

prof. dr hab. inż. Aleksander OLEJNIK
Instytut Techniki Lotniczej
Wydział Mechatroniki i Lotnictwa
Wojskowa Akademia Techniczna

Warszawa, dn. 20.10.2014 r.

INSTYTUT LOTNICTWA
Aleja Krakowska 110/114
02-256 Warszawa
NIP: 525-000-84-94
Numer KRS: 0000034960

wpłynęło dnia
03.11.2014

Recenzja pracy doktorskiej
mgr inż. Włodzimierza GNAROWSKIEGO

pt.: **Metoda podwyższania właściwości manewrowych samolotu w układzie górnopłata**”

1. Podstawa opracowania

Zlecenie Dyrektora Instytutu Lotnictwa z dnia 01.10.2014 r. (SN/49/2014)

2. Wstęp

W pracy przedstawiono kompleksowe podejście na drodze badań doświadczalnych, rozwiązywania zagadnień zwiększania właściwości manewrowych samolotów szkolno – treningowych, zbudowanych w układzie górnopłata. Opracowane metodyki zostały przeanalizowane na przykładzie samolotu I-22 „Iryda”. Podjęte przez Doktoranta problemy badawcze są zagadnieniami złożonymi z punktu widzenia nauki, niezwykle ważnymi i ciekawymi ze względów użytkowych. Badania w procesie aerodynamicznego projektowania samolotu I-22 realizowano, wykorzystując bazę tuneli aerodynamicznych Instytutu Lotnictwa. Uzyskane wyniki badań modeli w tunelach aerodynamicznych „1,5m” i „5m” (małe prędkości przepływu) i w tunelu N3 (duże prędkości przepływu) oraz porównanie ich z wynikami otrzymanymi z badań prototypów w locie, uzasadniają tezę rozprawy która brzmi: „podwyższenie manewrowości samolotu szkolno – treningowego w układzie górnopłata o klasycznej aerodynamice można osiągnąć przez zastosowanie mechanizacji skrzydła i wyposażenie go w pasmo (Strake, LEX) zabudowane u nasady skrzydła”.

Praca liczy 117 stron i zawiera: 78 rysunków, 8 tabel i wykaz 41 pozycji literatury. Przedstawione w bibliografii pozycje tematycznie wiążą się z napisaną pracą. Opracowany i zrealizowany przez Doktoranta plan (przedstawiono go na stronie 27 rozprawy) działań projektowo – badawczych, jest znacznym wkładem w postęp na drodze projektowania statków powietrznych. Wyniki badań przedstawione w rozprawie mogą być wykorzystane przez konstruktorów jak i inżynierów nadzorujących eksploatację statków powietrznych w zakresie bezpieczeństwa wykonywania lotów.

W Doktoracie wykorzystano materiały źródłowe pochodzące ze sprawozdań z etapowych badań laboratoryjnych prowadzonych w Instytucie Lotnictwa w okresie pełnienia przez Autora rozprawy stanowiska Głównego Konstruktora programu budowy samolotu I-22 „Iryda”.

3. Krótkie omówienie treści pracy

Praca składa się z jedenastu krótkich rozdziałów, streszczenia, spisu rysunków i tabel, wykazu oznaczeń, wykazu literatury i trzech załączników. We wstępie Doktorant dokonał przeglądu badań nad manewrowością samolotów w światowych ośrodkach przemysłu lotniczego: w Wielkiej Brytanii, Niemczech, w Szwajcarii i w Stanach Zjednoczonych.

Nie wymienił badań prowadzonych w byłym Związku Radzieckim. Publikacje dotyczą końca lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego stulecia, łącznie z najpoważniejszym raportem AGARD-CP-247 w którym przedstawiono wyniki badań, prawdopodobnie jednego z najbardziej rozbudowanych programów badawczych, poświęconych wpływowi pasma przykadłubowego na właściwości lotne samolotu manewrowego. Jest interesującą rzeczą czy Doktorantowi znany był powyższy raport na etapie prowadzonych modernizacji samolotu I-22 „Iryda” w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia. W rozdziale drugim przedstawił tę rozprawę (tak też zatytułował ten rozdział) oraz przedstawił swój udział w olbrzymim zbiorowym przedsięwzięciu badawczym, jakim była modernizacja samolotu I-22 „Iryda”, polegająca na podwyższeniu jego manewrowości. W rozdziale trzecim zidentyfikował parametry brane do oceny właściwości manewrowych samolotu. Większość z nich uzależniona jest bezpośrednio od współczynnika siły nośnej, siły oporu, masy samolotu oraz dysponowanego ciągu silników. Dla podwyższenia siły nośnej skrzydła w zakresie małych prędkości oraz zmniejszenia odgięcia strug przepływu za skrzydłem, Doktorant zaproponował wprowadzenie mechanizacji skrzydła opartej na działaniu kłapy Fowlera.

Dalsze rozdziały rozprawy dotyczą:

- Badań w zakresie małych prędkości w tunelu aerodynamicznym o średnicy 1,5m;
- Badań w zakresie małych prędkości w tunelu aerodynamicznym o średnicy 5m;
- Badań kontrolnych w tunelu aerodynamicznym dużych prędkości;
- Przygotowania prototypów do badań w locie;
- Badań w locie w zakresie małych prędkości;
- Badań w locie w zakresie dużych prędkości – wyznaczenie granicy buffetingu;
- Wnioski;

- Rekomendacja dla dalszych badań nad manewrowością samolotów.

Autor zaproponował kilka wersji pasm. Wersje pasm różniły się między sobą kształtem krawędzi natarcia i procentową wielkością powierzchni pasma badanego skrzydła. Przeprowadzone badania w tunelu 1,5 m dotyczyły:

- Pomiarów wagowych podstawowych charakterystyk aerodynamicznych;
- Pomiarów stateczności kierunkowej dla wybranego wariantu pasma;
- Wizualizacji opływu skrzydła.

Do dalszych badań wybrano wersję pasma o powierzchni 2% powierzchni skrzydła. Zastosowanie pasma między innymi spowodowało wzrost siły nośnej modelu oraz wzrost krytycznego kąta natarcia. Przeprowadzone badania wykazały konieczność zwiększenia stateczności kierunkowej modelu samolotu.

Badania wizualizacji potwierdziły zastosowania pasma w celu opóźnienia zjawiska powstania oderwania na skrzydle wewnętrznym. Interesuje mnie czy na rys. 4.4 skala dla momentu C_{m_y} jest taka sama jak dla C_z ?

Badaniom w tunelu pięciometrowym podlegały dwa warianty zaproponowanej przez Autora mechanizacji skrzydła. Pierwszy dotyczył umieszczenia slotu na krawędzi natarcia skrzydła zewnętrznego oraz klapy typu Fowler. Drugi dotyczył umieszczenia slotu na wewnętrznej i zewnętrznej krawędzi skrzydła oraz klapy Fowlera. Podstawowym urządzeniem pomiarowym tunelu (5m) była tensometryczna waga aerodynamiczna, która została zaprojektowana i wykonana przez szwedzka firmę AKTIEBOLAGET ROLLAB. Podczas badań dokonywano równoległe pomiarów drgań usterzenia poziomego przy pomocy pomiaru napięcia z mostka tensometrycznego naklejonego na usterzenie poziome.

W rozdziale piątym natrafiłem na następujące błędy:

str. 58 rys. 5.12 podpis pod rysunkiem brzmi „Porównanie charakterystyk aerodynamicznych $C_x(\alpha)$, $C_z(\alpha)$ oraz $C_{m_y}(\alpha)$ dla modelu z wybranym wariantem pasma w konfiguracji mechanizacji skrzydła do lądowania przed i po modyfikacji” – przedstawiono jedynie charakterystyki $C_z(\alpha)$ i $C_{m_y}(\alpha)$,

podobnie jak wyżej, częściowo błędne podpisy pod rysunkami rys. 5.13 str. 59, rys. 5.14 str. 60, rys. 5.15 str. 61, rys. 5.16 str. 62.

Otrzymane wyniki z badań w tunelu 5m wykazały skuteczność oddziaływania pasma na centralną część skrzydła, podobnie jak badania w tunelu 1,5m. Porównanie wyników poziomemu drgań usterzenia poziomego dla modelu z pasmem i bez, jednoznacznie wskazuje, że pasmo obniża poziom drgań na dużych kątach natarcia powierzchni nośnych,

w różnym stopniu dla konfiguracji lotu. Wyniki tych badań zestawiono w tabeli nr 3 na str. 65 pracy. Celem badań prowadzonych w tunelu dużych prędkości było sprawdzenie prawidłowości przebiegu charakterystyk aerodynamicznych modelu samolotu z zabudowanym pasmem i powiększonym statecznikiem pionowym, dla różnych liczb Macha. Badania miały charakter kontrolny i przeprowadzono je na modelu w skali 1:25. Badania prowadzono w zakresie liczb Macha $M = 0,3 \div 0,85$. Ograniczone możliwości pomiarowe tunelu pozwoliły jedynie na przeprowadzenie badań przy wysokich liczbach Macha dla wartości kąta natarcia $\alpha = 8,5^\circ$. Badano wpływ liczby Macha na wartość pochodnej aerodynamicznej $dC_z/d\alpha$, kąta natarcia zerowej siły nośnej i współczynnika oporu minimalnego.

Wprowadzenie zmian wynikających z badań nad prototypem samolotu zrealizowano w dwóch etapach. W etapie pierwszym wprowadzono zabudowę pasma oraz podwyższono statecznik pionowy. Wykonano obliczenia obciążeń, obliczenia wytrzymałościowe, opracowano programy prób statycznych i badań w locie. Próby statyczne zostały przeprowadzone pod nadzorem Doktoranta. Prototyp samolotu został oblatany w dniu 7 lutego 1997 roku. W etapie drugim – przebudowie podlegał samolot na którym (ponadto co zrobiono w etapie pierwszym) wprowadzono całkowicie zmienioną mechanizację skrzydła składającą się z dwusegmentowych slotów na krawędzi natarcia skrzydła i klapy typu Fowler. Realizację warsztatową podzespołów i części do prób oraz do zabudowy na prototypie wykonywał OBR WSK Mielec pod nadzorem Doktoranta. Samolot został oblatany 16 sierpnia 1997 roku. Badania w zakresie małych prędkości były prowadzone na dwóch prototypach samolotu, wyposażonych w silniki „Kaszub-15” z wydłużonym statecznikiem pionowym i zabudowanym pasmem. W pierwszym etapie celem badań w locie prototypu była: ocena sterowności podłużnej, ocena właściwości przecignięcia w locie prostoliniowym i w zakręcie, określenie prędkości przecignięcia, określenie prędkości minimalnej zakrętu, ocena stateczności bocznej i kierunkowej. W etapie drugim prototyp miał zabudowane klapy Fowlera w miejsce klapy szczelinowej, pozostałe elementy były jak w etapie pierwszym. Zakres badań obejmował wszystkie elementy z etapu pierwszego. Warunki prób oraz charakterystyki obiektu badań podano w tabelach: Tabela 5 i Tabela 6 na str. 79. Najważniejsze wyniki badań można przedstawić w następujący sposób:

- Wprowadzenie pasma spowodowało obniżenie prędkości przecignięcia V_S samolotu o 10,7% i podwyższenie krytycznego kąta natarcia α_{kr} o 60% w stosunku do konfiguracji samolotu bez pasma;

- Wprowadzenie pasma, slotu i kłapy Fowlera w położeniu manewrowym spowodowało obniżenie prędkości przeciągnięcia V_S samolotu o 28,5% i podwyższenie kąta natarcia α_{kr} o 65% z jednoczesnym wzrostem C_z o 93,5% w stosunku do konfiguracji samolotu niemodyfikowanego. W konfiguracji manewrowej nie zauważono podczas badań efektu utraty stateczności kierunkowej;
- Podczas wykonywania ślizgów samolot wykazywał poprawne właściwości lotne.

Porównanie wyników badań w locie z badaniami tunelowymi wskazuje na dobrą zgodność po uwzględnieniu poprawek wynikających ze zmiany liczby Reynoldsa.

Tabela 7 str. 81.

4. Krytyczna ocena pracy

Praca swym zakresem obejmuje szeroki wachlarz zagadnień poczynając od badania modeli samolotu I-22 „Iryda” w laboratoriach aerodynamicznych małych i dużych prędkości po badania w locie, samolotu nie zmodyfikowanego i samolotu modyfikowanego. Opracowana i wdrożona metoda projektowania rozwiązań konstrukcyjnych wspomagana była na wczesnym etapie badaniami w tunelach aerodynamicznych małych i dużych prędkości co przyspieszało podejmowanie odważnych decyzji o zmianie geometrii bryły samolotu, i doprowadziło do ostatecznej jej konfiguracji.

Badania w locie zrealizowano w dwóch etapach. W etapie pierwszym badano zmiany obejmujące zabudowę pasma oraz podwyższenie statecznika pionowego. W etapie drugim na prototypie z zabudowanym pasmem oraz podwyższonym statecznikiem pionowym, badano nową mechanizację skrzydła, składającą się z dwusegmentowych slotów na krawędzi natarcia skrzydła i kłap Fowlera na spływie. Za oryginalny dorobek Doktoranta należy uznać to, że zaproponowana przez Doktoranta metoda doboru elementów mechanizacji skrzydła, kształtu pasma, prowadzenia badań statycznych i badań w locie na prototypach pozwoliła na osiągnięcie przez modernizowany samolot cech samolotu o podwyższonej manewrowości. Przyglądając się współczesnym samolotom szkolno-treningowym takim jak Jak-130, T-50 Golden Eagle oraz Aeromacchi MB-346 można łatwo zauważyć, że mają wspólną cechę, która zawiera: pasmo umieszczone u nasady skrzydła w obszarze kabiny drugiego pilota, rozbudowaną mechanizację krawędzi natarcia i spływu skrzydła oraz dużą powierzchnię statecznika pionowego.

Podobnie jak zmodernizowana wersja samolotu I-22 „Iryda” M96, co jest nie wątpliwie istotnym twórczym wkładem Doktoranta w proces projektowania samolotów. Zaprezentowane w pracy analizy i badania pozytywnie zweryfikowały tezę naukową rozprawy.

5. Ocena redakcji rozprawy

Praca napisana jest starannie, poprawną polszczyzną, komunikatywnie. Ilustracje graficzne wykonane są starannie i przejrzysto. Redakcję całej pracy uznaję za bardzo dobrą.

6. Wnioski

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Włodzimierza GNAROWSKIEGO stanowi poznawczy i praktyczny wkład do nauki o projektowaniu, budowie i eksploatacji samolotów. Autor dowiódł przy tym, że posiada umiejętność właściwego formułowania problemów badawczych i umiejętność ich rozwiązywania. Mam pełne uznanie dla staranności i wnikliwości przeprowadzonych analiz doboru elementów mechanizacji skrzydła, kształtu pasma, prowadzenia badań wytrzymałościowych i badań w locie na prototypach. Doktorant z podjętego zadania wywiązał się wzorowo. W świetle powyższego uważam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska spełnia wszystkie warunki określone w przepisach obowiązujących w tym względzie. Osiągnięcia Doktoranta odpowiadają wynikom badań przeprowadzonych przez światowe firmy lotnicze w zakresie uzyskiwania cech podwyższania manewrowości samolotów szkolno - treningowych. Powyższe argumenty są doskonałym uzasadnieniem na to aby praca doktorska Pana mgr inż. Włodzimierza GNAROWSKIEGO została wyróżniona przez Radę Naukową Instytutu Lotnictwa. Stawiam wobec następujące wnioski:

- dopuszczenie mgr inż. Włodzimierza GNAROWSKIEGO do egzaminu i publicznej obrony;
- wyróżnienie tej pracy w sposób przyjęty w Instytucie Lotnictwa.

