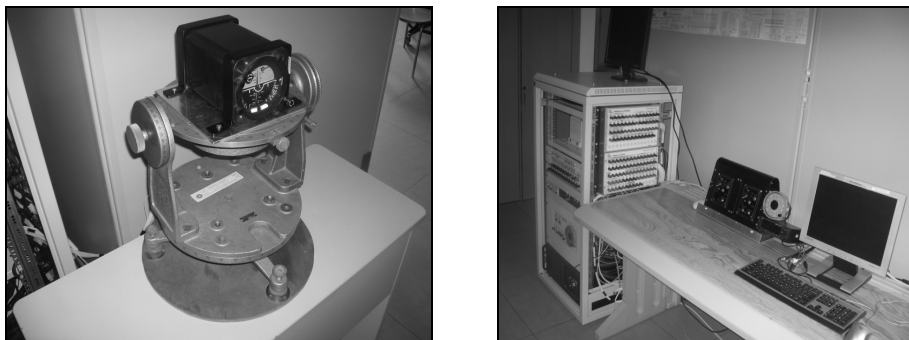
Wychodząc naprzeciw potrzebom i standardom światowym w Zakładzie Awioniki ITWL (we współpracy z Przemysłowym Centrum Optyki oraz WZL-1) opracowano i zbudowano System Wyświetlania Parametrów Lotu (SWPL-1 Cyklop) [8]. Schemat blokowy zbudowanego systemu przedstawiono na rys.4. System przeznaczony jest dla dowódcy załogi (I pilota) oraz II pilota i umożliwia zobrazowanie wybranych parametrów pilotażowych, nawigacyjnych oraz kontroli pracy zespołu napędowego. Zobrazowanie parametrów lotu w warunkach dziennych jest realizowane z wykorzystaniem przeziernego wyświetlacza nahałmowego DWN-1. W warunkach nocnych, zobrazowanie parametrów lotu jest realizowane z wykorzystaniem gogli noktowizyjnych i nocnego wyświetlacza nahałmowego NWN-1. System umożliwia również generowanie sygnałów ostrzegania *WARN* o sytuacji niebezpiecznej na pokładzie śmigłowca oraz generowanie sygnałów *FAIL* informujących pilota o niesprawności systemów pokładowych. Informacja źródłowa z pokładowych systemów śmigłowca przekazywana jest do układu dopasowania sygnałów UDS-1. W układzie tym następuje przekształcanie i standaryzacja sygnałów analogowych i binarnych oraz realizacja funkcji logicznych związanych z generowaniem sygnałów *WARN* i *FAIL*. Przetworzone sygnały przekazywane są do komputerów graficznych KG-1. Komputer graficzny jest głównym elementem systemu realizującym algorytmy selekcji i transformacji danych oraz generującym sygnały zobrazowania informacji do przeziernego wyświetlacza nahałmowego. Współpracuje również z pokładowym odbiornikiem nawigacji satelitarnej GPS i pokładowym systemem danych aerodynamicznych ADU z wykorzystaniem szyny danych w standardzie ARINC-429. System SWPL-1 umożliwia niezależne sterowanie i zobrazowanie informacji przekazywanej dla dowódcy załogi i II pilota. Piloci mają możliwość niezależnego wyboru trybu pracy i związanej z tym

odpowiedniej planszy zobrazowania w zależności od aktualnej potrzeby i realizowanego zadania. Sterowanie pracą systemu możliwe jest przy wykorzystaniu pulpitu sterującego oraz elementów komutacji zabudowanych na organach sterowania.



Rys.4. Schemat blokowy nahlmowego systemu wyświetlania parametrów lotu SWPL-1 Cyklop dla śmigłowca Mi-17-1V

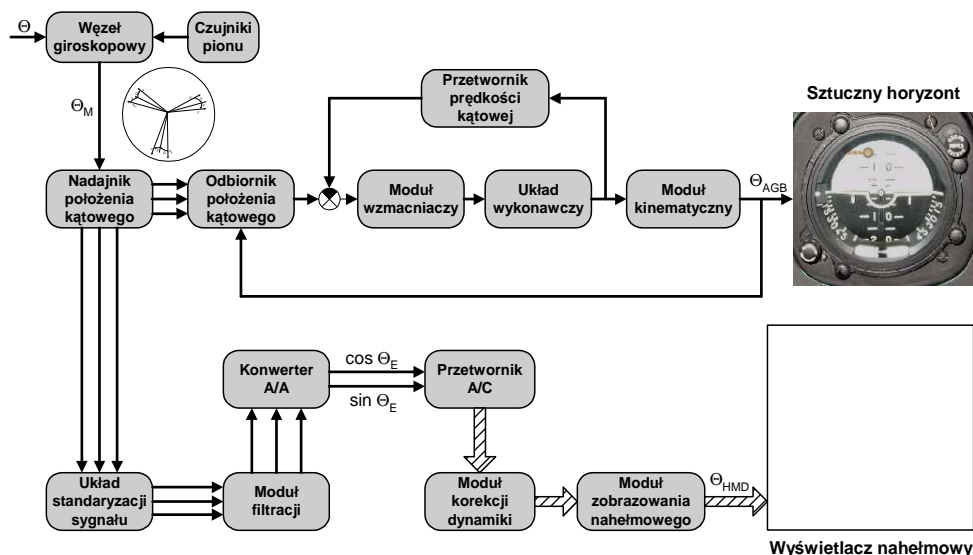
Nahlmowy system wyświetlania parametrów lotu SWPL-1 Cyklop został przebadany w warunkach laboratoryjnych. Widok stanowiska do badań sztucznego horyzontu AGB-3K (stanowiącego nadajnik sygnałów dla SWPL-1) oraz stanowiska do badań kompletu nahlmowego systemu wyświetlania parametrów lotu przedstawiono na rys.5.



Rys.5. Stanowisko do badań sztucznego horyzontu AGB-3K (po lewej) oraz stanowisko badawcze dla nahlmowego systemu wyświetlania parametrów lotu (po prawej)

#### 4. WIARYGODNOŚĆ INFORMACJI NAHELMOWEJ PREZENTACJI DANYCH

Ocena wiarygodności informacji pozyskiwanej z dotychczas eksploatowanych na pokładzie śmigłowca nadajników parametrów pilotażowo-nawigacyjnych wiąże się z analizą ich błędów, występujących zarówno w warunkach statycznych jak i dynamicznych, podczas zmiennych parametrów lotu (czyli w tzw. stanach manewrowych). W celu przedstawienia tych problemów wybrano źródło informacji w zakresie nadajnika danych pilotażowych na przykładzie sztucznego horyzontu AGB-3K (rys.6).



Rys.6. Schemat blokowy toru pomiarowego kąta pochylecia śmigłowca

Tor pomiarowy kąta pochylenia śmigłowca składa się z węzła giroskopowego, w którym oś pomiarowa ustawiana jest zgodnie z kierunkiem działania przyspieszenia ziemskiego za pomocą układów korekcji, wykorzystujących informację z czujników pionu. Wypracowana w węźle giroskopowym informacja o kącie pochylenia, zamieniana jest na postać elektryczną z wykorzystaniem nadajnika położenia kąтового. Sygnał z nadajnika przekazywany jest dwoma torami. Pierwszy tor związany jest z klasycznym zobrazowaniem informacji w sztucznym horyzoncie AGB-3K, natomiast drugi tor związany jest z przetwarzaniem i zobrazowaniem informacji w nahełmowym systemie zobrazowania. Klasyczny tor pomiarowy wykorzystuje informację z odbiornika położenia kąтового i dalej przetwarza ją za pomocą układu nadążnego zbudowanego z modułu wzmacniaczy, układu wykonawczego, modułu kinematycznego oraz przetwornika prędkości kątovej. Moduł kinematyczny obraca ruchomą skalą pochylenia w sztucznym horyzoncie AGB-3K. Tor pomiarowy kąta pochylenia związany z nahełmowym systemem zobrazowania wykorzystuje pierwotną informację również z nadajnika położenia kąтового. Sygnał ten jest dalej standaryzowany i filtrowany oraz przekazywany do konwertera A/A w którym następuje przekształcenie sygnału łączy synchronizacyjnego na postać napięć stałych proporcjonalnych do sinusa i cosinusa kąta pochylenia. Tak obrabiony sygnał podlega przetwarzaniu w przetworniku A/C na postać cyfrową. W algorytmach oprogramowania zawarte są procedury korekcji dynamiki toru pomiarowego, których zadaniem jest zapewnienie zgodności właściwości dynamicznych wymienionych torów pomiarowych. W module zobrazowania nahełmowego realizowane jest generowanie znaków graficznych podlegających sterowaniu zgodnie z wypracowaną informacją o pochyleniu śmigłowca. Informacja ta w postaci ruchomego obrazu rzutowana jest na przezierny wyświetlacz nahełmowy.

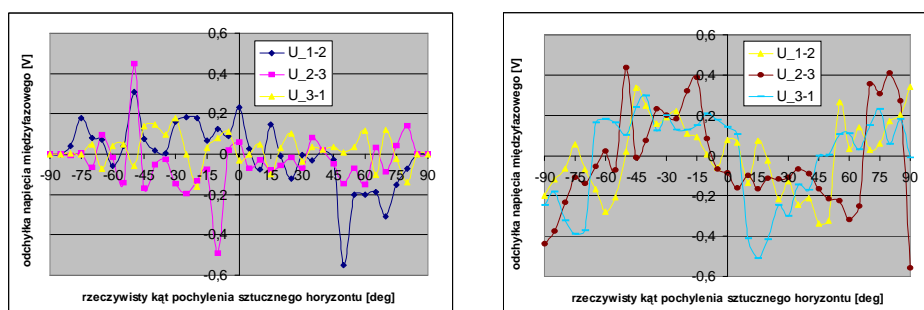
Jednym z pierwszych etapów przygotowania modernizacji śmigłowców z awioniką analogową w zakresie systemu nahełmowej prezentacji danych (czyli jej „przekształcenia” do wersji zobrazowania cyfrowego) jest ocena wiarygodności informacji pozyskiwanej ze źródeł już zabudowanych na pokładzie śmigłowca. Badania te obejmują m.in. ocenę jakości przebiegów napięć międzyfazowych, otrzymywanych z obwodów nadajnika położenia kąтового sztucznego horyzontu AGB-3K. Idea wykorzystania sygnałów analogowych z poszczególnych obwodów nadajnika i przekształcenia ich do postaci cyfrowej bazuje na wykorzystaniu zależności matematycznej, umożliwiającej określenie kąta pochylenia na podstawie znajomości wartości napięć międzyfazowych na wyjściu nadajnika położenia kąтового. Błąd wyznaczenia położenia kąтового pochylenia dany jest zależnością (1).

$$\Delta\theta_{wv}(\theta_M) = \theta_E - \theta_M = \arctg \left\{ \frac{\sqrt{3} \cdot [U_{f3}(\theta_M) \cdot \text{sgn}(f3) - U_{f1}(\theta_M) \cdot \text{sgn}(f1)]}{2 \cdot U_{f2}(\theta_M) \cdot \text{sgn}(f2) - [U_{f1}(\theta_M) \cdot \text{sgn}(f1) + U_{f3}(\theta_M) \cdot \text{sgn}(f3)]} \right\} - \theta_M \quad (1)$$

gdzie:  $\Delta\theta_{wv}(\theta_M)$  – rzeczywisty błąd wskazań sztucznego horyzontu AGB w stanie ustalonym w funkcji kąta pochylenia sztucznego horyzontu;  $\theta_M$  – rzeczywisty kąt pochylenia sztucznego horyzontu AGB na stanowisku obrotowym (lub podczas ustalonego położenia przestrzennego śmigłowca);  $\theta_E$  – kąt wyliczony na podstawie wartości napięć fazowych;  $U_{f1}$ ,  $U_{f2}$ ,  $U_{f3}$  – napięcia fazowe z poszczególnych obwodów synchronizacji selsyna sztucznego horyzontu AGB;  $\text{sgn}(f_1)$ ,  $\text{sgn}(f_1)$ ,  $\text{sgn}(f_1)$  – znaki zgodności fazy napięcia w stosunku do napięcia odniesienia.

Analiza różnic napięcia międzyfazowego w wybranej fazie nadajnika położenia kąтового występujących przy różnych kierunkach zmiany kąta pochylenia pozwoliła określić tzw. histerezę charakterystyki. Natomiast odchylenie rzeczywistych napięć międzyfazowych od idealnego przebiegu harmonicznego pozwoliło na określenie tzw. błędu nieharmoniczności.

Ocena wartości histerezy ma znaczenie przy określaniu dopuszczalnego poziomu błędów podczas cyfrowego przetwarzania sygnałów analogowych, natomiast analiza błędów nieharmoniczności pozwala na określenie tzw. nieliniowości charakterystyki i umożliwia ocenę błędów instrumentalnych. Przykładowe przebiegi histerezy oraz nieharmoniczności dla napięć międzyfazowych przedstawiono na rys. 7.



Rys.7. Przykładowe przebiegi odchyłki napięć międzyfazowych dla histerezy (po lewej) i nieharmoniczności (po prawej) sygnałów z nadajnika położenia kąтового sztucznego horyzontu AGB-3K

Badania sztucznego horyzontu AGB-3K na stanowisku obrotowym CGW wykazały, że wartość błędów histerezy dla napięć międzyfazowych jest na poziomie  $0,54 V_{RMS}$ , zaś ich błędy nieharmoniczności nie przekraczają  $0,48 V_{RMS}$ . Wartości te związane są z błędem określania kąta pochylenia, który dla tych wartości jest na poziomie  $\pm 0,3^\circ$ .

Z kolei właściwości dynamiczne toru pomiarowego kąta pochylenia można opisać za pomocą transmitancji operatorowej. Tor pomiarowy sztucznego horyzontu (rys.6) składa się z układu węzła giroskopowego, nadajnika i odbiornika położenia kąтового, modułu wzmacniacza, układu wykonawczego, przetwornika prędkości kątownej oraz modułu kinematycznego). Właściwości dynamiczne poszczególnych elementów toru pomiarowego zostały zidentyfikowane i na tej podstawie wyznaczono transmitancję operatorową całego toru pomiarowego sztucznego horyzontu AGB-3K, która może być opisana w postaci zależności (2).

$$G(s) = \frac{\Theta_{AGB}(s)}{\Theta_M(s)} = \frac{G_{NT}(s) \cdot G_T(s) \cdot G_{WE}(s) \cdot G_S(s) \cdot J_M}{1 + G_{WE}(s) \cdot G_S(s) \cdot [G_{PT}(s) + G_T(s) \cdot J_M]} \quad (2)$$

gdzie:  $\Theta_{AGB}(s)$  - transformata Laplace'a sygnału wskazań sztucznego horyzontu AGB-3K;  $\Theta_M(s)$  - transformata Laplace'a sygnału kąta pochylenia węzła giroskopowego;



$G_{NT}(s)$ - transmitancja obwodu synchronizacji nadajnika położenia kąтового;  
 $G_T(s)$  - transmitancja odbiornika położenia kąтового;  $G_{WE}(s)$  - transmitancja modułu wzmacniaczy elektronicznych;  $G_S(s)$ - transmitancja układu wykonawczego;  $G_{PT}(s)$  - transmitancja przetwornika prędkości kątowej;  
 $J_M(s)$  - funkcja opisująca moduły kinematycznego;  $s$  – operator Laplace'a.

Wykonane w pakiecie Matlab-Simulink badania właściwości dynamicznych toru pomiarowego kąta pochylenia dla wymuszenia sinusoidalnego (symulującego manewr „wznoszenia i opadania”) wykazały, że dla przyjętej, granicznej częstotliwości zmiany orientacji przestrzennej równej 1 Hz oraz amplitudzie wymuszenia  $5^\circ$ , błąd dynamiczny wskazań nie przekracza  $\pm 1^\circ$ , natomiast opóźnienie wskazań jest mniejsze niż 0,05s. Przy wymuszeniu skokowym o wartości  $5^\circ$ , błąd dynamiczny zanika po czasie ok. 0,25s.

Zależność (2) była wykorzystana do optymalizacji parametrów toru pomiarowego w części związanej z nahełmowym zobrazowaniem. Optymalizacja polegała na wyznaczeniu optymalnej struktury i parametrów struktury modułu korekcji dynamiki w celu uzyskania zgodności właściwości dynamicznych klasycznego toru pomiarowego kąta pochylenia i toru pomiarowego związanego z przeziernym wyświetlaczem nahełmowym. Modele symulacyjne torów pomiarowych były również pomocne w celu określenia wymaganej rozdzielczości przetwarzania (kwantyzacji) wartości sygnałów analogowych oraz wymaganej częstotliwości próbkowania i odświeżania zobrazowanej informacji pilotażowo-nawigacyjnej, tak aby zobrazowanie było jak najbardziej odpowiednie dla pilota.

## 5. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie nahełmowych systemów prezentacji danych na współczesnych statkach powietrznych w sposób istotny poprawia bezpieczeństwo pilotowania. Ma to szczególne znaczenie podczas wykonywania trudnych misji w nocy lub w warunkach ograniczonej widoczności. W takich przypadkach obserwacja otoczenia bez konieczności odrywania wzroku dla obserwacji przyrządów w kabinie znacznie ułatwia proces pilotowania oraz zwiększa szansę wykonania trudnych zadań. Współczesne wojskowe systemy awioniczne, a w szczególności nawigacyjno-celownicze wykorzystują coraz częściej systemy nahełmowej prezentacji danych. Dla przykładu prace nad systemem hełmu II generacji budowanego dla samolotu F-35 z nahełmowym systemem postępują równie szybko jak rozwój samego myśliwca. Przewiduje się, że coraz więcej pilotów nowoczesnych samolotów wojskowych będzie uczyło się latania z hełmem wyposażonym w funkcje HMDS. Badania nad prototypami systemu HMD trwają już od ponad dwudziestu lat i wykazują, że zarówno absolwenci akademii lotniczych jak i piloci przesiadający się z innych modeli, nie powinni mieć żadnych problemów z przyzwyczajaniem się do nowego systemu.

Jednym z ważniejszych elementów w zapewnieniu odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa pilota użytkującego system nahełmowej prezentacji danych jest indywidualnie dopasowany hełm. Jest to niezwykle ważne zarówno pod względem bezpieczeństwa jak i wyświetlanych w hełmie danych, ponieważ funkcjonalność HMDS opiera się na precyzyjnym umieszczeniu przyrządów optycznych. Projektory wyświetlają dane na wizjerze bezpośrednio przed oczami pilota tworząc w ten sposób dwa zielone

punkty. Ponieważ hełm jest nową konstrukcją, stąd w procesie szkolenia piloci powinni ćwiczyć latanie z systemem HMDS najpierw w symulatorze, choć daje to niewielkie pojęcie o prawdziwym locie z użyciem tego systemu. Jak wykazują doświadczenia, w trakcie lotu piloci w ogóle zapominają, że latają z „górami danych na głowie”.

Zaproponowany przez ITWL nahałmowy system wyświetlania parametrów lotu SWPL-1 wspomaga proces testowania nowych urządzeń i może stanowić bazę do dalszego ich rozwoju w ramach przemysłu krajowego, w tym wyposażenia w ten system modernizowanych śmigłowców wojskowych (np. dla PKW Afganistan).

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Kowalski C.: *Pokładowe systemy zobrazowania informacji*, Warszawa, WAT, 1986.
- [2] Rash C.: *Helmet Displays in Aviation / Mounted Display: Design Issues for Rotary-Wing Aircraft*, USAART, 1998.
- [3] Materiały reklamowe firmy SEXTANT AVIONIQUE: *Display Systems Interfaces / Helmet Mounted Display*, 1996.
- [4] Materiały reklamowe firmy BOEING: *Joint Helmet-Mounted Cueing System*, 2008.
- [5] Materiały reklamowe firmy LOCKHEED MARTIN: *F-16 Fighting Falcon*, 2006.
- [6] Girolamo H., Rash C., Gilroy T.: *Advanced Information Display for the 21<sup>st</sup> Century Warrior*, USAART, 1997.
- [7] Materiały reklamowe firmy LOCKHEED MARTIN: *A new technology Joint Helmet-Mounted System for F-35 aircraft*, 2009.
- [8] Borowski J.: *Sprawozdanie z pracy: System Wyświetlania Parametrów Lotu SWPL-1*, Warszawa, BT ITWL 2009.