

ŽAIBAI, JŲ POVEIKIS SKRYDŽIŲ EIGAI, APSAUGOS PRIEMONĖS

Linus Steponavičius

VG TU AGAI Aviacijos technologijų katedra

El. p. linas.steponavicius@gmail.com

Santrauka. nors žaibai šiuolaikiniams komerciniams orlaiviams nekelia didelės grėsmės ir taikomos apsaugos nuo žaibų priemonės yra gana efektyvios, neseniai buvo pradėti pirmieji bandymai siekiant sukurti naujas, tobulesnes apsaugos nuo žaibų priemones. Straipsnyje pateikiama „Boeing“ platinama statistika, aktuali SAE ARP standartuose reglamentuojama medžiaga. Pagrindinis straipsnio tikslas – supažindinti su žaibų poveikiu orlaiviams, galima žala, taikomomis apsaugos priemonėmis bei pateikti rekomendacijas orlaivių pilotams ir mechanikams.

Reikšminiai žodžiai: žaibai, išlydis, apsauga, poveikis, orlaiviai.

1. Įvadas:

šiuolaikinės komercinės aviacijos skrydžiai vykdomi ne tik giedru ir ramiu oru, tačiau ir prasto matomumo sąlygomis ar net audrų metu. Be abejo, tokie skrydžiai yra pavojingesni dėl turbulencijos, kritulių, apledėjimo, taip pat – ir žaibų. Perkūnijos poveikis orlaiviams buvo gana greitai perprastas ir imtasi atitinkamų priemonių siekiant užtikrinti maksimalią skrydžio apsaugą nuo žaibų. Ir nors jų poveikis šiandieniniams orlaiviams yra nedidelis, pilotai ir orlaivių technikai turėtų išmanyti apie žaibus ir galimas jų sukeltas pasekmes.

2. Žaibas

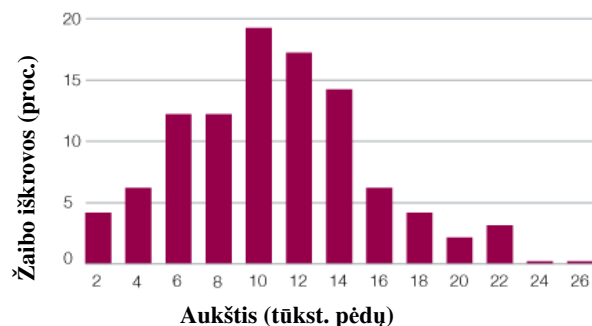
Žaibas – tai itin trumpas atmosferinis elektrostatinis išlydis, lydimas stipraus garso – griaustinio – kuris yra dažniausiai sutinkamas audrų metu, rečiau – per ugnikalnių išsiveržimus ar smėlio audras. žaibas sklinda 220 000 km/val greičiu ir pasiekia 20 000–30 000 °C temperatūrą. Statistiškai kasmet susiformuoja 16 milijonų audrų su žaibais. Nustatyta, kad iškrova įvyksta 44±5 kartus per sekundę, o tai yra 1,4 milijardo kartų per metus. Trys ketvirčiai visų žaibų yra iš debesies į debesį, o likęs ketvirtis – iš debesies į žemę.

Būna teigiamo ir neigiamo poliškumo žaibų. Vidutinis neigiamo poliškumo žaibas turi 30 000 amperų stiprio srovę, 15-350 C krūvį ir 500 MJ energiją, jo galia – vienas teravatas (10^{12} W), o trunka vos 30 μs. „Teigiamas“ žaibas turi dešimt kartų didesnę srovės stiprį, dėl to yra kur kas pavojingesnis. Įtampa žaibo išlydyje priklauso nuo žaibo kanalo ilgio. Pats žaibo kanalas yra daugmaž 2,5 cm storio, nors dėl apšviečiamos aplinkos, debesies ir atmosferos dalelių atrodo daug storesnis.

Žaibai daugiausia formuojasi kamuoliniuose audros debesyse. Šie gali formuotis tik esant tam tikroms atmosferos sąlygoms: vyraujant didelei oro drėgmei, esant dideliui atmosferos nestabilumui ir oro masės pakėlimo mechanizmui. Pagrindinė sąlyga žaibams formuotis yra elektros krūvių atskyrimas – elektrinė poliarizacija, kurios metu apatinė debesies dalis išielektrina neigiamai, o viršutinė – teigiamai. Mokslininkai siūlo dvi teorijas šiam reiškiniui paaiškinti, tačiau priėjo prie išvados, jog ledas, esantis debesyje, yra pagrindinis žaibų formavimosi

veiksny, nes geba priverstinai atskirti teigiamą ir neigiamą krūvius debesyje.

Pirmoji – Debesies dalelių susidūrimo teorija, teigianti, jog krūviai yra atskiriami, kai ledo kristalai atšoka nuo sniego rutuliukų. Krūvių atskyrimui reikia aukštyneigių srautų, kurie atneša vandens lašelius, peršaldydami juos nuo -10 iki -40°C. šie vandens lašeliai susiduria su ledo kristalėliais, virsdami sniego rutuliais. Dėl susidūrimų tarp ledo kristalų ir sniego rutuliukų, teigiamas krūvis pereina į ledo kristalus, o neigiamas – į sniego rutuliukus. Aukštyneigiai srautai lengvesnius ledo kristalus pakelia aukšty, taip audros debesies viršūnėje kaupiasi teigiamas krūvis, o žemiau telkiasi sunkesni krituliai, kartu su jais – ir neigiamas krūvis. Krūvių atskyrimas ir kaupimas tęsiasi tol, kol įtampos gradientas tampa pakankamas, kad sukeltų žaibo iškrovą (1 pav.).



1 pav. Žaibo iškrovų santykinis pasiskirstymas pagal aukštį.
Fig 1. Lightning discharge relative distribution according to height

Antroji – poliarizacijos mechanizmo teorija, aprašanti du komponentus:

1. Krintantys ledo gabaliukai ir lietaus lašeliai tampa elektriškai poliarizuoti, kai eina per žemės natūralų elektrinį lauką;
2. Susiduriančios/atšokančios debesies dalelės įsikrauna priešingai.

Taigi, akivaizdu, kad pagrindinė elektrinio aktyvumo vieta yra ties vandens užšalimo lygiu.

Žaibo iškrova įvyksta, kai elektrostatinis krūvis tampa pakankamas, jog įveiktų oro varžą, t.y. potencialų skirtumas tarp debesies ir žemės pasidaro net 120 MV.

Prasideda jonizacija, iš debesies ima šakotis vadinamas pakopinis vedlys (ang. – Stepped Leader). Pasiekęs priešingai įkrautą regioną (kitą debesį ar žemės paviršių), jis uždaro grandinę ir susikaupęs elektros krūvis nuteka, matomas žaibo pavidalu.

3. Poveikis orlaiviams

Kai į daugelį orlaivių, išskyrus kompozitinius, trenkia žaibas, prie jų ekstremumų (nosies, sparnų galiukų, kt.) pirmiausia atsiranda elektrostatiniai stulpai, į kuriuos ir trenkia žaibas. Kadangi orlaivio korpusas yra metalinis, o dėl to – ir geras laidininkas, tai žaibas teka juo ir išeina pro kitą labiausiai išsikiusį tašką. Žaibas orlaiviui žalos nepadaro iš esmės dėl to, kad daugumos orlaivių išorinės dangos pagrindinė sudedamoji medžiaga yra aliuminis, kuris yra labai geras elektros laidininkas. Saugaus lėktuvo išlikimo, pataikius, žaibui paslaptis – leisti srovei nepertraukiamai tekėti nuo pataikymo taško iki kito iškrovos taško, neleidžiant jai patekti į orlaivio korpuso vidų.

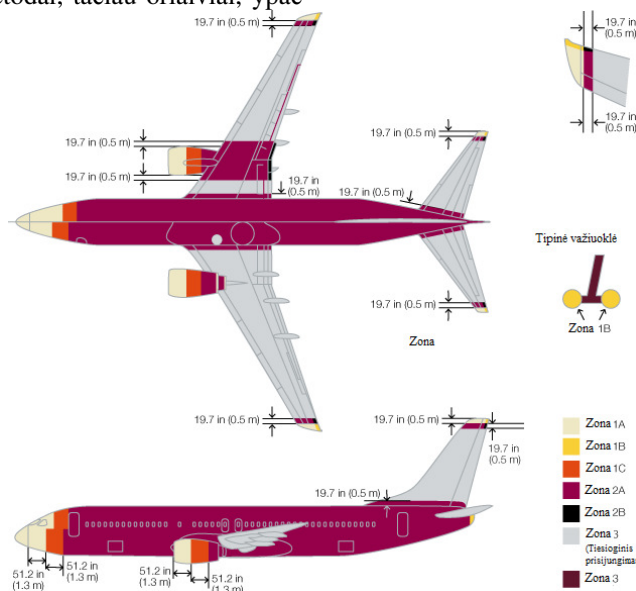
Ultralengvieji orlaiviai yra gaminami iš kompozitinių medžiagų, tad žaibo išlydis negali laisvai tekėti ir tai gali turėti lemtingų pasekmių. Juos kuriant taikomi atitinkami apsaugos nuo žaibų metodai, tačiau orlaiviai, ypač

bendrosios aviacijos, turėtų aplenkti audros debesį 15–20 km atstumu.

Nors pagrindinis apsaugos lygis yra suteikiamas orlaivių korpusui, degalų sistemoms ir varikliams, žala gali būti padaryta sparnų galams, propeleriams, navigacinėms lempoms; išlydis gali indukuoti srovę elektros kabeliuose ar elektroninėje įrangoje. Kitas keliantis susirūpinimą aspektas yra degalų bakai, žarnelės, bakų dangteliai ir jų pagalbinės struktūros, kur papildomos apsaugos priemonės apsaugo nuo kibirkščiavimo ar pradegimo. Didesnių orlaivių radarų kupolai, gaminami iš nelaidžių medžiagų, taip pat yra rizikos grupėje.

Nuslinkusio žaibo (ang. – Swept Stroke) fenomenas pasireiškia, kai orlaivis juda žaibo iškrovos metu (praktiškai visada). Jei žaibo iškrova truktų pusę sekundės, tai per tiek laiko 450 mazgų greičiu skirsdamas orlaivis nukeliautų apie šimtą metrų, nors pati iškrova lieka toje pačioje vietoje. Taigi ant orlaivio galima rasti daugiau įėjimo ir išėjimo žymių, nes žaibo kanalas prisijungia vis prie naujos vietos ir gyvuoja ten kurį laiką.

SAE ARP 5414 standarte apibrėžtos 3 pagrindinės orlaivių zonos pagal žaibų poveikį (2 pav; lent.).



2 pav. Orlaivio suskirstymas į zonas

Fig. 2. Aircraft distribution to zones

Lentelė. Orlaivio zonos pagal žaibo išlydį.

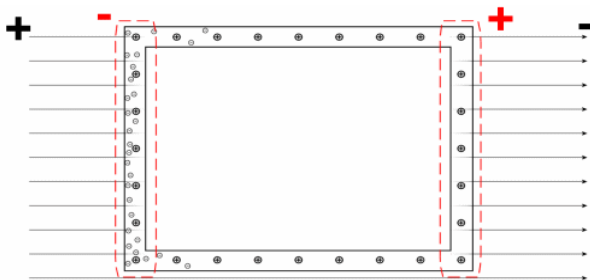
Table. Aircraft zones according to lightning discharge

Zona	Tipas	Apibūdinimas
1A	Pirminio kirčio zona	Visos orlaivio paviršių zonos, kur tikėtinas žaibo kanalo prisijungimas su maža užsibuvimo tikimybe.
1B	Pirminio kirčio zona su užsibuvimu	Visos orlaivio paviršių zonos, kur tikėtinas žaibo kanalo prisijungimas su didele užsibuvimo tikimybe.
1C	Pirmo kirčio perėjimo zona	Visos orlaivio paviršių zonos, kur tikėtinas mažesnės amplitudės žaibo kanalo prisijungimas su maža užsibuvimo tikimybe.
2A	Slenkančio žaibo zona	Visos orlaivio paviršių zonos, kur tikėtinas mažesnės amplitudės žaibo kanalo prisijungimas su maža užsibuvimo tikimybe.
2B	Slenkančio žaibo zona su užsibuvimu	Visos orlaivio paviršių zonos, kur tikėtinas slenkančio žaibo kanalo prisijungimas su didele užsibuvimo tikimybe.
3	Kitos smūgių zonos	Paviršiai, nepriskirti 1A, 1B, 1C, 2A ar 2B zonoms, kur žaibo kanalo prisijungimo tikimybė yra labai menka arba kurios neša didelį elektros srovės kiek tarp tiesioginio ir slenkančio žaibo prisijungimo taškų.

Galimas žaibų poveikis orlaiviams:

1. Lydymasis ar degimas žaibo prisijungimo vietoje.
2. Temperatūros kilimas dėl varžos.
3. Magnetinių jėgų indukcija.
4. Akustinio šoko poveikis.
5. Kibirkščiavimas ties jungtimis, vyriais ir kitais ryšiais.
6. Degalų garų bakuose uždegimas.
7. Radijo ryšio triukšmai ir trukdžiai.
8. Padidėjusios magnetinio kompasu paklaidos.

Žaibų poveikis orlaivio viduje esantiems objektams ir žmonėms beveik niekada nepasireiškia. Labiausiai nukentėjęs nuo žaibo iškvėros orlaivyje žmogus negalėjo pajudinti rankos kelias valandas, ji buvo tiesiog nutirpusi nuo elektrostatinio išlydžio. Tai nutiko lakūnui, kuris žaibo išlydžio metu reguliavo autopilotą, per kurį ir gavo smūgį. Tačiau tai buvo pats rimčiausias atvejis per visą istoriją. Taigi orlaivyje esantys žmonės yra beveik visiškai saugūs. Taip yra todėl, kad orlaivis tarnauja kaip Faradėjaus narvelis (3 pav.). Krūviai prie orlaivio sienų pasidaro priešingi aplinkos krūviams, tad jie vienas kitą anuliuoja. Orlaivio viduje visiškai nėra krūvių pasiskirstymo, dėl to – ir elektrinio lauko.



3 pav. Faradėjaus narvelio, kuriame nėra elektrinio lauko, schema

Fig. 3. Faraday cage with no electric field scheme

4. Apsaugos priemonės

Orlaiviams nuo neigiamų žaibo padarinių yra taikomos tam tikros apsaugos sistemos. Iš principo jos sukuria laidžius kanalus, kurie yra sujungti su laidžia orlaivio korpuso dalimi (tai ypač taikoma orlaivio nosyje esančių radarų gaubtams), o kartais laidininkais visame lėktuvo paviršiuje būna tik tie kanalai (kompozitinių orlaivių atveju).

Lėktuvų inžinieriai yra sugalvoję keletą apsaugos priemonių tipų. Pirmiausia, tai srovės nukreipikliai (angl. – Current Diverters). Jie yra geri laidininkai, kuriais padengiami elektrai nelaidūs paviršiai. Dažniausiai naudojami ant orlaivių radarų gaubtų, nes reikalingas geras jų radijo bangų pralaidumas, o ploni laideliai nesudaro trikdžių ir ultralengvuose kompozitiniuose orlaiviuose. Yra dviejų tipų nukreipikliai: vientisi ir segmentuoti. Vientisi – tai metalo strypeliai, pritvirtinti prie orlaivio paviršiaus, taip pat ekranuoja elektrostatinį krūvį, taip apsaugodami po paviršiumi esančius objektus nuo įsielektravimo. Kai kurie gamintojai radarų gaubtams gamina tokius nukreipiklius, kurie išsilydytų ir išgaruotų, jei trenktų stiprus žaibas, tačiau apsaugo tik nuo vieno išlydžio. Segmentuo-

ti naudojami todėl, kad vientisi labiau mažina radijų ir radaro signalus. Segmentuotuose nukreipikliuose yra daug tarpelių, į juos patenka oras, kuris jonizuojamas sudaro vientisą laidų elektros srovei kanalą.

Elektrai laidūs dažai naudojami padengti visą orlaivio paviršių. Dažuose yra įmaišyta laidininkų (anglies, vario ar aliuminio) dalelių, tačiau jų poveikis labai silpnas, nepaisant sluoksnio storio. Jie dažniausiai naudojami apsaugoti laidžius objektus po orlaivio paviršiumi. Plačiausiai naudojami dažai su vario priemaišomis, sėkmingiausiai – ant nelaidžių sraigtasparnių rotorius menčių. Tačiau šis metodas nėra optimalus, nes dažai yra neatsparūs korozijai dėl lietaus ar sniego, taip pat dėl įsielektravimo.

Be šių priemonių, dar naudojami ir kompozitines medžiagas „įausti“ variniai laideliai, padengimas metaline folija ar tinkleliu, išlydyto metalo užpurškimas ant paviršiaus ir kiti metodai.

Statiniai iškvėvikliai (angl. – Static Wicks) yra montuojami sparnų, stabilizatorių ir kylių galuose. Jie padeda korpuse susikaupusiam elektrostatiniam krūviui nutekėti. Kita vertus, jie nėra skirti apsaugai nuo žaibų, tad turėtų būti patikrinami prieš skrydį, kadangi yra jautrūs ir gana lengvai pažeidžiami. Pastebėjus, kad kurio nors trūksta, nedelsiant turi būti pakviesti inžinieriai atlikti viso orlaivio apžiūrą po žaibo smūgio, nes galbūt buvo padaryta žala ir kur nors kitur.

Prieš nepilnus metus NASA specialistai pradėjo darbą ties naujos kartos apsaugos sistema, vadinama *San-SEC*. Pagrindinis jos tikslas – sukurti orlaivio apsiuvą, turinčią daug bevielio būdu veikiančių sensorių ir galinčią pranešti apie žaibų ar kitų veiksnių padarytą žalą. Ši sistema pirmiausia buvo pritaikyta kosminiuose aparatuose, kurie orbitose kenčia nuo mažų gabaritų kosminių šiuikšlių bombardavimo. Kitas mokslininkų norimas žengti žingsnis – šią sensorinę apsiuvą pritaikyti orlaiviuose kaip apsaugą nuo žaibų, galinčią išmatuoti iškvėros stiprį ir įtampą, jos nueitą kelią orlaivio dalimis, padarytą žalą, o galbūt ir nukreipti žaibą į norimą vietą norimu keliu ar netgi apskritai neleisti žaibo kanalui prisijungti prie apsiuvos. Tačiau kol kas mokslininkų laukia ilgas ir sunkus darbas, norint pasiekti šiuos rezultatus.

Dar viena pasiūlyta idėja, kuri veikiausiai bus pradėta įgyvendinti netolimoje ateityje – sukurti „protingą“ orlaivio apsiuvą, naudojant spausdintinės elektronikos (angl. – Printed Electronics) technologijas. Spausdintinė technologija yra labai pranaši tuo, jog yra labai pigi, sistema lengva ir itin plona. Ši apsiuva, nepaisant labai plonų jos taikymo galimybių kitose srityse, taip pat turėtų leisti kontroliuoti žaibo iškvėrą orlaivio apsiuvoje, teikti informaciją apie jos stiprumą, galbūt netgi dalį iškvėros sukaupti ir panaudoti naudingais tikslais.

5. Rekomendacijos

Pati svarbiausia rekomendacija pilotams skamba labai elementariai: į audras neskristi, nebent nėra kitos išeities. Taip bus išvengta ne tik žaibų, bet ir kitų, kur kas pavojingesnių reiškinių.

Pilotai skrydžio audroje metu turėtų tikėtis galimo žaibo smūgio. Žaibo iškvėros metu išsiskiria labai daug šviesos, kuri gali apakinti pilotus net kelioms minutėms,

tad rekomenduojama įjungti kabinos šviesas didžiausiu ryškumu, ypač nakties metu. Taip pat vienas pilotas turėtų visiškai nežiūrėti per langą, o kitas, jei yra galimybė, dėvėti akinius nuo saulės. Skrendant vienam, patartina pro langą žiūrėti užmerkus vieną akį.

Kitas nedidelis triukas – kartkartėmis nuspausti radijo ryšio tangentę. Aktyvavus anteną, su signalu nuteka dalis ant orlaivio susikaupusio krūvio.

Pilotai taip pat turėtų pasirinkti tokį skrydžio aukštį, kuriame oro temperatūra skiriasi nuo 0°C iki ±4-5°C. Tai nėra patikimas ir efektyvus būdas išvengti žaibų, tačiau ant orlaivio besikaupiantis krūvis, o kartu ir žaibo smūgio tikimybė gana ženkliai sumažės.

Aviacijos mechanikams „Boeing“ siūlo paprastą patikros filosofiją, jei žinoma, kad į orlaivį trenkė žaibas. Pirmiausia tikrinamos orlaivio dalys – radarų gaubtai ir statiniai iškrovikliai bei navigacinės lemputės. Jei ant jų matoma žala, patikra toliau turi būti vykdoma itin kruopščiai, siekiant surasti kitus žaibo įėjimo-išėjimo taškus. Jei išlydžio metu sistema buvo naudojama ir nepastebėta jokių veiklos anomalijų, orlaivis tinkamas skristi. Jei sistema nenaudota, ji turi būti patikrinta.

Svarbu po žaibo išlydžio patikrinti magnetinių kompasų rodmenis ir paklaidas, degalų kiekio matuoklių tikslumą, važiuoklės duris, pitostatinės sistemos daviklius ir jų aplinką, siekiant surasti ir pašalinti žalą.

6. Išvados

1. žaibo išlydžiai į orlaivius nėra lemtingi ar labai žalojantys, tačiau apsaugos priemonės ir jų dizainas turi būti taikomi projektuojant bet kokius orlaivius.
2. Naujai kuriamų apsaugos priemonių potencialumas yra gerokai didesnis todėl, kad tai yra aktyvios apsaugos sistemos, leisiančios ne tik efektyviau apsaugoti orlaivius, bet ir rinkti duomenis apie žaibo iškrovas, kas ženkliai padidintų supratimą apie žaibo iškrovos mechanizmus ir poveikį.
3. Komercinės aviacijos orlaiviai apskristi audras turėtų ne mažesniu nei 15 km atstumu, bendrosios aviacijos – 20-25 km, ypač jei audra stipri, plačiai paplitus.
4. Šiame straipsnyje pateiktas rekomendacijas turėtų žinoti visi aviatoriai.

Literatūra

- „Aircraft Lightning Zoning,” *Society of Automotive Engineers, Inc. (SAE) Aerospace Recommended Practice –5414*: 24-25.
- Laroche, P. *et al.* Experimental studies of lightning strikes on aircraft, *Aerospace Lab Journal AL05-06*: 3, 5
- Woodard, S. E. *SansEC Sensing Technology - A New Tool for Designing Space Systems and Components*. NASA Langley Research Centre, 3, 5, 10.
- Harrop, P. 2011. Smart skin for land, sea and air vehicles, *Printed Electronics World*.
- Farner, M. 2011. Lightning protection in aviation, *Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL*, 5–28.
- Civil Aeronautics Board: Aircraft accident report. 1963. (1-0015): 5–16.
- Goodloe, C. C. 1999. *Lightning Protection Guidelines for Aerospace Vehicles*. NASA/TM-1999-209734: 1–26.

Szatkowski, N., *et al.* *Electrical Characterizations of Lightning Strike Protection Techniques for Composite Materials*. NASA, Langley Research Center.

Sweers, G.; Birch, B.; Gokcen, J. *Lightning Strikes: Protection, Inspection, and Repair*. AERO quarterly qtr_04 | 12: 19-28

Schleicher ASK 21 two seat glider, *AAIB Bulletin: 12(99) Ref: EW/C99/04/02*: 6-10.

Kasparian, J., Wolf, J. P. On Lightning Control Using Lasers. GAP, Université de Genève. 2-10

Morgan, D. The interaction of lightning with aircraft and the challenges of lightning testing, *Aerospace Lab Journal AL05-11*: 2-8.

Petrov, N. I. *et al.* *Study of Effects of Lightning Strikes to an Aircraft*. ISBN: 978-953-51-0150-5: 12-16

Design Guideline: Lightning Direct Effects Handbook. AGATE-WP3.1-031027-043-: 6-27, 39-48.

LIGHTNINGS, THEIR EFFECT ON THE SAFETY OF THE FLIGHT, SAFETY MEASURES

L. Steponavičius

Summary

Despite the fact that lightning strikes pose very little threat to contemporary commercial aircraft and lightning safety measures being used are quite effective, recently research began on new, more practical and advanced technology. Statistics from Boeing and relevant information published in SAE ARP standards is presented in this article. The main objective is to familiarise with the effects of lightning strikes on aircraft, probable damage, safeguards in use, and to present recommendations for aircraft pilots and maintenance personnel.

Keywords: lightning, discharge, effect, aircraft.