

SKLANDYTUVO LAK 17a ŠONINIO STABILUMO CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS SKAITINIŲ METODU

Paulius Gildutis¹, Eduardas Lasauskas²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹paulius.gildutis@agst.vgtu.lt; ²eduardas.lasauskas@vgtu.lt

Santrauka. Kompiuterinis geometrinis sklandytuvo Lak 17a modelis sugeneruotas programa AVL, kuri skirta orlaivių konfigūracijos ir skrydžio charakteristikų analizei. Imituojant realų skrydį programa suskaičiuotos įvairios pastovumo ir pavaldumo charakteristikos. Pagal gautus rezultatus suformuluotos išvados kiekvienam šoninio nestabilumo atvejui ir pateiktos rekomendacijos, kaip būtų galima pagerinti orlaivio stabilumą ir pavaldumą.

Reikšminiai žodžiai: olandiškas žingsnis, šoninis stabilumas, AVL, Lak 17a, nestabilumas, spirālė.

Įvadas

Projektuojant orlaivį inžinieriai turi parinkti tokią jo formą, sparno ir uodegos išdėstymą liemens atžvilgiu, kad skrydis būtų stabilus ir lengvai valdomas. Norint tai pasiekti, projektavimo metu taikomas kompiuterinis modeliavimo būdas bei tiriamos įvairios skrydžio charakteristikos. Darbuose, nagrinėjančiuose orlaivių stabilumo ir pavaldumo charakteristikas, pažymima šoninio stabilumo svarba (Abzug 2002; Stinton 1998). Tačiau sklandytuvų šoninio stabilumo charakteristikų tyrimų yra mažai, nes dauguma sklandytuvų turi klasikinę schemą ir jų parametrai parenkami pagal statistinius duomenis. Paminėtinas darbas, kuriame nagrinėjamas sklandytuvo šoninis stabilumas, kai jį tempia lėktuvas (Klimkowski 1976).

Šiame tyrime analizuotos egzistuojančio orlaivio šoninio stabilumo charakteristikos. Analizei pasirinktas Lietuvoje gaminamas sklandytuvas Lak 17a (Sportinė ... 2006). Tyrimas atliktas naudojant kompiuterinę programą AVL (Drela 2006). Ši programa skaičiuoja orlaivio aerodinamines charakteristikas, skrydžio stabilumo išvestines bei skrydžio dinamikos parametrus.

Šoninis stabilumas

Skrydžio metu orlaivis turi šešis laisvės laipsnius. Jo skrydžio stabilumas dažniausiai analizuojamas mažų trikdžių metodu, sudarant diferencialinių lygčių sistemą (Nelson 1998). Sprendžiant diferencialinių lygčių sistemą, gaunama aštunto laipsnio charakteristinė lygtis, turinti aštuonias šaknis. Keturios šaknys apibūdina orlaivio

išilginį judesį skersinės ašies atžvilgiu. Dažniausiai tai būna du jungtiniai kompleksiniai skaičiai. Vienas iš jų apibūdina stipriai slopinamus trumpo periodo svyravimus skersinės ašies atžvilgiu, kitas – silpnai slopinamus ilgo periodo svyravimus. Likusios keturios šaknys apibūdina orlaivio šoninį judesį išilginės ir vertikalios ašies atžvilgiu. Atskirais atvejais, pvz., tiesaus skrydžio metu, galima nagrinėti atskirai išilginį ir šoninį orlaivio judesį. Sudėtingesniuose manevruose, pvz., spirālėje orlaivio judesį reikia nagrinėti kompleksiskai.

Šoniniam orlaivio judesiui būdingas sukimasis išilginės ašies atžvilgiu – posvyris, sukimasis vertikalios ašies atžvilgiu – pokrypis ir slydimas, t.y., toks skrydžio režimas, kai orlaivio greičio vektorius sudaro kampą su simetrijos plokštuma. Šoninį orlaivio judesį apibūdina keturios charakteristinės lygties šaknys. Dvi iš jų yra realios, o likusios dvi – kompleksinės jungtinės. Viena reali šaknis atitinka stipriai slopinamą ir dėl to konverguojantį posvyrio judesį. Antra reali šaknis atitinka silpnai konverguojantį arba diverguojantį spiralinį judesį. Dvi kompleksinės šaknys atitinka silpnai slopinamą posvyrio ir pokrypio judesį, vadinamą „olandišku žingsniu“. Šiame darbe analizuojamas sklandytuvo LAK 17a spiralinis judesys ir „olandiškas žingsnis“.

Spiralinis judesys gali būti stabilus arba nestabilus. Spiralinis nestabilumas, tai monotoniškas judesys, kuris gali pasireikšti esant tam tikram krypties statinio stabilumo ir skersinio statinio stabilumo santykiui. Kai sutrikdoma tokio orlaivio pusiausvyra, jis pasvyra nedideliu kampu ir po truputį pradeda krypti nuo kurso, tuo pačiu vis didindamas šoninio slydimo kampą: prasideda skrydis

spirale. Spirale, laikui bėgant, tampa staigesnė, statesnė, ir jei nesiimama atitinkamų veiksmų, orlaivis gali pereiti į piktiravimą spirale. Nedidelis spiralinis nestabilumas yra toleruojama orlaivio savybė. Orlaivio, turinčio spiralinį nestabilumą, posvyrio kampas didėja lėtai. Pilotas lengvai pastebi ir gali jį ištaisyti.

Atskiras spiralinio judesio atvejis yra krypties divergencija. Krypties divergencija pasireiškia tada, kai orlaivio statinis krypties stabilumas yra per mažas. Jei sutrikdoma tokio orlaivio pusiausvyra, jis po truputį pradeda krypti nuo kurso, vis didindamas šoninio slydimo kampą. Dėl veikiančios šoninės jėgos skrydžio trajektorija išsilenkia.

„Olandiško žingsnio“ svyravimai – tai posvyrio ir krypties svyravimai. Šie svyravimai yra to paties dažnio, bet skirtingos fazės. Periodas gali būti nuo 3 iki 15 sekundžių, todėl, jei amplitudė yra pakankamai didelė, toks orlaivio judesys gali būti labai nemalonus (Nelson 1998).

Programos AVL aprašymas

Programą AVL (Athena Vortex Lattice) sukūrė Markas Drela ir Haroldas Youngrenas Masačusetso technologijos institute (Drela 2006).

Šioje programoje orlaivis modeliuojamas elementariais srautais, kurių analitinės išraiškos pasižymi matematinėmis ypatybėmis. Sparnai ir uodegos aerodinaminės plokštumos pakeičiami prijungtų sūkurių tinkleliu, kuris išdėstomas viduriniame paviršiuje. Tokiame uždavinyje nežinomieji yra prisijungusių sūkurių intensyvumo reikšmės. Kiekvienam sūkurių tinklelio elementui sudaroma lygtis iš sąlygos, kad kontroliniame taške – sūkurių elemento viduriniame taške laisvo srauto ir visų sūkurių srauto atstojamojo greičio kryptis sutaptų su sūkurių tinklelio paviršiaus liestine. Nuo sparno ir uodegos plokštumų pasroviui nuėina laisvieji sūkurių lygiagrečiai su sklandytuvo išilgine ašimi.

Liemuo modeliuojamas šaltiniais ir dipoliais, išdėstytais liemens ašyje. Liemens atstojamosios jėgos ir momentai skaičiuojami pagal plono kūno teoriją

AVL programos algoritme naudojamas beveik stacionarus srauto modelis, o tai reiškia, kad kintantis sukuringumas ignoruojamas. Tiksliau sakant, leidžiami tik mažo dažnio svyravimai (pvz., polinkio svyravimai). Svyravimas turi būti toks lėtas, kad jo periodas būtų daug ilgesnis už laiką, per kurį srautas teka išilgai sparno stygos. Ši sąlyga iš esmės tenkinama kiekviename sklandytuvo manevre. Taip pat posvyrio, polinkio ir krypties kampiniai greičiai, nurodomi skaičiavimuose, turi būti

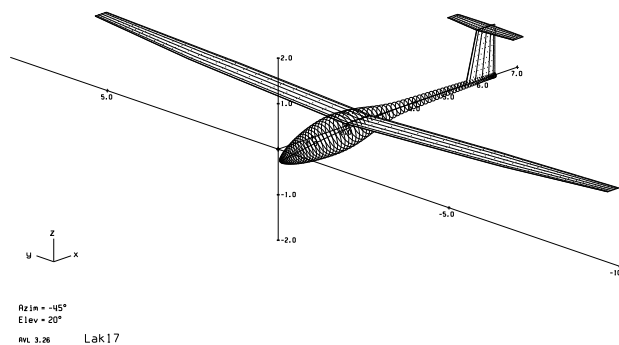
pakankamai maži, kad atstojamojo reliatyvaus srauto kampai būtų maži.

Skaičiuojant AVL programa pradiniai duomenys yra orlaivio geometriniai parametrai, sparnų ir uodegos profilių aerodinaminės charakteristikos, masės ir inercijos momentų kitimas išilgai atskirų orlaivio dalių bei skrydžio režimas.

Ši programa gerai tinka aerodinaminiam kūnams, kurie susideda iš plonų, keliamąją jėgą sukuriančių paviršių, kaip sklandytuvas Lak-17, kai atakos ir slydimo kampai yra maži. Programa skaičiuoja skrydžio parametrus ir stabilumo charakteristikas.

Sklandytuvo Lak 17a matematinis modelis

Orlaivio matematinis modelis skaičiuojamas AVL programa. Pagal sklandytuvo pagrindinius matmenis ir aerodinaminių plokštumų profilius paruošiama geometrijos duomenų rinkmena. Sklandytuvo LAK 17a duomenys paimti iš techninės priežiūros žinyno (Sportinė... 2006). Sklandytuvo geometrinis modelis, sudarytas AVL programa, matyti 1 pav.



1 pav. Sklandytuvo Lak 17a geometrinis modelis

Fig. 1. Geometric model of sailplane LAK 17a

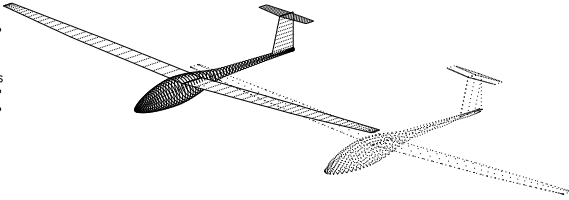
Sklandytuvo Lak 17a atskirų dalių masės ir inercijos momentai

Skrydžio dinaminė charakteristikų analizei reikalingos sklandytuvo dalių masės ir inercijos momentai. Šie duomenys surašomi atskiroje pradinių duomenų rinkmenoje, kurioje taip pat nurodoma matų sistema ir koordinatinių sistemos tipas.

Rezultatai

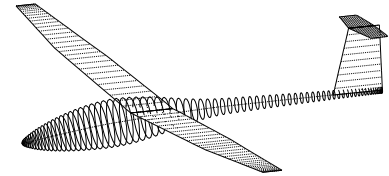
Pradinis skrydžio režimas skaičiavimuose buvo tiesus ir tolygus sklandytuvo sklendimas. Išsprendus skrydžio dinamikos diferencialinių lygčių sistemos charakteristinę lygtį, gaunamos aštuonios šaknys. Šiame darbe nagrinėti du sklandytuvo judesio atvejai: spiralinis judesys (2 pav.)

Run 1
 Mode 7
 f = 0.0000 cycles/s
 C = -1.000000
 t = 0.00s
 ωt = 0°
 x = -0m
 y = 8m
 z = -0m
 φ = 0.2°
 θ = -0.0°
 ψ = 0.8°
 V = 35m/s
 α = 2.18°
 β = 0.08°



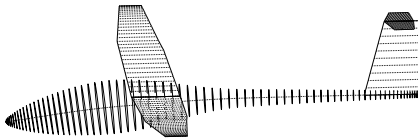
Az1m = -45°
 Elev = 20°
 AVL 3.26 Lak17

Run 1
 Mode 7
 f = 0.0000 cycles/s
 C = -1.000000
 t = 52.74s
 ωt = 0°
 x = -4m
 y = 278m
 z = -1m
 φ = 8.5°
 θ = -0.3°
 ψ = 28.8°
 V = 35m/s
 α = 2.07°
 β = 2.80°



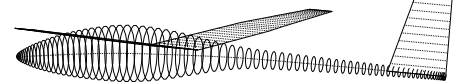
Az1m = -45°
 Elev = 20°
 AVL 3.26 Lak17

Run 1
 Mode 7
 f = 0.0000 cycles/s
 C = -1.000000
 t = 58.29s
 ωt = 0°
 x = -7m
 y = 407m
 z = -2m
 φ = 12.4°
 θ = -0.4°
 ψ = 42.2°
 V = 35m/s
 α = 2.02°
 β = 4.07°



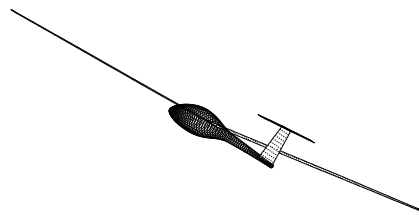
Az1m = -45°
 Elev = 20°
 AVL 3.26 Lak17

Run 1
 Mode 7
 f = 0.0000 cycles/s
 C = -1.000000
 t = 63.84s
 ωt = 0°
 x = -10m
 y = 596m
 z = -3m
 φ = 18.2°
 θ = -0.5°
 ψ = 61.7°
 V = 36m/s
 α = 1.95°
 β = 5.91°



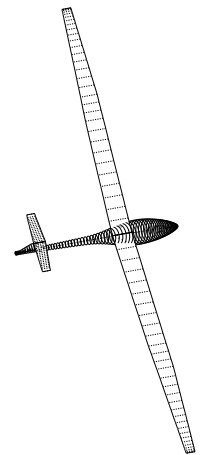
Az1m = -45°
 Elev = 20°
 AVL 3.26 Lak17

Run 1
 Mode 7
 f = 0.0000 cycles/s
 C = -1.000000
 t = 72.16s
 ωt = 0°
 x = -17m
 y = 1054m
 z = -5m
 φ = 32.1°
 θ = -0.9°
 ψ = 109.2°
 V = 37m/s
 α = 1.77°
 β = 10.23°



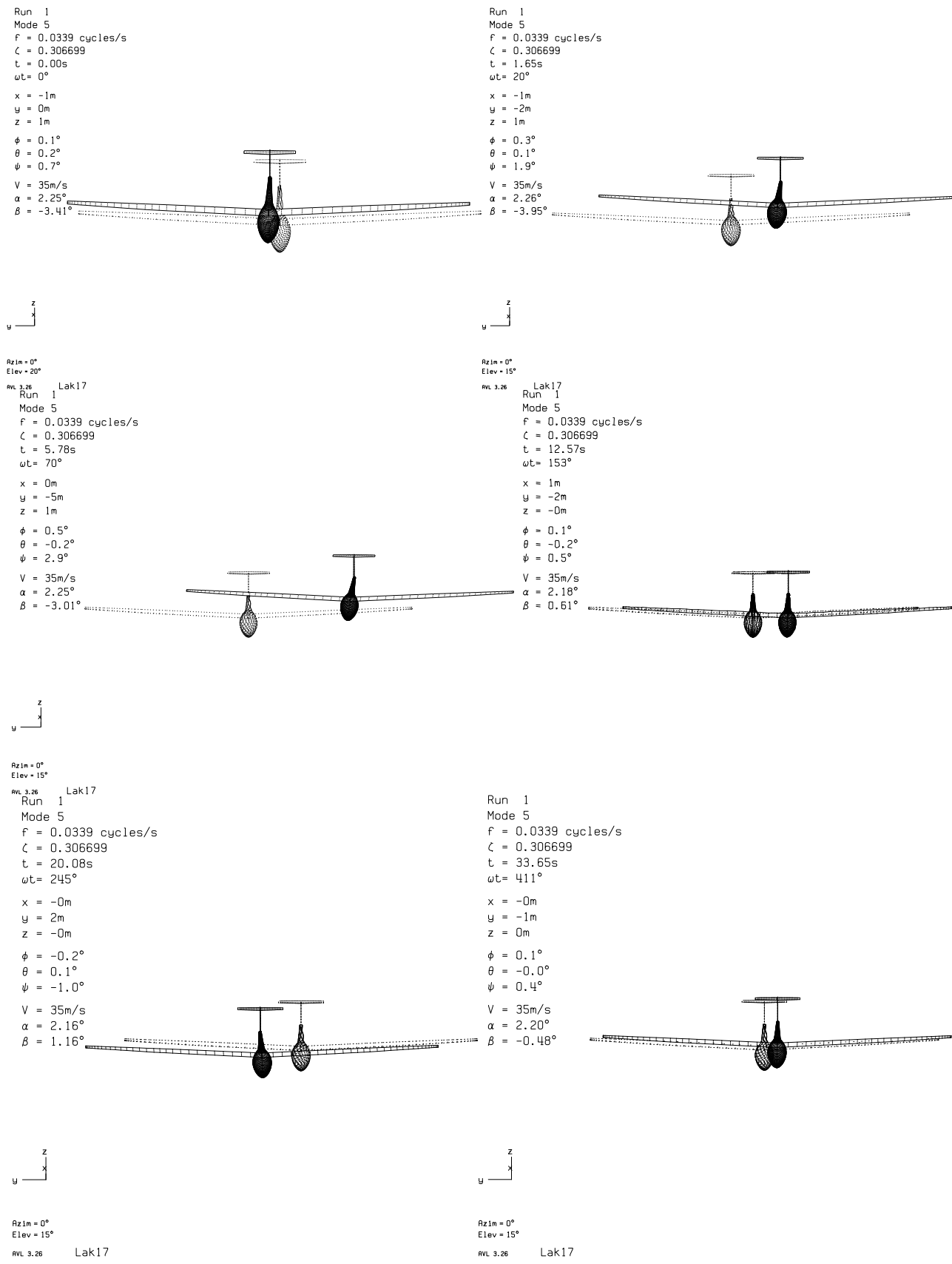
Az1m = -45°
 Elev = 20°
 AVL 3.26 Lak17

Run 1
 Mode 7
 f = 0.0000 cycles/s
 C = -1.000000
 t = 80.49s
 ωt = 0°
 x = -30m
 y = 1866m
 z = -9m
 φ = 56.9°
 θ = -1.7°
 ψ = 193.3°
 V = 39m/s
 α = 1.46°
 β = 17.31°



Az1m = -45°
 Elev = 20°
 AVL 3.26 Lak17

2 pav. Sklandytuvo spiralinio nestabilumo iliustracija
 Fig. 2. Illustration of spiral instability of sailplane



3 pav. Sklandytuvo „olandiško žingsnio“ iliustracija
Fig. 3. Illustration of ‘dutch roll’ instability of sailplane

ir „olandiškas žingsnis“ (3 pav.). 2 pav. matoma sklandytuvo padėtis atskirais laiko momentais spiralinio judesio metu, kai sklandytuvo sparnų skersinio „V“ kampas yra 3°. Šio judesio charakteristinės lygties šaknis yra realus teigiamas skaičius $r = 0.013$.

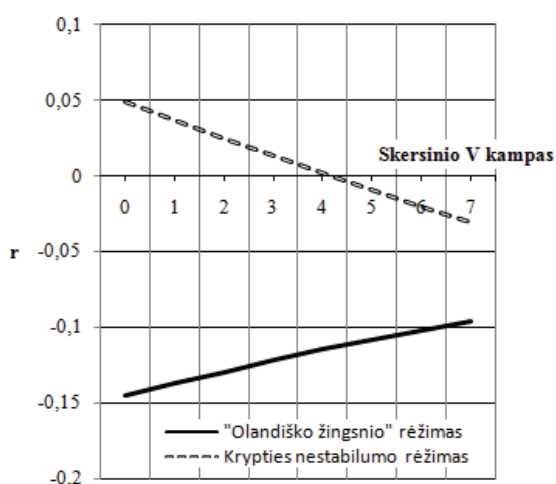
Tiek šaknies reikšmė, tiek ir sklandytuvo judesio vaizdas rodo, kad judesys yra monotoniškas ir nestabilus.

3 paveiksle matoma sklandytuvo padėtis atskirais laiko momentais „olandiško žingsnio“ judesio metu

Čia judesys yra stabilus svyruojantis judesys. Šio judesio charakteristinės lygties šaknys yra du jungtiniai kompleksiniai skaičiai, kurių reali dalis yra lygi $r = -0.134$.

Kaip matyti, kai sklandytuvo sparnų skersinis „V“ kampas yra lygus 3°, spiralinis judesys yra monotoniškas ir nestabilus, o „olandiško žingsnio“ režimas yra svyruojantis ir nestabilus.

Keičiant sklandytuvo sparnų skersinį „V“ kampą, buvo nagrinėjama, ar sklandytuvas gali būti stabilus tiek spiraliniame judesyje, tiek ir „olandiško žingsnio“ judesyje. Sparnų skersinis „V“ kampas buvo keičiamas nuo 0 iki 7°. Skaičiavimo rezultatai pateikti 4 pav. Matyti, kad „olandiško žingsnio“ režimas visame nagrinėtame diapazone yra stabilus. Spiralinis judesys yra stabilus, kai sparnų skersinis „V“ kampas yra didesnis nei 4,7°. Šiame tyrime skaičiavimai buvo atliekami sklandytuvą nagrinėjant kaip standų kūną. Realus sklandytuvo sparnai skrydžio metu išlinksta aukštyn. Tokiu atveju realus skersinis „V“ kampas yra didesnis. Todėl, įvertinant sparnų deformacijas skrydžio metu, galima prognozuoti, kad sklandytuvo LAK 17a skersinio „V“ kampo keisti nereikia.



4 pav. Spiralinio judesio ir „olandiško žingsnio“ realių šaknų priklausomybė nuo skersinio „V“ kampo

Fig. 4. The real parts of roots of spiral motion and “dutch roll” versus dihedral angle

Išvados

1. Analizuojant sklandytuvo matematinį modelį jau projektavimo etape galima parinkti sklandytuvo parametrus, užtikrinančius skrydžio stabilumą.

2. Sklandytuvo Lak 17a projektinis sparno skersinis „V“ kampas yra 3°. Esant šiam kampui, sklandytuvo spiralinis judesys yra monotoniškas ir nestabilus, gi „olandiško žingsnio“ – svyruojantis ir stabilus.

3. Padidinus sklandytuvo sparnų skersinį „V“ kampą virš 4,7°, galima vienu metu gauti abiejų šoninių judesių stabilumą.

4. Čia nebuvo vertinamas sklandytuvo sparno elastingumas. Realiame skrydyje sklandytuvo sparnai išlinksta aukštyn ir efektyvus sparnų skersinis „V“ kampas būna didesnis už projektinį, todėl jo keisti nereikia.

Literatūra

- Abzug, M. J.; Larrabee, E. E. 2002. *Airplane stability and control*. Cambridge.
- Drela, M.; Youngren, H. 2006. *AVL 3.26 User Primer*.
- Klimkowski, J.; Lucjanek, W. 1976. Theoretical analysis of the dynamic lateral stability of a paraglider. *OSTIV Publication*, XIV.
- Nelson, C. R. 1998 *Flight stability and automatic control*.
- Sportinė aviacija, Join Stock Company 2006, *Maintenance manual for the Lak-17A sailplane, Issue No. 2*.
- Stinton, D. 1998. *Flying Qualities and Flight Testing of the Aeroplane*. Oxford.

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF LATERAL STABILITY OF SAILPLANE LAK 17a BY COMPUTATIONAL METHOD

P. Gildutis, E. Lasauskas

Abstract

A computer-based geometrical model of the Lak-17a sailplane was generated with the program AVL (Athena Vortex Lattice), which is designed to analyse the characteristics of flight and to provide a rapid analysis of the configuration of an aircraft. Various characteristics of stability and control were calculated by simulating a real flight with the program. According to the results, a conclusion was formulated and suggestions about how to improve the stability and control of the aircraft were offered.

Keywords: dutch roll, lateral stability, AVL, LAK 17a, instability, helix.