

Prof. Mgr. Ing. Jaroslav Salga, CSc.
emeritní profesor UO Brno

Oponentní posudek disertační práce

Identifikace aerodynamických charakteristik atmosférického letadla z výsledků letových měření

doktorand: Ing. Pavel Zikmund
školitel: doc. Ing. Vladimír Daněk, CSc.

Předložená disertační práce obsahuje 79 stran textu včetně cílů práce, přehledu, obsahu, seznamu označení, seznamu použité literatury a rozsáhlého souboru příloh v počtu 29 stran, především s časovými průběhy měřených a odhadnutých parametrů. V souladu s názvem se zabývá stanovením aerodynamických součinitelů a aerodynamických derivací podélného pohybu letounu z letových měření. Formálně je rozdělena do 15 kapitol, obsahově ji lze rozdělit do tří částí (příprava matematického modelu, letová měření, identifikace parametrů s rozбором dosažených výsledků). Obsah práce, její struktura, návaznost jednotlivých částí a prezentování dosažených výsledků odpovídají tématu práce a rozsahu řešené problematiky.

Aktuálnost tématu

Zjišťování aerodynamických charakteristik letadla je v letectví trvale aktuální záležitostí. Jejich znalost patří mezi výchozí podklady již při předběžném návrhu letounu, při posuzování jeho výkonů i letových vlastností. Prvotní hodnoty poskytnou obvykle semiempirické postupy nebo tunelová měření na modelu. Identifikace těchto parametrů z letových měření je možná až na hotovém letadle. Získané výsledky identifikací pak slouží k porovnání s hodnotami získanými odlišnými postupy, k modelování pohybu letadla na počítači s cílem jeho zlepšení, k detailní analýze jeho možností a v neposlední řadě k rozšíření databáze aerodynamických charakteristik letadel. Využití dynamických měření za letu je umožněno v současnosti náročným přístrojovým vybavením a výkonnou výpočetní technikou.

Disertační práce se zabývá touto závažnou problematikou, a to jak z hlediska návrhu matematického modelu, přípravy a realizace experimentu, tak zevrubným rozбором dosažených výsledků.

Splnění stanoveného cíle

Cíle disertační práce jsou explicitně vyjádřeny v kap. 1. Je to identifikace aerodynamických charakteristik pro podélný pohyb letounu zahrnující teoretickou přípravu, realizaci letového experimentu a identifikaci parametrů. Měření disertant realizoval na bezpilotním prostředku VUT 700 Specto vyvíjeném v Leteckém ústavu s využitím měřicí ústředny SEDAQ pro dynamická měření. Způsob zpracování práce svědčí o tom, že doktorand je seznámen se současným stavem řešení této problematiky a dovede metodu prakticky aplikovat. Hlavní cíle práce byly splněny, přestože se nepodařilo plně postihnout všechny očekávané vlivy. V práci je navrženo rozšíření experimentu, které umožní zpřesnění identifikace vlivu úhlové rychlosti klopení. Přínosem práce je rovněž uvedení navrhovaného bezpilotního prostředku do provozu schopného experimentálního zařízení.

Zvolené metody řešení

K získání aerodynamických parametrů jsou využívány tři identifikační metody (EEM – Error Equation Method, OEM – Output Equation Method, FEM – Filter Error Method). Disertant metody stručně charakterizuje, rozebírá jejich přednosti a nedostatky a uvádí algoritmus výpočtu. Matematický model letounu je založen na obvyklém předpokladu absolutně tuhého

tělesa, který je charakterizován vztlakovou i momentovou křivkou v lineární oblasti a parabolické polárou. Charakteristiky jsou účelně rozebírány ve dvou variantách (základní s vlivem výchyly výškového kormidla, rozšířená o vliv úhlové rychlosti klopení). Pohybové rovnice v požadovaném tvaru jsou vyvozeny ze sil působících na letoun. V rámci přípravy vlastního měření sestavil autor model letového měření v Matlabu v modulu Simulink k simulaci letového měření. Získané výsledky i provedené rozbory prokázaly schůdnost navržených postupů z hlediska rozlišovací úrovně modelu i z hlediska možnosti a přesnosti samotných výsledků. K této části je třeba zařadit rovněž variantní přípravu bezpilotního prostředku s měřicí ústřednou včetně popisu snímačů a způsobu záznamu GPS a autopilota.

Hodnocení výsledků a přínos práce

Práce přináší poznatky a konkrétní údaje identifikace aerodynamických parametrů z letových měření realizovaných v podmínkách Leteckého ústavu. Jedná se o konstanty a derivace vztlakové, momentové křivky a poláry s vlivem výchyly výškového kormidla a úhlové rychlosti klopení. Nedílnou součástí experimentu bylo změření poláry a stanovení tahu vrtule. Dosažené výsledky autor porovnává pro jednotlivé identifikační metody, pro obě varianty vyjádření charakteristik současně s údaji analytických metod a SW Datcomu a dochází přijatelným srovnáním. Je třeba ocenit dosažení výsledků i s ohledem na časové možnosti disertace, nezbytné úpravy letounu i měřicí ústředny a možné měření pouze za příznivých atmosférických podmínek. Z pěti realizovaných letů byly využitelné pouze dva, kdy byl let řízen autopilotem a ze kterých pak byly vybrány časové úseky pro identifikaci (celkem 10). Disertační práce přináší nové poznatky pro leteckou praxi a rozvoj vědního oboru. I přes malý rozsah letů disertant prokázal jak schůdnost uvedeného postupu v daných podmínkách, tak vymezil požadavky na změny v tuhosti letounu i zpřesnění měření pro zachycení všech vlivů. Úpravy budou nezbytné při rozšíření metody na parametry stranového pohybu.

Formální úprava a jazyková úroveň

Předložená práce je zpracována na požadované odborné úrovni a logicky členěna. Je úměrně doplněna obrázky a přílohou částí zahrnující výsledky měření a vyhodnocení. Rovněž jazyková stránka je na dobré úrovni. Připomínky k práci se vztahují především k formální stránce: např. některé části by si zasloužily širší vysvětlení (především u uvedených vztahů), schémata na obr. 7, 8 jsou malá a tím špatně čitelná, není dodržována interpunkce při zápisu rovnic v textu. Teze disertační práce splňují požadavky na tento druh publikací.

Dotazy k práci

Při obhajobě ať se doktorand vyjádří k těmto dotazům:

- Proč v rovnicích (5) a (8) se uvádí člen C_{Lo} při absolutním úhlu náběhu?
- Proč v rovnici (8) není uváženo vliv výchyly výškového kormidla?
- Jak by se změnila svislá poloha těžiště a jaký je její vliv na momentovou křivku?
- Naznačit odvození rovnice (20)
- Jak byl získán vztah mezi celkovým tlakem a teplotou (str. 33)?
- Proč není zahrnut v rovnicích (36) a (37) vliv tíhové síly?

Závěr. Předložená práce je zpracována pečlivě. Řeší aktuální a pro leteckou praxi důležitou úlohu, nalezení aerodynamických parametrů podélného pohybu letounu metodou identifikace na základě měření za letu. Prokazuje připravenost a schopnost doktoranda k samostatné tvůrčí práci. Disertační práce Ing. Pavla Zikmunda splňuje všechny požadavky §47, ods.4 zákona č. 111/98 o vysokých školách, a proto ji doporučuji předložit k obhajobě a po její úspěšné obhajobě udělit akademický titul „doktor“ (Ph.D.).

V Brně dne 8.září 2013