

Andrzej PAZUR, Andrzej SZELMANOWSKI, Mirosław SOBIELARSKI, Tomasz PRUSIK

BADANIE JAKOŚCI KOMUNIKACJI WERBALNEJ PILOTA Z OTOCZENIEM W WARUNKACH WYSTĘPOWANIA DUŻYCH PRZECIĄŻEŃ LINIOWYCH

W artykule przedstawiono wyniki prac analitycznych realizowanych w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych w zakresie możliwości prowadzenia i analizy komunikacji werbalnej pilota w kabine wielozadaniowego samolotu wojskowego, w warunkach oddziaływania na niego dużych przeciążeń liniowych występujących podczas wykonywania manewrów. Omówiono wybrane pokładowe systemy komunikacji werbalnej i rejestracji mowy pilota stosowane na statkach powietrznych eksploatowanych w Siłach Zbrojnych RP. Szczególną uwagę zwrócono na problemy badawcze związane z budową zintegrowanych systemów awionicznych, werbalnie wspomagających pracę pilota i rejestrujących jego mowę oraz omówiono specjalistyczne metody badawcze wykorzystywane do fonoskopijnych badań mowy i nieartykułowanych parametrów głosu, a także innych dźwięków pochodzących z kabiny statku powietrznego (tzw. tło akustyczne). Zaprezentowano przykładowe zapisy i wyniki analizy korespondencji werbalnej pilota oraz przedstawiono zakres zastosowania tych wyników w przyszłych pracach badawczych (m.in. w warunkach oddziaływania dużych przeciążeń liniowych wytwarzanych na wirówce przeciążeniowej).

WSTĘP

Wśród dynamicznie rozwijających się systemów w ostatnich latach są urządzenia służące do werbalnej komunikacji m.in. z pilotem statku powietrznego (SP), pełniące funkcje „asystenta” informującego go o wystąpieniu sytuacji awaryjnej lub udzielające podpowiedzi na głosowe zapytania. Wymagają one odpowiedniej jakości prowadzonej korespondencji radiowej, która w sytuacji niebezpiecznej jest kluczowym czynnikiem w podejmowaniu przez niego decyzji, decydującej o jego bezpieczeństwie i wykonaniu powierzonej misji [13].

Obecnie podstawą wypracowania poprawnych działań jest możliwość dodania kanału transmisji informacji w postaci komunikacji werbalnej pilota z komputerem pokładowym (tzw. asystentem werbalnym), realizowanej drogą mowy naturalnej [4, 12].

Jednym z podstawowych problemów pojawiających się przy budowie takiego systemu jest m.in. konieczność zapewnienia poprawnego rozpoznawania głosu pilota i poprawnego rozumienia jego naturalnych wypowiedzi [4, 6]. Parametr ten decyduje bowiem o bezpieczeństwie wykonania lotu (misji, zadania). Jednym z czynników zakłócających korespondencję radiową pilota jest chwilowy wpływ przeciążeń wywołanych oddziaływaniem przyspieszeń liniowych, dośrodkowych i kątowych, znacznie przewyższających przyspieszenie grawitacyjne, występujących podczas wykonywania manewrów statku powietrznego (np. figur wyższego pilotażu, walki powietrznej).

Przyspieszenie charakteryzuje ruch, który jest wielkością wektorową mierzoną stosunkiem przyrostu prędkości do czasu, w jakim ten przyrost nastąpił. W czasie manewrów statku powietrznego (rys. 1.), w ruchu postępowym występuje przyspieszenie liniowe, natomiast w ruchu obrotowym, przyspieszenie dośrodkowe oraz kątowe. Przyspieszenia te oddziałują na organizm pilota, powodując u niego zaburzenia w odczuwaniu i reakcjach, w tym możliwościach prowadzenia komunikacji werbalnej.

Dotyczy to zarówno funkcji fizjologicznych samego narządu mowy, jak i możliwości psychotechnicznych w zakresie skupienia się na prowadzeniu rozmowy [4, 9].

W czasie lotu manewrowego pilot podlegający przyspieszeniu, doznaje przeciążenia, a wynik jego oddziaływania na jego ciało zależy od kierunku działania sił wywołujących te przyspieszenia. Przyjmuje się, że przeciążenia będące wynikiem oddziaływania przyspieszenia wywierającego wpływ na organizm pilota określane są wielokrotnością tzw. „g”, czyli wartości średniej przyspieszenia ziemskiego ($g=9,80665 \text{ m/s}^2$), oznaczanej jako „G” [11].

Przyspieszenia dzieli się według czasu trwania na:

- udarowe, działające w setnych/tysięcznych częściach sekundy;
- krótkotrwałe, działające w dziesiątych częściach sekundy;
- przedłużone, działające powyżej 1 sekundy;
- długotrwałe, działające w nieograniczonym czasie.



Rys. 1. Samolot MiG-29 w czasie wykonywania manewru wywołującego przeciążenia oddziałujące na organizm pilota

Kompensowanie wpływu siły ciężkości i przyspieszeń związanych z ruchem statku powietrznego wymaga od pilota pewnego wydatku energetycznego oraz adaptacji, gdyż organizm człowieka z reguły nie toleruje dużych sił bezwładności i ich zmian występujących w czasie lotu, powodujących zmianę odczuwania siły ciężkości. Skutkiem występowania sił bezwładności wywołanych wpływem przyspieszeń jest reakcja stresowa pilota. Wpływ sił bezwładności może dotyczyć hypergravitacji czyli przyspieszenia, którego efek-

tem mechanicznym jest przeciążenie (wzrost ciężaru ciała) oraz hypograwitacji malejącej aż do stanu nieważkości [11].

Rozpatrując wpływ przyspieszeń na organizm pilota (rys. 2.) należy określić następujące wartości towarzyszące:

- wartość maksymalnego przyspieszenia;
- czas trwania rozpatrywanego przyspieszenia;
- kierunek działania przyspieszenia względem osi ciała;
- szybkość narastania przyspieszenia;
- wydolność fizjologiczną badanego pilota.



Rys. 2. Widok pilota poddany oddziaływaniu przeciążeń liniowych w czasie manewrów samolotu wielozadaniowego MiG-29

Według [9] maksymalna tolerancja organizmu pilota na chwilowe przeciążenia stale wynosi odpowiednio: w osi podłużnej: od +83 „g”/0,04 s do -25 „g”/2,0 s, w osi bocznej: od +9 „g”/0,10 s do -9 „g”/0,10 s oraz w osi pionowej: od +20 „g”/0,10 s do -15 „g”/0,10 s.

Maksymalne chwilowe przeciążenia w osi pionowej, umożliwiające pilotowi wydawanie dźwięków mogących stanowić mowę zrozumiałą dla otoczenia, nie przekraczają 3÷4 „g” i zależą od stanu jego zdrowia, kondycji i stopnia wytrenowania przeciw przeciążeniowego. Szczegółowe określenie wyników w zakresie możliwości artykulacji mowy przez danego pilota w warunkach oddziaływania przeciążeń liniowych wymaga wykonania badań na specjalizowanych stanowiskach m.in. na wirówkach przeciążeniowych [11].

1. POKŁADOWE SYSTEMY KOMUNIKACJI WERBALNEJ I REJESTRACJI MOWY PILOTA

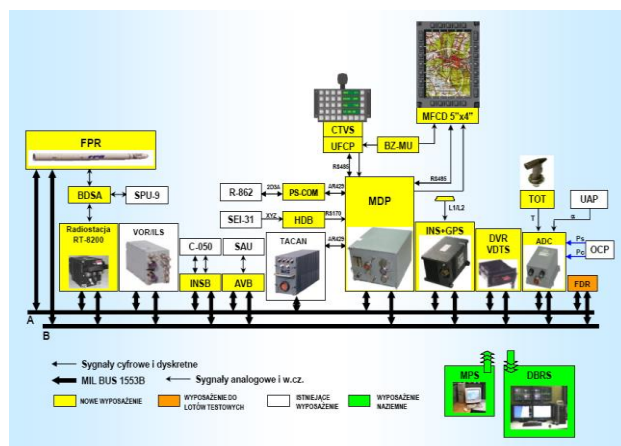
W polskim lotnictwie wojskowym, w skład pokładowych systemów komunikacji werbalnej wchodzi urządzenia łączności wewnętrznej (rozmównice pokładowe) i urządzenia łączności radiowej (radiostacje pokładowe). Stosowane są one na każdym wojskowym statku powietrznym do komunikacji wewnętrznej i zewnętrznej pomiędzy innymi SP, a systemami naziemnymi i kontroli przestrzeni. Natomiast systemy rejestracji mowy pilota są stosowane tylko na wybranych śmigłowcach wojskowych m.in. typu Mi-17, Mi-24 (magnetofon pokładowy MS-61) oraz śmigłowcach W-3WA i W-3PL Głuszc (magnetofon pokładowy MARS-BM) [1, 7].

Źródłem nagrań korespondencji radiowej są urządzenia w postaci laryngofonów, mikrofonów napełnianych lub zestawu mikrofonów zabudowanych w kabinie statku powietrznego, które przetwarzają głos pilota na postać analogowego sygnału elektrycznego, zapisywanego np. na taśmie magnetycznej lub metalowym drucie. W najnowszych rozwiązaniach do rejestracji dźwięku stosowane są pokładowe rejestratory dźwięku tzw. CVR (Cockpit Voice Recorder) [13], które zapisują sygnał w postaci cyfrowej przy wykorzystaniu nośników w postaci pamięci półprzewodnikowej (np. na MiG-29, F-16, CASA C-295M, C-130, W-3PL Głuszc i Mi-17/24).

Wśród informacji zapisanych na nośniku dźwięku podczas lotu znajdują się także odgłosy pracujących instalacji pokładowych, zespołu napędowego oraz szum pracy innych urządzeń zabudowanych w kabinie. Ich identyfikacja wymaga specjalizowanych stanowisk badawczych oraz zaawansowanych metod filtracji i analizy sygnałów zaszumionych [3, 4, 10].

1.1. Pokładowe urządzenia komunikacji werbalnej pilota z otoczeniem

Przykładem nowoczesnego zestawu urządzeń komunikacji werbalnej pilota z otoczeniem jest zintegrowany system awioniczny zabudowany na samolocie wielozadaniowym MiG-29 (rys. 3.).



Rys. 3. Schemat zintegrowanego systemu łączności zabudowanego na samolocie MiG-29 w wersji zmodernizowanej przez WZL-2

Nowe urządzenia awioniczne zostały zintegrowane na bazie cyfrowej szyny danych MIL-1553B (z interfejsami INSB-29, AVB-29 oraz HDB-29). Modyfikacja wyposażenia samolotu objęła zabudowę cyfrowego systemu rejestracji audio i wideo DVR z kamerą CTV dla zobrazowania wskaźnika przeziernego ŁS-31 oraz zabudowę cyfrowego bloku 2E-ME systemu zintegrowanego układu kontroli i ostrzegania EKRAAN [5, 7].

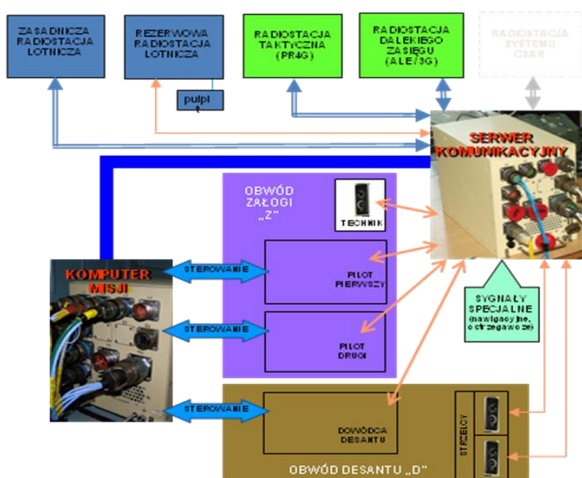
Z kolei zintegrowany system awioniczny, zabudowany na samolocie F-16, współpracuje z napełnianym systemem JHMCS (Joint Helmet-Mounted Cueing System). System ten zawiera wyświetlacz napełniany, blok integracji elektronicznej przy wykorzystaniu szyny MIL-STD-1553B, blok zasilacza niskonapięciowego, blok obliczeń linii wizowania oraz blok generacji symboli graficznych i komunikatów. Pilot kieruje głową w kierunku potencjalnego celu, co od razu powoduje naprowadzenie pocisku na cel. Funkcja jest przydatna zwłaszcza podczas wykonywania manewrów z dużym przeciążeniem. W misjach przeciwko celom naziemnym JHMCS wykorzystywany jest w połączeniu z czujnikami FLIR, radarem oraz inteligentnym uzbrojeniem, aby skutecznie atakować wybrane cele naziemne. System pozwala na prezentowanie pilotowi podstawowych danych niezależnie od tego, w którą stronę ma skierowany wzrok. W przypadku maszyn dwuosobowych, każdy z członków załogi może wykonywać inne zadania i jednocześnie mieć świadomość co robi jego partner. Podczas procesu celowania wystarczy skierować głowę na cel i wcisnąć przycisk uwalniający system uzbrojenia. Korzyści wynikające z rozbudowy zintegrowanych systemów awionicznych o pokładowe systemy komunikacji werbalnej to przede wszystkim poprawa komfortu pracy pilota oraz zwiększenie świadomości sytuacyjnej i taktycznej, dzięki której ma on bardziej przejrzystą wizualizację wskazań w kabinie, która oparta jest na technologii „glass cockpit”. Takie rozwiązanie zapewnia pełną kontrolę nad systemami pokładowymi i daje możliwość wymiany informacji w tzw. sieciocentrycznym systemie dowodzenia, gdzie głów-

nym zadaniem jest bezpośrednie wsparcie pilota w procesie przetwarzania informacji i realizacji zadań w każdych warunkach [7].

1.2. Pokładowe urządzenia rejestracji komunikacji werbalnej pilota z otoczeniem

Pokładowe urządzenia rejestracji komunikacji werbalnej pilota stanowią element składowy zintegrowanego systemu łączności, pozwalające na wykonanie analizy w warunkach naziemnych. Zapisy archiwizowane w pokładowych urządzeniach rejestracji mowy i dźwięków podlegają bieżącej weryfikacji i ocenie przez służbę inżynieryjno-lotniczą. Mogą być one także wykorzystywane w pracach Państwowej Komisji Badania Wypadków Lotniczych.

Przykładem nowoczesnego zintegrowanego systemu łączności, zawierającego pokładowe urządzenia rejestracji komunikacji werbalnej pilota z otoczeniem jest zintegrowany system łączności (rys. 4.) zabudowany na śmigłowcu W-3PL Głuszc. System ten wchodzi w skład cyfrowego zintegrowanego systemu awionicznego, opracowanego przez Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych (ITWL).



Rys. 4. Widok zintegrowanego systemu łączności zabudowanego na śmigłowcu W-3PL Głuszc

Nowoczesny cyfrowy system łączności zapewnia m.in.: komunikację zewnętrzną z innymi statkami powietrznymi i stanowiskami naziemnymi pracującymi w paśmie VHF/UHF/HF poprzez wykorzystanie łączności jawnej i niejawnej (COMSEC/TRANSEC) oraz automatyczne zestawianie połączeń (ALE/3G); komunikację wewnętrzną pomiędzy członkami załogi, dowódcą desantu, strzelcami pokładowymi na pokładzie śmigłowca; odsłuch sygnałów specjalnych (nawigacyjnych i ostrzegawczych); dostęp do dowolnej radiostacji pilotom i dowódcy desantu (niezależne kanały łączności); współpracę z systemem planowania łączności (autonomicznym lub w ramach systemu planowania misji); w wersji CSAR umożliwienie łączności z rozbitkiem, zapis parametrów lotu i korespondencji radiowej, szybki dostęp do danych o locie i ocena realizacji wykonania zadania [2, 7, 8].

Rejestrację sygnałów komunikacji werbalnej pilota umożliwia serwer komunikacyjny, sterujący pracą zintegrowanego systemu łączności. Dzięki integracji z magnetofonem pokładowym MARS-BM oraz zamontowaniu mikrofonów w kabinie, istnieje możliwość ciągłej rejestracji mowy i wykonywanych czynności przez załogę o wysokiej jakości nagrań. Zapewnia on ciągły zapis na taśmie magnetycznej informacji na czterech niezależnych kanałach: na trzech pierwszych informacja foniczna, na czwartym kanele informacja binarna. Magnetofon MARS-BM zapewnia zachowywanie zarejestrowanej informacji z ostatniego cyklu pracy, której czas trwania nie powinien być krótszy niż 30 minut [1].

2. WPLYW PRZECIĄŻEŃ LINIOWYCH NA JAKOŚĆ ARTYKULACJI MOWY PILOTA I JEGO ZAPIS W LOTNICZYCH SYSTEMACH REJESTRACJI

Wpływ przyspieszeń liniowych na jakość artykulacji mowy pilota związany jest z oddziaływaniem przeciążeń. Przeciążenie, jako efekt bezwładności, ma kierunek przeciwny do przyspieszenia. Wartości liczbowe podane przed kierunkiem i zwrotem przeciążenia oznaczają krotność wzrostu ciężaru ciała pilota w chwili jego występowania, w stosunku do zwykłych warunków ziemskich. Zwiększenie chwilowego ciężaru ciała pilota spowodowane mechanicznym wzrostem obciążenia wszystkich tkanek ustrojowych, odnosi się do tkanek miękkich, w tym narządu mowy [11].

2.1. Wpływ przeciążeń liniowych na narząd głosowy i jakość artykulacji mowy pilota

Ogólnie przyjmuje się, że przyspieszenie dwukrotnie wyższe od wartości przyspieszenia ziemskiego jest odczuwalne przez człowieka. Pierwszym doznaniem jest uczucie wzrostu ciężaru ciała. Przyspieszenie startowe „wtłacza” pilota w podstawę fotela wyrzucanego (katapultowego). Uczucie to występuje podczas „nabierania” prędkości niezbędnej do oderwania się od podłoża, co oznacza pojawienie się siły nośnej pozwalającej na przekroczenie grawitacji. W miarę dalszego narastania przyspieszenia zwiększa się ciężar ciała. W czasie wznoszenia płyny ustrojowe (krew, limfa) oraz tkanki miękkie w organizmie pilota przemieszczają się w kierunku przeciwnym do występującego przyspieszenia pionowego. Utrzymywanie głowy w pozycji wyprostowanej staje się dla pilota coraz trudniejsze. Ograniczane są ruchy „zbyt ciężkich” kończyn. Jak wynika z badań przeprowadzonych na wirówce przeciążeniowej, trudności wykonywania zamierzonych ruchów pojawiają się już podczas występowania przeciążeń rzędu +2,5 „g”. W takich warunkach zmiana pozycji głowy i rąk pilota staje się trudna lub nawet niemożliwa, obserwuje się także przemieszczenia tkanek miękkich. Szczególnie widoczne jest to w rysach twarzy. Tkanki miękkie twarzy przemieszczają się w kierunku zgodnym z działaniem przeciążenia. Wydłużają się rysy oblicza. Pogłębieniu ulegają bruzdy nosowo-wargowe. Opadają powieki górne, zaś dolne odwracają się. Występuje również przemieszczanie narządów wewnętrznych, szczególnie posiadających pewien zakres ruchomości, takich jak: serce, żołądek, jelita, wątroba, śledziona oraz przepona. Przemieszczanie narządów jamy brzusznej oraz przepony zmienia ciśnienie wewnątrzbrzuszne. W tych warunkach następują zmiany w rozmieszczeniu krwi i płynów ustrojowych. Pod wpływem działania sił bezwładności krew ulega przemieszczeniu do dolnych obszarów ciała. Niedokrwieniu ulegają obszary naczyniowe powyżej serca. Jest to wyrazem narastających zaburzeń hemodynamicznych [11].

W pewnych granicach, przy małych wartościach przyspieszeń, przeciążenie będące skutkiem przyspieszenia, może być tolerowane przez organizm pilota, wskutek uruchomienia mechanizmów kompensacyjnych szczególnie układu krążenia. Wzrasta wówczas ciśnienie tętnicze krwi, przyspieszeniu ulega akcja serca oraz zwiększają się naczynia oporowe w dolnych obszarach ciała. Jest to odpowiedź odruchowa na zmiany ciśnienia tętniczego krwi na poziomie głowy. Mechanizm ten przyczynia się do opóźnienia lub ustąpienia objawów niedotlenienia mózgu.

W miarę zwiększania się wartości przyspieszeń, narastają zaburzenia hemodynamiczne. Pojawiają się zaburzenia wzrokowe. Przy narastaniu przyspieszenia od 4,5 „g” do 5,5 „g” może wystąpić całkowite zaciemnienie pola widzenia, bez utraty świadomości. Pilot nic nie widzi, ale jest przytomny i reaguje na bodźce akustyczne. Zaburzenia słuchu i utrata świadomości pilota występują nagle przy szybko narastających przyspieszeniach na poziomie od +5,5 „g” do

+6,5 „g”. Szybkie narastanie przyspieszenia prowadzi do nagłych przemieszczeń płynów i narządów wewnątrz ciała.

Organizm człowieka różnie toleruje przyspieszenia. Odporność pilota na przyspieszenia zależy jest od jego aktualnej kondycji psychofizycznej. Czynniki decydującymi o tolerancji pilota pozwalającej na przeżycie oraz wpływającymi na jego aktywność psychiczną i fizyczną są m.in. wartości i kierunek występującego przyspieszenia liniowego, a także jego szybkość narastania i czas działania na jego organizm. Po wyprowadzeniu samolotu do lotu poziomego (np. wskutek działania systemu automatycznego sterowania lotem), wraca świadomość pilota, ale stan jego dezorientacji utrzymuje się jeszcze przez około 15 sekund [11].

2.2. Możliwości badania wpływu przeciążeń liniowych na narząd głosowy i jakość artykulacji mowy pilota

Do badań wpływu przyspieszeń liniowych na jakość komunikacji werbalnej pilota można wykorzystać typową wirówkę przeciążeniową m.in. w Wojskowym Instytucie Medycyny Lotniczej (WIML).

Wirówka przeciążeniowa (rys. 5.) umożliwia m.in. wytwarzanie przyspieszeń liniowych w osi pionowej w zakresie od 3 „g” do 16 „g” z maksymalnym przyrostem przeciążenia do 14,5 „g” na sekundę. Zawieszenie giroskopowe kabiny wirówki umożliwia wytwarzanie przeciążeń także w osiach poprzecznych: podłużnej w zakresie do 10 „g” i poprzecznej w zakresie do 6 „g”, w obu kierunkach.



Rys. 5. Widok wirówki przeciążeniowej wykorzystywanej do badania pilotów na oddziaływanie przeciążeń liniowych

Wirówka przeciążeniowa w swej istocie stanowi symulator lotniczy (szkoleniowy) w zakresie przeciążeń jakie odczuwa organizm pilota, wywołanych przyspieszeniami liniowymi i kątowymi, które występują w czasie wykonywania figur pilotażu na statku powietrznym. Daje ona możliwości zapoznania oraz oswojenia pilota z występowaniem dużych przeciążeń liniowych o przedłużonym czasie działania, jak monitorowania i diagnozowania jego wytrzymałości. Trening na wirówce umożliwia przygotowanie pilota do prawidłowego wykonywania czynności w ramach manewru przeciążeniowego (oddechów i napięcia mięśni) osłabiających negatywny wpływ przeciążeń m.in. (stany dezorientacji przestrzennej, osłabienie pola widzenia, utrata świadomości). Do obsługi wirówki służy stanowisko do monitorowania i diagnozowania badanych pilotów (rys. 6.). Wyposażone jest m.in. w monitory wielofunkcyjne, które zobrazowują m.in. działanie przyrządów pilotażowo-nawigacyjnych, zespołu napędowego wybranego SP, diagnozowanie medyczne m.in. EKG (elektrokardiografia) w celu monitorowania u badanego pilota pracy mięśnia sercowego w czasie wykonywanego lotu oraz zestawu mikrofonów i rozmównicy sieci radiowej pomiędzy wirówką, a stanowiskiem. W skład zespołu eksperckiego, prowadzącego badania

i obsługę wirówki wchodzi: inżynierowie, personel latający oraz lekarze WIML [11].



Rys. 6. Widok stanowiska do monitorowania i diagnozowania badanych pilotów za pomocą wirówki przeciążeniowej

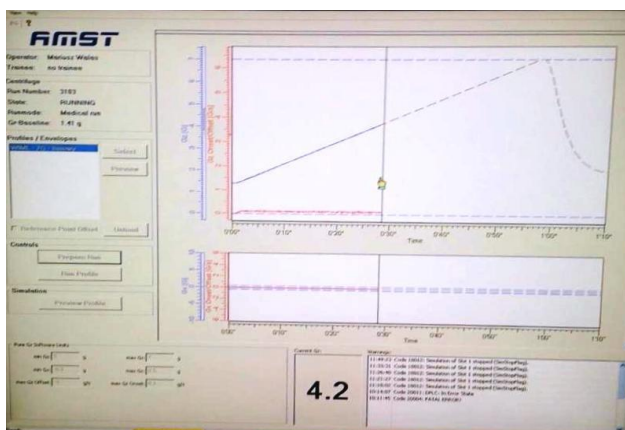
Wirówka przeciążeniowa przeznaczona jest głównie do badań, szkolenia i treningu pilotów samolotów wysokomanewrowych (wielozadaniowych, akrobacyjnych, sportowych). Umożliwia ona także wykonywanie badań eksperymentalnych w zakresie jakości komunikacji wizualnej i werbalnej pilota w warunkach oddziaływania dużych przeciążeń liniowych. Kabina wirówki umożliwia funkcjonalne odwzorowanie wyposażenia kabin wybranych samolotów m.in. MiG-29 i F-16 Block 52+, eksploatowanych w Siłach Zbrojnych RP. Posiada możliwości szkolenia pilotów w zakresie: wykonywania czynności podstawowych, wyprowadzania samolotu z nietypowych pozycji kątowych wywołujących duże przeciążenia, czynności w sytuacjach awaryjnych, podczas zastosowania bojowego przy zadanej orientacji sytuacyjno-taktycznej (5 iluzji) oraz w stanach dezorientacji przestrzennej (11 iluzji).

Wirówka przeciążeniowa WIML umożliwia wykonywanie lotów według przyrządów radionawigacyjnych np. VOR, VOR/DME, NDB, ILS oraz systemu TACAN (nawigowanie, podejście do lądowania), prowadzenie korespondencji werbalnej według standardowych procedur korespondencji radiowej (obsługa urządzeń systemu łączności), wykorzystanie procedur lotów w warunkach IFR (Instrument Flight Rules) – zasady lotu wykonywanego według wskazań przyrządów, podejścia do lądowania kontrolowanego z ziemi, wykonywanie lotów w szyku i prowadzenia nawigacji w trudnych warunkach atmosferycznych, wymagające od pilota ciągłej korespondencji werbalnej.

Badania jakości zobrazowania i komunikacji werbalnej pilota z otoczeniem w warunkach dużych przeciążeń liniowych zostały zaplanowane do wykonania na wirówce przeciążeniowej przy wykorzystaniu systemów nahałmowego zobrazowania informacji i urządzeń rejestrujących sygnały akustyczne pochodzące ze zintegrowanego systemu łączności, zabudowanego na śmigłowcach Mi-17/24 i W-3PL Głuszec [7, 8].

Wykonanie nagrań mowy (korespondencji radiowej) pilota powinno się odbyć w warunkach lotów symulowanych z oddziaływaniem przeciążeń liniowych, dla konfiguracji akustycznych charakteryzujących kabiny samolotów wojskowych MiG-29 i F-16 oraz dla konfiguracji neutralnej (bez tła akustycznego odpowiadającego pracy zespołu napędowego), z różnymi scenariuszami, realizowanymi przez wybranych (dwóch, trzech) pilotów wojskowych [2, 8].

Profil narastania przeciążenia może zostać wybrany jako liniowy (rys. 7.) lub wynikający z manewru realizowanego dla symulowanego lotu odpowiadającego wybranej misji, charakterystycznej dla samolotów wielozadaniowych MiG-29 i F-16.



Rys. 7. Widok zobrazowania parametrów badanego pilota w zakresie wytwarzanego przeciążenia na stanowisku

W czasie prowadzonych badań wymagana jest równoczesna rejestracja nagrania audio-wideo, umożliwiające obserwację regulacji i obsługę przyrządów pokładowych, dokonywanych przez pilotów w trakcie realizowanych lotów symulowanych.

Konstrukcja opracowanych scenariuszy poszczególnych misji uwzględnia fragmenty zawierające m.in. czas prowadzenia korespondencji przez pilotów, fragmenty zawierające przewagę odgłosów wykonywania czynności niezakłóconych potwierdzeniem ich wykonania, fragmenty zawierające przewagę odgłosów tła w wirówce związanych ze zmianą parametrów lotu (np. figur pilotażu, mocy zespołu napędowego itp.), a także zmiany przeciążeń. Czas trwania pojedynczej misji zaplanowany został na ok. 5 minut

Analizy zapisu korespondencji werbalnej pilota, realizowane w laboratorium badań fonoskopijnych Zakładu Awioniki ITWL, powinny być wykonane przy wykorzystaniu nagrań audio, audio-wideo oraz zapisów parametrów lotu. Zapisy z każdej misji powinny być utrwalone na płytach CD i DVD oraz nośniku urządzenia P-504N. Dodatkowo powinny być wykorzystane wybrane parametry biologiczne i techniczne zapisywane w trakcie trwania badań.

W celu ułatwienia odczytu rejestracja korespondencji werbalnej pilota symulującej kontakty „wieża – kabina” w postaci nagrań audio, powinna być realizowana równocześnie na dwóch rodzajach urządzeń:

- cyfrowym rejestratorze WIML, imitującym rejestrator naziemny wieży kontroli lotów (z parametrami zapisu o zadanych wartościach: 44kHz, 16 bit, mono);
- analogowym rejestratorze ITWL (typ P-504N), pełniącym rolę rejestratora pokładowego (pasmo zapisu - 16 kHz, mono).

3. PRZYKŁADOWE ZAPISY I WYNIKI ANALIZY JAKOŚCI KOMUNIKACJI WERBALNEJ W WARUNKACH ODDZIAŁYWANIA DUŻYCH PRZECIĄŻEŃ LINIOWYCH

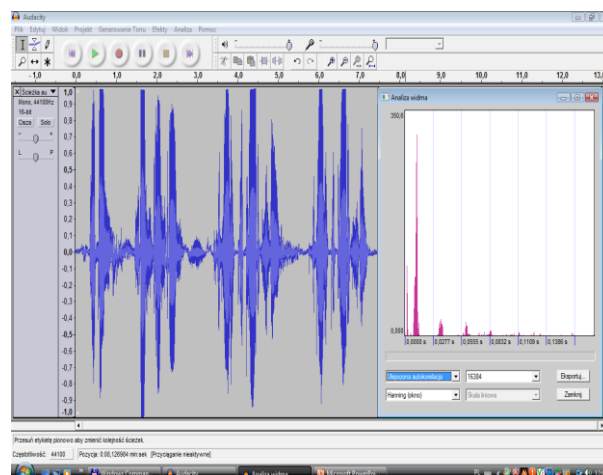
W ramach sprawdzeń przygotowawczych do badań na wirówce przeciążeniowej, w Zakładzie Awioniki ITWL wykonano testy zapisu dla aparatury rejestrującej oraz analizy jakości korespondencji werbalnej pilota w warunkach występowania chwilowych przeciążeń liniowych, wytwarzanych przy wykorzystaniu wstrząsarki udarowej.

Dokładne sprawdzenia stopnia oddziaływania dużych przeciążeń liniowych o wartościach ustalonych wymagają badań na wirówce przeciążeniowej i zostały zaplanowane do realizacji w WIML.

3.1. Zapis komunikacji werbalnej pilota z otoczeniem w warunkach występowania przeciążeń liniowych

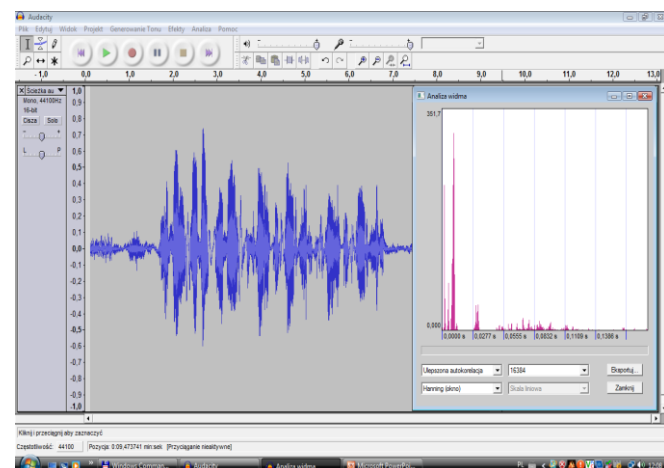
W pierwszym etapie wykonanych sprawdzeń, dokonano rejestracji mowy pilota w warunkach normalnych (rys. 8.), bez występo-

wania przeciążeń liniowych. W rozkładzie widmowym występują pojedyncze składowe harmoniczne, charakterystyczne dla częstotliwości nośnych głosu pilota [8].



Rys. 8. Widok przebiegu sygnału mowy i jego rozkład widmowy dla badanego pilota w normalnych warunkach (bez przeciążeń)

Ten sam scenariusz został zrealizowany przez pilota w warunkach oddziaływania chwilowych przeciążeń liniowych (rys. 9.), wytwarzanych na wstrząsarce udarowej o amplitudzie impulsu udarowego od 2 „g” do 4 „g”.



Rys. 9. Widok przebiegu sygnału mowy i jego rozkład widmowy dla badanego pilota w warunkach występowania przeciążeń

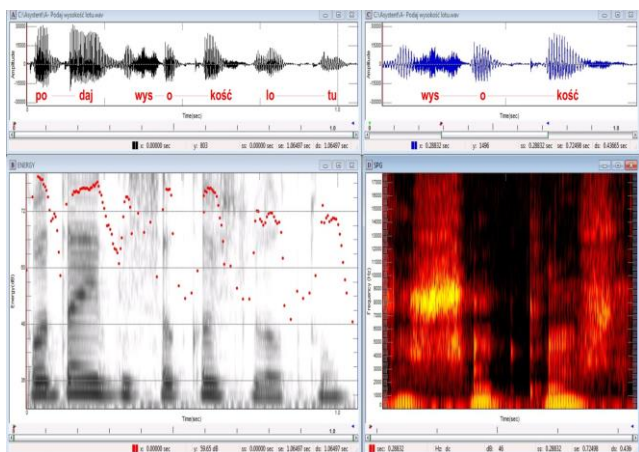
Do widocznych różnic można zaliczyć zmniejszenie natężenia głosu pilota oraz skrócenie czasu wypowiedzanych słów w czasie przeciążenia. W rozkładzie widmowym zapisu głosu pilota widoczne są dodatkowe zakłócenia, wynikające z dodatkowych przemieszczeń i drgań narządu mowy w czasie występującego udaru.

3.2. Wyniki analizy zapisu komunikacji werbalnej pilota poddanej przeciążeniom liniowym

Otrzymane wyniki (zapisy) sygnałów mowy w warunkach oddziaływania przeciążeń liniowych zostały poddane analizie przy wykorzystaniu zaawansowanych metod sonograficznych, stosowanych w laboratorium badań fonoskopijnych ITWL [8].

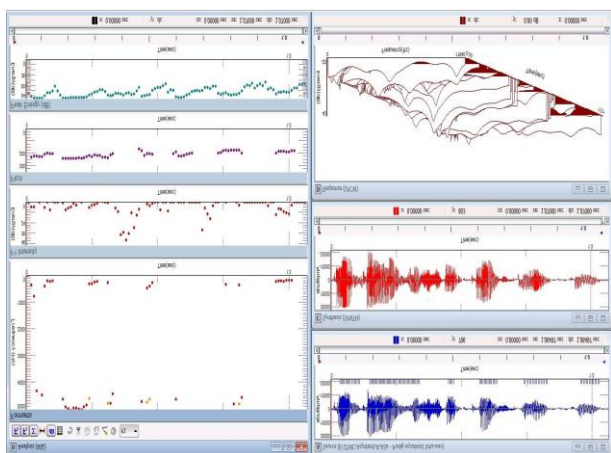
Otrzymane obrazy sonograficzne (rys. 10.), umożliwiające analizę częstotliwości formantowych w sygnale mowy według metody ASL, wykazały zmiany w ich przebiegu dla zapisu mowy pilota w warunkach oddziaływania przeciążeń. Ocenia się, że analiza zmiany położenia formantów w czasie oddziaływania przeciążeń na narząd mowy pozwoli określić możliwości wykorzystania tego zjawia-

ska w algorytmach stosowanych w systemach automatycznego rozpoznawania mowy w celu minimalizacji ich błędów [3, 4].



Rys. 10. Analiza sygnału mowy pilota w warunkach występowania przeciążeń z wykorzystaniem metody ASL

Zastosowanie liniowego kodowania predykcyjnego LPCW, czyli metody bazującej na analizie widma energii (rys. 11.), umożliwiło określenie m.in. natężenia energii sygnału w funkcji czasu, lokalnego maksimum i kąta nachylenia, a także obwiedni amplitudy sygnału, liczby przejść przez zero, odległości pomiędzy kolejnymi przejściami przez zero. W zakresie analizy parametrów częstotliwościowych możliwe jest zastosowanie dodatkowych metod pozwalających na określenie: dyskretnej funkcji autokorelacji, analizy z wykorzystaniem techniki Cepstrum oraz analizy częstotliwości podstawowej tonu krtaniowego i częstotliwości formantowych [3, 8, 10].



Rys. 11. Analiza sygnału mowy pilota w warunkach występowania przeciążeń z wykorzystaniem metody LPCW

PODSUMOWANIE

Przeciążenia liniowe występujące w czasie wykonywania figur pilotażu na statkach powietrznych stanowią jeden z głównych czynników zakłócających mowę i zdolności komunikacyjne pilota. Tolerancja pilota na oddziaływanie przeciążeń w znacznej mierze zależy od wartości i czasu ich działania. Zdrowy człowiek toleruje przyspieszenie ok. 2 „g”. Przyspieszenia powyżej 3 „g” załamują możliwości tolerancji zmian hemodynamicznych, czego następstwem są postępujące objawy niedotlenienia krążeniowego i utraty zdolności mowy.

Badania w zakresie jakości komunikacji werbalnej pilota w warunkach oddziaływania dużych przeciążeń liniowych są podstawą do określenia możliwości stosowania systemów rozpoznawania mowy na pokładzie statku powietrznego. Aktualnie na świecie istnieje

je kilka systemów komunikacji werbalnej z pilotem np. firmy ADACEL, zabudowanych na samolotach wielozadaniowych m.in. F-16 Vista i F-35. Systemy te przyjmują komendy głosowe składające się z uprzednio zdefiniowanych słów, które poddawane są analizie w celu określenia znaczenia informacji podawanej przez pilota.

Powszechnie stosowane rozwiązania w zakresie algorytmów rozpoznawania mowy, wykorzystywane np. w telefonii komórkowej, pojazdach mechanicznych, budynkach mieszkalnych, nie sprawdzają się w warunkach występujących w czasie lotu statku powietrznego. W dostępnych systemach automatycznego rozpoznawania mowy stosowane jest porównanie uzyskanych zespołów cech mowy z zapisanymi w pamięci systemu wzorcami przy użyciu standardowych lub własnych metod m.in. funkcji autokorelacji, liniowego kodowania predykcyjnego, ukrytych modeli Markowa, zaawansowanych algorytmów rozpoznawania obrazów oraz sztucznych sieci neuronowych (prostych lub modyfikowanych). Aby metody te mogły działać poprawnie w warunkach lotu statku powietrznego niezbędne jest określenie dopuszczalnych warunków ich pracy np. poprzez monitoring wartości przeciążeń oddziałujących na organizm pilota.

Otrzymane wyniki badań wstępnych potwierdziły zakładany wpływ dużych przeciążeń liniowych na zachowanie się narządu mowy, a to przełożyło się na jakość korespondencji werbalnej pilota w czasie wykonywania figur pilotażu na wybranym typie statku powietrznego. Wykazały one ograniczenia, jakie należy brać pod uwagę przy budowie algorytmów automatycznego rozpoznawania mowy, wykorzystywanych w systemach werbalnego wsparcia pilota w postaci tzw. „asystenta komunikacji werbalnej”.

BIBLIOGRAFIA

1. Benias M., Brzuzek A., Tuziak R., *Urządzenia radioelektroniczne śmigłowca W-3*, WSOSP, Dęblin, 2005.
2. Instrukcja MON, *Zasady prowadzenia korespondencji radiowej w lotach taktycznych oraz bojowych*, WLOP, Poznań, 2009.
3. Kacprzak S., *Inteligentne metody rozpoznawania dźwięku*, Łódź, 2010.
4. Keshet J., Bengio S., *Automatic Speech and Speaker Recognition*, Wiley, 2009.
5. Materiały reklamowe WZL-2, *Zakres modernizacji wyposażenia pokładowego samolotu MiG-29*, Bydgoszcz, 2011.
6. Pawłowski Z., *Foniatryczna diagnostyka wykonawstwa emisji głosu śpiewaczego i mówionego*, Impuls, Warszawa, 2005.
7. Pazur A., Kowalczyk H., Głyda K., Paszek S., *Rewitalizacja systemów łączności na śmigłowcach wojskowych w aspekcie współczesnych konfliktów zbrojnych*, Sieradz, 2015.
8. Prusik T., Malanowicz A., Pazur A., Szelmanowski A., *Stworzenie zintegrowanej bazy wojskowych - pokładowych i naziemnych - rejestratorów rozmów oraz nagrań lotniczych*, ITWL, Warszawa, 2016.
9. Rash C.E., Russo M.B., Letowski T.R., Schmeisser E.T., *Helmet-Mounted Display: Sensation, Perception and Cognition Issues*, Fort Drucker, 2010.
10. Reguski R., Nowak A., *Zastosowania systemu rozpoznawania mowy do sterowania i komunikacji głosowej z urządzeniami mechatronicznymi*, *Pomiary Automatyka Robotyka*, 2013, nr 2.
11. Skrzypkowski A., *Medycyna lotnicza. Fizjologia i trening lotniczy*, WIML, Warszawa, 2012.
12. Szelmanowski A., Pazur A., Prusik T., Malanowicz A., *Komputerowe wspomaganie pracy pilota wielozadaniowego samolotu wojskowego na bazie asystenta komunikacji werbalnej*, *Technika transportu szynowego*, 2015, nr 12.
13. Wesson R.B., Pearson G.M., *Voice-Activated Cockpit for General Aviation*, London, 2006.

Quality testing of the pilot's verbal communication with the environment in conditions of the occurrence of large linear loads

The paper presents the results of analytical works implemented in the Air Force Institute of Technology in terms of the possibilities of conducting and analysing the pilot's verbal communication in the multi-purpose aircraft cockpit, under conditions of influence of large linear loads, which occur during the performance of manoeuvres. The selected on-board verbal communication and the pilot's speech recording systems used in the aircraft operated in the Polish Armed Forces were discussed. Particular attention was paid to the research problems related to the construction of integrated avionics systems, which verbally support the pilot's work and record his speech, but also to the methods used in the speech phonoscopic examination and inarticulate voice

parameters, as well as other sounds coming from the aircraft cockpit (the so-called background noise) were presented. Sample records and analysis results of the pilot's verbal correspondence quality under conditions of influence of large linear loads, in addition, the scope of using these results in future research works (on the high-G training) were presented.

Autorzy:

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

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

mgr inż. **Mirosław Sobielski** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Awioniki

mgr inż. **Tomasz Prusik** – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa, Zakład Awioniki