

ŽAIBŲ POVEIKIS ORLAIVIAMS

Mindaugas Židonis

VG TU AGAI Aviacijos technologijų katedra
el. p. mindaugas.zidonis@gmail.com

Santrauka. Žaibas – natūralus atmosferos fizikinis reiškinys, turintis neigiamą poveikį saugiems skrydžiams. Aviacijos istorijoje įvykusi ne viena avarija, kuriai įtakos turėjo žaibo išlydžiai į orlaivius. Tobulėjant orlaiviams, jų sistemoms tampant vis sudėtingesnėmis, pradėtos taikyti pažangesnės apsaugos priemonės. Paskutiniausiais dešimtmečiais aviacijos industrijoje paplitus kompozitinėms medžiagoms, susiduriama su naujais inžineriniais iššūkiais norint užtikrinti orlaivių atsparumą nuo žaibo išlydžių ir skrydžių saugumą. Straipsnyje nagrinėjamas žaibų atsiradimo mechanizmas ir poveikis orlaiviams.

Reikšminiai žodžiai: žaibai, perkūnijos debesys, žaibo išlydis į orlaivį, skrydžių sauga.

1. Įvadas

Žaibas – natūraliai gamtoje susidarantis reiškinys, kurio metu įvyksta elektros iškrova, dažniausiai vykstanti audros metu. Po matomo žybsnio girdimas trenksmas – griausinis. Griausmo garsą sukelia jo kelyje greitai besiplečianti įkaitusi plazma.

Žaibo išlydis gali susidaryti tarp debesies ir žemės arba tarp dviejų debesų. Žaibą sukelia skirtingai įsielektrinusios dalelės, kurios dažniausiai susikaupia perkūnijos Cb (Cumulonimbus) debesyse. Tokiuose debesyse gali būti apie 100 000 tonų vandens ar ledo kristalėlių; dėl oro srautų maišymosi vandens ar ledo dalelės stipriai įsielektrina. Negiami jonai koncentruojasi debesies apačioje, teigiami – viršuje.

Formuojantis žaibo išlydžiui iš debesies link žemės įvyksta pirminė debesies iškrova, o jai priešpriešiais – pirminė žemės iškrova. Šios iškrovos (jonizuoto oro takai – lyderiai), palyginti su vėlesniais reiškiniais, yra beveik nematomos. Joms susitikus, srovė daug kartų padidėja ir įvyksta antrinė iškrova – ryškus blyksnis, kuris vadinamas žaibu.

Dauguma (apie 95%) žaibų yra vadinamieji neigiami žaibai, trenkiantys iš neigiamai įkrautos apatinės debesies dalies į žemę. Jie trunka apie ketvirtį sekundės, įtampa juose siekia 100 megavoltų, elektros srovės amplitudė gana plati – dažniausiai apie 30–170 kiloamperų. Pasitaiko net 300 kA žaibų. Žaibo energija išsiskiria šviesos, garso bei šilumos pavidalu ir siekia vidutiniškai 250 kW/h (900 MJ).

Žaibo viduje temperatūra yra labai aukšta – apie 50 000 °K. Pavyzdžiui, jei žaibas trenkia į smėlį, šis išsilydo.

Retai pasitaiko teigiami žaibai, kuomet išlydis formuojasi tarp žemės ir aukščiau esančios teigiamai įkrautos debesies dalies (apie 5% atvejų). Šie žaibai žymiai galingesni ir pavojingesni – jų srovės amplitudė pasiekia iki 300 kiloamperų (t.y. maždaug dešimt kartų daugiau nei neigiamų žaibų) ir įtampa gali viršyti vieną milijardą voltų. Teigiamas žaibas trunka iki keleto sekundžių. Jo metu generuojamas stiprus labai žemo (3-30 Hz) ir žemo (3-30 kHz) dažnio radijo bangų spinduliavimas.

Teigiamas žaibas gali trenkti iki 5 kilometrų atstumu nuo elektros krūvio susitelkimo vietos. Jis dažniau pasitaiko žiemos audrų metu ir labiau tikėtinas audros pabaigoje.

Reikia paminėti, kad dalis žaibų būna indukuojami paties orlaivio. Inžinieriai, meteorologai ir lakūnai mano, kad statišškai įsielektrinęs orlaivis, skrisdamas palieka jonizuotą taką, tapatų lyderiui, kuris ir būna žaibo priežastimi. Tokie išlydžiai stebimi net ir nebūnant arti perkūnijos debesų. Manoma, kad įsielektrinusios oro masės gali išlikti net po perkūnijos debesies suirimo arba gali būti nupūstos nuo šių debesų.

Nors orlaiviai yra patikimai apsaugoti nuo žaibo smūgio ir jį patiria gana retai, keleiviniai orlaiviai patiria vidutiniškai 1-2 žaibo išlydžius per metus, tačiau žaibo išlydžių sukelti orlaivių gedimai yra aktualia aviacijos saugumo tema, nes yra įvykusi ne viena aviakatastrofa, sukelta žaibo išlydžių į orlaivius.

2. Žaibų poveikio orlaiviams tyrimo istorija

Oro transporto priemonių ankstyvojoje stadijoje apie – 1930 m. – orlaivių dizaineriai manė, kad žaibas yra nekenksmingas. Inžinierių manymu, vienintelė žala orlaiviui galėjo būti smulkūs briaunų pažeidimai. Tokia nuomonė vyravo, nes orlaiviai buvo gaminami iš aliuminio, nebuvo naudojamos sudėtingos avionikos ir kompiuterinės sistemos.

Kai 1940 m. „Pennsylvania Central Airline“ kompanijos lėktuvas „Douglas DC-2“ sudužo prie Lovetsvilio (Virginija, JAV), tyrimas atskleidė, kad lėktuvo avarijos metu toje pačioje vietoje žaibas trenkė ir į pastatą. Vyriausybės agentūros kartu su avialinijomis ir gamintojais sudarė bendrą darbo grupę, kuri tyrė žaibų poveikį orlaiviams. Darbo grupė, JAV Gynybos departamentas ir Federalinė aviacijos administracija parengė apsaugos nuo žaibų standartus. Į juos buvo įtrauktas elektros įžemimas, galintis pernešti žaibo srovę, taip pat kibirkščiavimui atsparūs degalų bakų dangčiai, žaibo iškrovikliai radijo antenoms. Manyta, kad žaibo pavojaus aviacijai problema išspręsta.

Vėliau 1959 m. „Trans World Airlines“ kompanijos lėktuvas „Lockheed Constellation“ su 59 keleiviais ir 9 įgulos nariais sprogo, pakilęs Milane. Žaibo smūgis sukėlė keletą sprogimų degalų bakuose. Visi keleiviai ir įgulos nariai žuvo. Dar vėliau 1963 m. „Pan American World Airways“ kompanijos lėktuvas „Boeing 707“ patyrė žaibo iškrovą ir sprogo skrydžio metu, visi 73 keleiviai ir 8 įgulos nariai žuvo.

Institucijos atnaujino žaibų poveikio orlaiviams tyrimus, sutelkdamos dėmesį į orlaivių kuro sistemas. Darbai tęsėsi nuo septintojo iki aštuntojo dešimtmečio pradžios. Buvo sutelktas dėmesys į kuro bakų struktūrą, bakų ventiliacijos projektavimą ir išleidimo angų vietas, liepsnos slopinimo būdus bei naujus testavimo metodus.

Abiejų šių avarijų metu orlaiviuose buvo naudojamas labai lakus JP-4 kuras. Tai paskatino aviacijos industriją pereiti prie Jet A žibalo naudojimo, kurio pliūpsnio temperatūra gerokai aukštesnė.

1976 m. Irano karinių oro pajėgų lėktuvas „Boeing 747“ sudužo dėl žaibo skrydžio iš Teherano į Milaną metu. Skrendant per intensyvią audrą į lėktuvo priekinę dalį trenkė žaibas, srovė nutekėjo nuo priekinės lėktuvo dalies iki kairiojo sparno galo. Žaibo išlydžio srovė koncentravosi ties kniede ir įžeminimo sąrisa sparno gale. Viršįtampio užteko įžiebtai kurui pirmame kuro bake, sparnas nulūžo nuo orlaivio ir jis sudužo.

Nuo tada projektuojant orlaivius stengiamasi, kad žaibo srovė nuo prisijungimo iki išėjimo taško galėtų tekėti be didesnių suvaržymų, lanksčios jungtys įrengiamos prie valdymo plokštumų tam, kad išsklaidytų srovę. Elektros laidų ir avionikos įrangos apsaugai įrengiami ekranai ir viršįtampio slopintuvai.

Dabar visi orlaiviai privalo atitikti sertifikavimo standartus, kuriuose numatyti fiuzeliažo, variklių, kuro sistemų, avionikos apsaugos nuo žaibų reikalavimai.

Pradėjus naudoti kompozitines anglies pluošto medžiagas, orlaivių projektuotojai susiduria su naujais iššūkiais, susijusiais su orlaivių apsauga nuo žaibų.

3. Perkūnijos debesų susidarymas, žaibavimas

Atmosferos reiškiniai, kuriems būdingas intensyvus debesų susidarymas ir žaibų elektros iškrovos, vadinami perkūnija. Cb debesys susidaro dėl stipraus vertikalaus oro maišymosi, susijusio su atmosferos nepastovumu, kai aukštyneigų oro srautų greitis siekia 10–15 m/s. Tokį greitį aukštyneigiai vertikalūs oro srautai pasiekia dėl nevienodo žemės paviršiaus išilimo ar priverstinio oro išstūmimo aukštyne išilgai fronto paviršiaus, kalnų šlaito.

Cb debesys pagal gardelinę sandarą skirstomi į tris grupes:

- *Vienos gardelės Cb.* Juos sudaro viena konvekinė kylančio srauto gardelė. Šiuose debesyse gali susidaryti kruša, perkūnija, bet iškritus krituliams, greitai suyra. Tokių Cb gyvavimo trukmė apie 1 val. Debesies viršūnė siekia 8–12 km, skersmuo – 5–20 km.
- *Daugiagardelinių Cb* atveju juos sudaro keletas konvekcinių gardelių. Šie debesys galingesni ir ilgiau gyvuoja. Debesies viršūnės neretai pakyla iki tropopauzės ir prasiskverbia į stratosferą, jų skersmuo 20–

40 km. Daugiagardeliniai debesys dažniausiai vystosi pagrindiniuose ir antriniuose šaltuosiuose frontuose. Su šiais debesimis būna susijusios smarkios liūtys, perkūnijos, kruša. Vidutinė tokių konvekcijos židinių gyvavimo trukmė yra 1,5 valandos.

- *Supergardeliniai Cb* židiniai būna vienos gardelės struktūros (radare – apskritimo ar elipsės formos) 20–40 km skersmens ir 12–16 km aukščio. Supergardelės vystosi šaltuosiuose ir šaltojo tipo okliuzijos frontuose esant dideliame atmosferos nepastovumui ir smarkiems vėjo poslinkiams. Supergardeliniai Cb pasitaiko gana retai. Su jais siejami labai pavojingi reiškiniai. Tokių debesų gyvavimo trukmė – iki 4 valandų.

Su perkūnijos debesimis susijęs ne tik žaibavimas, bet ir kiti aviacijai pavojingi reiškiniai: turbulencija, vėjo poslinkis, mikrogūsiai, apledėjimas ir kt.

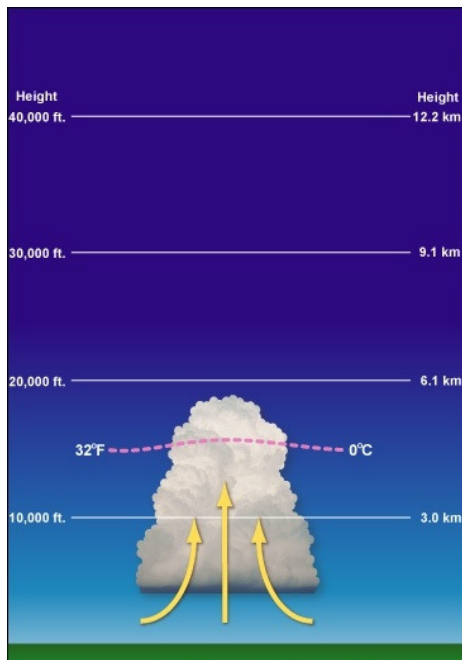
Pagal susidarymo pobūdį perkūnijos skirstomos į vidujines ir frontines, o frontinės – į orografines, konvekcines ir advekcines.

- Orografinės perkūnijos susidaro kalnuotuose rajonuose, kai nepastovi oro masė priverstinai kyla priešvėjiniiais kalnų šlaitais. Intensyviausios jos būna ten, kur kalnų šlaitai vidurdienį atgręžti į saulę.
- Konvekcinės perkūnijos, dar vadinamos vietinėmis ar šiluminėmis. Jos susidaro tais atvejais, kai žemės paviršius būna stipriai išilęs, oro masė apatiniam sluoksnyje šilta ir drėgna, oro temperatūra virš 20°C, rasos taškas virš 16°C, vertikalusis temperatūros gradientas – daugiau nei 7,5°C/km. Konvekcinės perkūnijos dažniausiai stebimos popietinėmis vasaros valandomis, nedidelio horizontalaus barinio lauko zonose, ciklonų periferijose ar kalnagūbriuose.
- Advekcinės perkūnijos susidaro vasarą greitai judančioje, santykinai šaltoje, bet drėgnoje oro masėje virš šilto paklotinio paviršiaus.
- Frontinės perkūnijos dažniausiai susidaro šaltuosiuose ir okliuzijos frontuose, dažniau vasarą, tačiau stebimos ir kitais metų laikais, nepriklausomai nuo paros laiko. Retai susidaro ir šiltuosiuose frontuose, dažniausiai naktį. Nakties valandomis viršutinė debesų masė atvėsta, padidėja vertikalus temperatūros gradientas, dėl nepastovaus susisluoksniavimo Ns debesyse prasideda vertikalusis judėjimas, išsivysto Cb perkūnijos debesys. Intensyvesnės perkūnijos susidaro esant didesniai temperatūrų skirtumui tarp oro masių bei didelei oro drėgmei. Perkūnijos debesys kaupiasi priekinėje fronto zonoje. Šios zonos ilgis yra iki 1000 km, plotis – apie 40 km.

Vystantis perkūnijos debesimis, išskiriamos 3 stadijos:

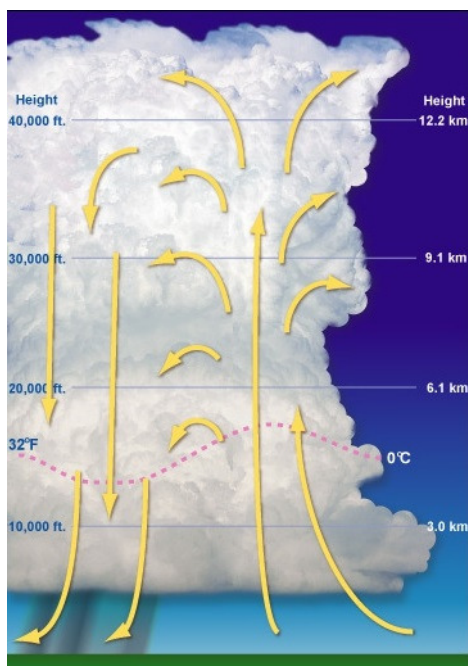
- 1-oji stadija – debesies vystymasis (1 pav.). Pradžioje susidaro kamuolinis Cu hum debesis, kuris po truputį vystosi į galingesnį Cu cong debesį, kol susidaro perkūnijos Cb debesys. Prasideda žemėneigiai oro srautai, iškrinta krituliai.

Viršutinėje dalyje būdingas ledėjimas. Viršutinė riba – 5–7 km.



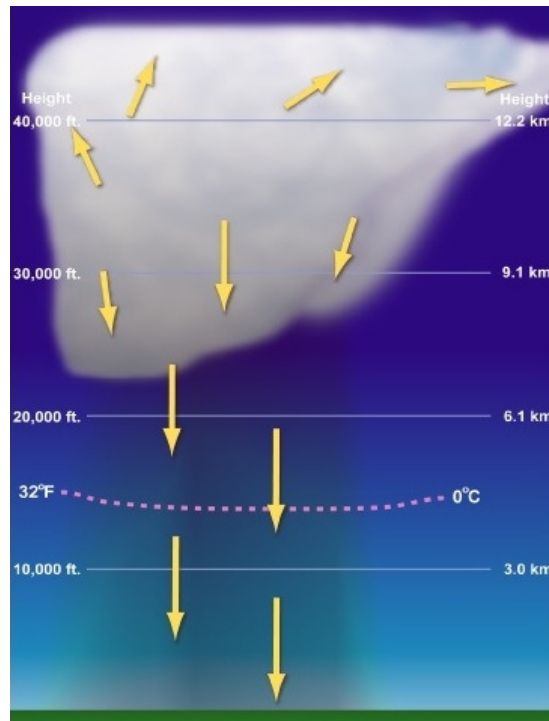
1 pav. 1-oji stadija, Cb debesies vystymasis
Fig. 1. First stage, Cb cloud development

- 2-oji stadija – maksimalus išsivystymas (2 pav.). Kamuoliniai debesys pasidaro žymiai didesni ir sunkesni. Kadangi kylantis oras daugiau negali jų išlaikyti, iškrinta liūtiniai krituliai, kruša. Tuomet šaltas sausas oras pradeda patekti į debesį, kadangi jis yra sunkesnis už šiltą orą. Šaltas oras pradeda leistis ir taip išstumia dar daugiau kritulių. Tuo tarpu aukštyneigiai srautai gali siekti 30 m/s. Visi su perkūnija susiję reiškiniai tuomet intensyviausi, žaibavimo tikimybė didžiausia.



2 pav. 2-oji stadija, maksimalus Cb išsivystymas
Fig. 2. Second stage, Cb cloud maximum development

- 3-ioji stadija – Cb debesies irimas (3 pav.). Debesis pradeda irti, vyrauja žemyneigiai oro srautai. Kadangi šiltas drėgnas oras nekyla, nesiformuoja vandens lašeliai, krituliai ne tokie intensyvūs, nors kartais stebimi ir liūtiniai krituliai. Žaibavimo tikimybė taip pat išlieka. Debesis pradeda irti nuo apačios.



3 pav. 3-oji stadija, Cb debesies irimas
Fig. 2. Third stage, Cb cloud decay

Visos Cb debesies vystymosi stadijos trunka 3–5 val. Perkūnijos debesys horizontaliai užima 3–50 km skersmens plotą. Apatinė jo riba yra 1,0–1,5 km aukštyje, viršutinė – 8–14 km vidutinėse platumose, o tropikuose 16–18 ar net 20–21 km aukštyje. Taigi perkūnijos debesys vertikalčiai apima beveik visą troposferą, kartais per tropopauzę prasiskverbia ir į stratosferą.

4. Žaibo iškrova į orlaivį

Orlaivių susidūrimas su perkūnija priklauso nuo kelių veiksnių – geografinės padėties, kur orlaivis skrenda, kaip dažnai orlaivis kerta aukštėjimo ir žemėjimo aukščius ten, kur didžiausia žaibavimo tikimybė.

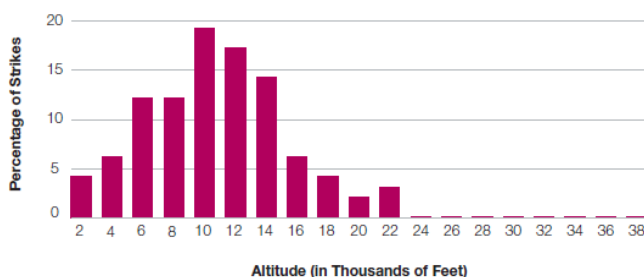
Žaibavimo aktyvumas labai priklauso nuo geografinės padėties. Pavyzdžiui, JAV Floridos valstijoje perkūnija stebima maždaug 100 dienų per metus, kai tuo tarpu vakarinėje JAV dalyje – vidutiniškai 10 dienų per metus. Perkūnija dažniausiai stebima pusiaujo regionuose, kur dėl šilumos dienomis susidaro galinga oro konvekcija. Pasaulinis žaibavimo žemėlapis, sudarytas NASA, rodo geografinį žaibavimo pasiskirstymą.

Lietuvoje apie 80% perkūnijų susijusios su nejudrių frontų Cb debesimis. Mūsų šalyje stebimos 19–30 dienų su perkūnija, jos dažnesnės yra Lietuvos pietuose. Di-

džiausia perkūnijos tikimybė Lietuvoje tarp 12 ir 23 valandų.

Dažniausiai į avialainerius žaibas trenkia debesyse aukštėjimo ir žemėjimo fazėse, kadangi žaibavimo tikimybė didžiausia yra aukščiauose nuo 1500 iki 4500 metrų (4 pav.). Orlaiviai, skraidantys trumpus nuotolius aukšto žaibavimo intensyvumo rajonuose, patiria žaibavimo padarinius žymiai dažniau, nei orlaiviai, skraidantys ilgus atstumus ne tokiuose aktyviuose regionuose.

4 paveiksle matyti, kad žaibo išlydžio į lėktuvą tikimybė labai smarkiai sumažėja aukščiauose virš 20000 pėdų (apie 6 km.) 70% visų išlydžių įvyksta iškrentant krituliams. Taip pat stebimas stiprus temperatūros poveikis išlydžio tikimybei – dažniausiai temperatūra būna apie 0°C. Žaibo išlydžiai susiję su elektrinio potencialo susikaupimu debesyse – debesų formavimosi, oro srautų maišymosi ir kritulių padariniu. Žaibo išlydžiai patiriami iki 5 mylių atstumu nuo elektrinio potencialo centro.



4 pav. Žaibo iškvos į lėktuvą procentais, priklausomai nuo aukščio

Fig. 4. Lightning discharge to the airplane in percents, according to height

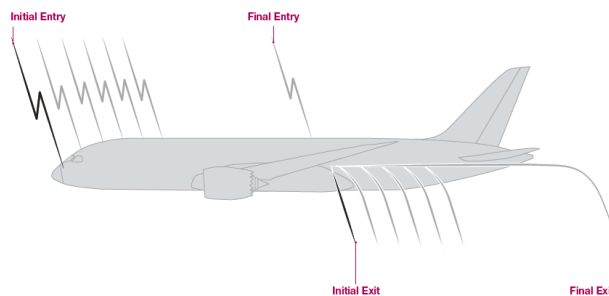
Didžiausia tikimybė patirti žaibo iškvos orlaiviams yra pavasario ir vasaros mėnesiais. Pabrėžtina tai, kad net 42% pilotų pranešimų apie žaibo išlydžius pateikiama vietovėse, kuriose nebuvo stebimi perkūnijos debesys. 96% pilotų pranešimų apie žaibo išlydžius gaunami skrendant debesyse.

Žaibo išlydžio metu įtampa gali siekti iki milijono voltų, srovės stipris – iki 30 000 amperų, orlaiviui padaroma žala labai skirtinga, priklausomai nuo išlydžio energijos, prisijungimo prie orlaivio ir išėjimo iš jo vietų.

Žaibas pradžioje trenkia ir vėliau pasišalina per orlaivio labiausiai atsikišusias vietas. Dažniausiai pirminė išlydžio prisijungimo vieta yra orlaivio nosis, priekinė fiuzeliažo dalis, variklių gaubtų priekinės dalys bei sparnų galai. Pradinėje žaibo išlydžio į orlaivį fazėje ties orlaivio nosimi, sparnų galais, sparnų priekinėmis briaunomis ar kitose smailiose orlaivio vietose gali būti matomas švytėjimas – šv. Elmo ugnys, susidaranti dėl stipraus elektrinio lauko šiose vietose ir aplinkinio oro jonizacijos. Kitoje išlydžio fazėje pakopinė pirminė žaibo iškvos nusitęsia jonizuotu oru nuo debesies iki orlaivio. Kita pirminė iškvos nusitęsia jonizuotais oro takais nuo orlaivio vietų, ties kuriomis stebimas oro įsielektrinimas link debesies – elektros krūvio šaltinio. Kuomet šios dvi pirminės iškvos susiduria, vyksta tolesnė iškvos link žemės ar kito priešingai įelektrinto debesies, orlaivis tampa žaibo išlydžio kelio dalimi, įvyksta atsakomasis smūgis, matomas blyksnis ir girdimas griaustinis. Tačiau

dideli orlaivio apgadinimai nėra dažni dėl apsaugų, įdiegtų orlaiviuose ir jautriuose jų komponentuose.

Po pirminio žaibo išlydžio prisijungimo prie orlaivio jis išeina vis skirtingose vietose, dažniausiai toliau į galą, priešinga sąlyginai greito orlaivio judėjimui kryptimi. Tipinė schema matyti 5 paveiksle.



5 pav. Žaibo išlydžio į orlaivį prisijungimo ir išėjimo vietas vykstant išlydžiui

Fig. 5. Lightning discharge to the airplane incoming and outgoing places

5. Žaibo poveikis orlaiviui. Žalos nustatymas

Orlaivių komponentai, pagaminti iš feromagnetikų, žaibo išlydžio metu stipriai įsimagnetina dėl elektros srovių.

Nors jautrios orlaivio elektros sistemos ir komponentai apsaugomi nuo žaibavimo padarinių, ypatingai stiprios iškvos gali pažeisti tokius komponentus, kaip elektriniu būdu valdomi kuro vožtuvai, elektros generatoriai, elektros paskirstymo įrenginiai ir pan.

Dauguma tradicinių orlaivių išorės dalių pagamintos iš metalo, dažniausiai – aliuminio lydinų, pakankamai storo ir laidaus, kad apsaugotų nuo žaibo išlydžio. Ši metalinė orlaivio konstrukcija savaime tampa pagrindine orlaivio apsauga vidinėms orlaivio dalims ir sistemoms. Naudojant papildomas elektros laidų ir sistemų apsaugas, pasiekiamas pakankamas saugumo lygis.

Orlaivių gamintojai, tyrinėdami žaibo išlydžius, jų prigimtį, poveikį orlaiviams, kuria ir testuoja orlaivių apsaugos sistemas, kurios patikimai apsaugotų orlaivius per visą jų naudojimo laikotarpį. Medžiagų parinkimas, orlaivių paviršiaus padengimas, apsauginių priemonių pritaikymas yra svarbiausi būdai apsaugant orlaivius nuo žaibo išlydžių sukeltos žalos. Vietoms, kuriose didžiausia tikimybė žaibo išlydžio prisijungimui ir išėjimui, taikoma speciali apsauga. Ypatingas dėmesys skiriamas iš kompozitinių medžiagų pagamintoms dalims, nes jos nepasižymi savaimine apsauga kaip metalinės, elektrai laidžios dalys, todėl taikomos papildomos priemonės, pvz. kompozitinių medžiagų dengimas ar įterpimas elektrai laidžiomis medžiagomis, metalinių tinkelių ar kitų struktūrų įterpimas.

Žaibo išlydis dažniausiai paveikia orlaivį išlydžio įėjimo ir išėjimo taškuose. Metalinėse struktūrose dažniausi žaibo išlydžio padariniai – duobutės, apdegimo žymės, mažos apvalios skylutės; šie apgadinimai gali būti susigrupavę vienoje vietoje arba pasiskirstę didesnėje paviršiaus dalyje. Paviršiaus spalvos pakitimas ar dažų pažeidimas taip pat gali indikuoti žaibo išlydžio vietą. Pasitaiko ir rimtesnių orlaivio apgadinimų, dažniausiai visiškai sugadintų ar net trūkstančių galūnių, tokių kaip

sparnų galai, vertikalaus ir horizontalaus stabilizatoriaus kraštai, valdymo plokštumos, antenos. Žaibo išlydį į orlaivį taip pat indikuoja nutrauktos ar apgadintos įžemimo jungtys. Esant pranešimui apie orlaivio susidūrimą su žaibu, yra tikrinamos navigacinės, valdymo, ryšio ir kitos orlaivio sistemos.

6. Apsaugos priemonės

Be jau minėtų orlaivių, pagamintų iš aliuminio lydinių, konstrukcijos, veikiančios kaip Faradėjaus narvas ir užtikrinančios savaiminę apsaugą nuo žaibų, dažniausiai naudojamos papildomos priemonės:

- Laidžios juostos

Valdymo plokštumos ir kitos orlaivio detalės sujungia su likusiu fiuzeliažu gerais laidininkais – laidžiomis juostomis žaibo išlydžio srovės nuvedimui; jungtys turi būti kuo trumpesnės ir tiesesnės (reikia vengti daugiau nei 45° išlenkimų, aštrių kampų).

- Kuro bakų ir sistemų apsaugos priemonės

Kuro užsiliepsnojimas yra vienas pavojingiausių su žaibo išlydžiu į orlaivį susijusių padarinių. Svarbu paties kuro parinkimas, kuris turi būti kuo mažiau linkęs užsiliepsnoti ir mažiau lakus. Konstrukcijose pašalinami kibirkšties susidarymo šaltiniai, ypatingas dėmesys skiriamas kuro bakų dangčiams, kurie konstruojami, kad elektros srovė nesklistų per kuro batus. Taip pat kuro bakuose stengiamasi palaikyti nesprogią atmosferą. Orlaivio kuro bakai projektuojami taip, kad net užsiliepsnojus kurui viduje, atlaikytų padidėjusį slėgį nesuirdami.

- Nemetalinių orlaivio dalių atsparumo elektros išlydžiams didinimas

Pirminei iškrovai (lyderiui) prisijungus prie nemetalinės orlaivio dalies, pvz. priekinio radaro gaubto, ji gali būti visiškai sugadinta. Siekiant išvengti tokių dalių sugadinimo, jose, kaip ir kitose kompozitinėse medžiagose, siekiama padidinti jų elektrinį laidumą tokiomis priemonėmis: įterpiami gerų laidininkų tinkleliai, dalys dengiamos plonu metalo sluoksniu, sujungiamos gerais laidininkais su fiuzeliažu.

- Vidinių orlaivio elektrinių sistemų apsauga

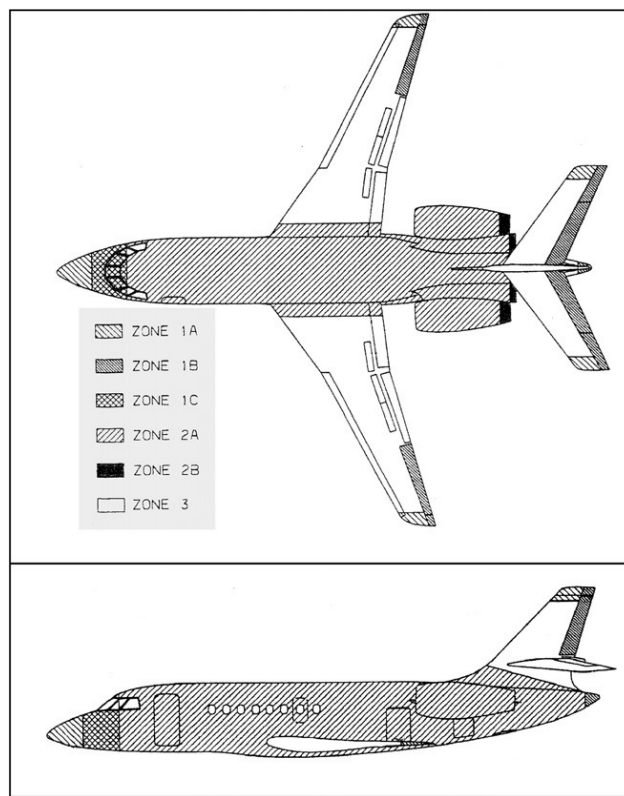
Orlaiviuose naudojant vis daugiau elektrinių automatizuotų sistemų, jų apsauga tampa vis svarbesnė. Visos šios sistemos dengiamos papildomais ekranais, naudojami viršįtampio reguliatoriai.

Modeliuojant orlaivio apsaugos nuo žaibo išlydžio priemones, atsižvelgiama į orlaivio zonas, kurios labiausiai linkusios tapti pirminio žaibo išlydžio prisijungimo ir srovės išėjimo vietomis ar antrinėmis prisijungimo ir išėjimo vietomis. Pavyzdžiu gali būti lėktuvo „Falcon 2000“ zonavimas (6 pav.), nes beveik visų orlaivių geometrinės zonavimo tendencijos labai panašios.

Orlaivio paviršius skirstomas į zonas:

- Zona 1A: vietos, kur atsakomasis smūgis su maža tikimybe išlikti šioje vietoje.
- Zona 1B ir 1C: vietos, kur atsakomasis smūgis su didele tikimybe išlikti šioje vietoje.
- Zona 2A: vietos, kuriose tikėtinos atsakomojo smūgio išlydžio išėjimo vietos su maža užsilaiikymo tikimybe.

- Zona 2B: vietos, kuriose tikėtinos atsakomojo smūgio išlydžio išėjimo vietos su didele užsilaiikymo tikimybe.
- Zona 3: atsakomojo smūgio išlydžio tikimybė labai maža.



6 pav. Falcon 2000 zonavimas

Fig. 6. Falcon 2000 zones

Orlaivių zonavimas rodo, kur turi būti skirtas didžiausias dėmesys apsaugos priemonių įrengimui ir konstrukcijos parinkimui, lengvesnei orlaivių apžiūrai po pranešimų apie žaibo išlydį į orlaivį.

7. Išvados

1. Kiekvienas aviacijos specialistas privalo žinoti žaibavimo susidarymo sąlygas, jų poveikį aviacijai. Ypatingai šios žinios svarbios orlaivių pilotams, kurie turi gerai suprasti, įvertinti aplinką ir sumažinti orlaivio įskridimo į erdvę, kurioje yra didelis žaibo išlydžio pavojus. Orlaivius aptarnaujantiems technikiams svarbu tinkamai įvykdyti orlaivių apžiūrą, įvertinti žaibo išlydžio padarytą žalą, atlikti remontą.
2. Žaibo išlydžių į orlaivius, kaip natūralaus gamtos reiškinio, visiškai išvengti nepavyksta, tačiau didėlėmis specialistų pastangomis stengiamasi jo padarinius sumažinti iki minimumo. Naujus iššūkius kelia netradicinių, nemetalinių medžiagų naudojimas, vis sudėtingesnių orlaivių sistemų diegimas.
3. Standartų pasiūlytas orlaivių zonavimas leidžia įvardinti labiausiai jų pažeidžiamas vietas ir numatyti būtinas apsaugos priemones.

Literatūra

- Birch B.; Gokcen J.; Sweers G. 2012. *Lightning Strikes: Protection, Inspection and Repair*. Boeing Aero.
- Čepaitytė R.. *Meteorologija pilotams*. VGTU AGAI.
- Fisher, F. A.; J. Plumer, A.; Perala. R.A.. 2004. *Lightning Protection of Aircraft*. Lighting Technologies Inc.
- Collins R. L. 2002. *Thunderstorms and Airplanes*. Washington: Aviation Supplies & Academics, Inc.
- Maceika, K. 2007. Lightning strike protection for aircraft, in *Proceedings of the XVII international conference on Electromagnetic Disturbances EMD'2007*. Bialystok Technical University., ISSN 978-83-60200-37-7 P.8.4-1 -8.4-4.
- Standard SAE ARP 5412A. Aircraft lightning environment and related test waveforms.*

LIGHTNING EFFECT ON AIRCRAFTS

M. Židonis

Summary

Lightning - natural atmospheric physical phenomenon, which has a negative impact on the safe operation of aircrafts. During aviation history some accident influenced by lightning strikes to aircrafts occurred, resulting in introduction of new security measures. With the development of aircrafts, their systems becoming more complex, there was an introduction of new advanced security measures. In recent decade composites materials spread to aviation industry, so there is a new engineering challenges in order to ensure the aircraft resistance to lightning and flight safety.

Keywords: Lightning, thunderstorms, lightning strikes to aircrafts, flight safety.