

1.1. Bendrosios žinios apie orlaivių valdymą ir navigaciją

Orlaivių navigacija yra mokslas apie orlaivių valdymo būdus ir priemones skrendant iš vieno Žemės paviršiaus taško į kitą pagal erdvėje ir laike pasirinktą trajektoriją. Orlaivių navigacija reiškia lakūnų veiksmų visumą nustatant orlaivio vietą erdvėje, skrydį pagal pasirinktą kelio liniją nurodytame aukštyje naudojant mažiausiai degalų ir saugų atskridimą į paskirties vietą nustatytu laiku. Daugumą šių sudėtingų veiksmų automatiškai ar pusiau automatiškai atlieka įvairaus sudėtingumo skrydžio valdymo sistemos. Skrisdami lakūnai turi atlikti daug kitų veiksmų: nuolat stebėti oro erdvę ir laiku išvengti susidūrimų su kitais orlaiviais, stebėti audros debesis ir nuspręsti, kaip juos apskristi, pranešti skrydžio valdymo tarnyboms apie tarpinių kelio taškų ir skrydžių valdymo regionų ribų praskridimo laiką, perduoti duomenis apie oro sąlygas, pranešti apie orlaivio navigacijos plano pasikeitimus ir perduoti kitus duomenis.

Atskristi į nurodytą vietą galima tik nustačius pradinę orlaivio vietą (vizualiai ar pagal prietaisus). Po to nustatoma skrydžio kryptis, atstumas iki nurodytos vietos, kelio greitis, patikslinamos degalų atsargos ir skaičiuojama, kada orlaivis atskris į nurodytą (paskirties) vietą.

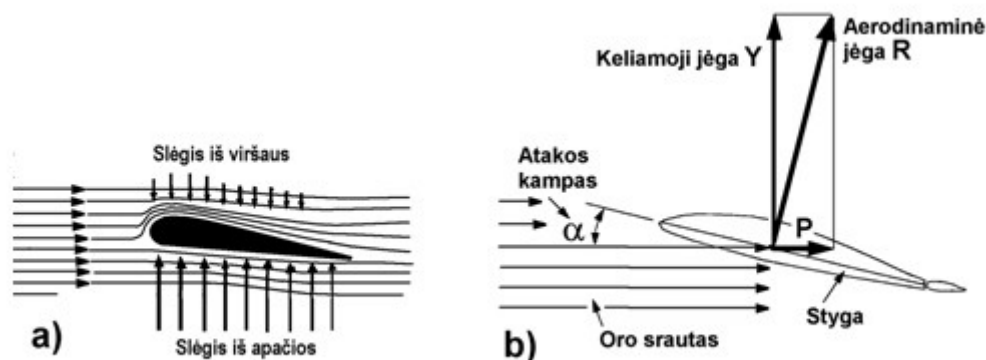
Skrisdami lakūnai atlieka dvi pagrindines operacijas: orlaivio valdymą ir navigaciją. Orlaivio valdymas yra jo padėties ore palaikymas ar keitimas valdant skrydžio greitį ir aerodinamines valdymo plokštumas. Kai orlaivis yra gerai valdomas, lakūnui lengva jo padėtį erdvėje palaikyti stabiliai ar ją pakeisti. Tada lakūnas gali nustatyti orlaivio vietą, pasirinkti skrydžio kryptį ir aukštį, susisiekti su skrydžio valdymo tarnybomis radijo ryšio priemonėmis. Tai vadinama orlaivio navigacija.

Orlaivio valdymas ir navigacija gali būti rankiniai, kai lakūnas pats atlieka navigacijos skaičiavimus ir aerodinamines plokštumas pats valdo lynais, ir automatiškas, kai navigacijos skaičiavimus ir aerodinaminių plokštumų valdymą atlieka automatinio valdymo įrenginiai.

1.2. Lėktuvų valdymas ir valdymo parametrai

Pradėjus domėtis aviacija, tuojau kyla klausimas, kaip lėktuvo sparnai ar sraigtasparnio mentės išlaiko sunkų orlaivį ore. Atsakyti į tai galima sužinojus pagrindinius oro srauto aptekėjimo apie šias orlaivio aerodinamines plokštumas dėsnius. Šie dėsniai yra bendri lėktuvams, sraigtasparniams ir kitiems panašiams orlaiviams, todėl toliau šiame poskyryje rašysime tik apie lėktuvus.

Pagal Bernulio dėsnį, dujoms (ar skysčiui) aptekant kūną, pavyzdžiui, sparną, jo paviršiuje slėgis bus mažesnis ten, kur srauto greitis yra didesnis. Sparnas ar kita aerodinaminė plokštuma orientuojama oro sraute taip, kad didesnis aptekėjimo greitis būtų viršuje (1a pav.). Didesnis slėgis iš apačios kelia plokštumą aukšty, atsiranda visa aerodinaminė jėga R (1b pav.).



1 pav. Keliamoji jėga

Slėgių sparno viršuje ir apačioje dydis priklauso nuo skrydžio greičio, oro tankio, sparno profilio formos, jo paviršiaus glotnumo, sparno orientacijos oro sraute (atakos kampo). Šių slėgių skirtumas

vadinamas keliamosios jėgos koeficientu C arba atakos kampo koeficientu.

Didinant kampą tarp oro srauto ir plokštumos iki kritinės reikšmės, oro srautas virš plokštumos greitėja ir toliau apgaubia viršutinę plokštumos pusę, todėl aerodinaminė jėga didėja.

Kampas tarp oro srauto ir plokštumos, pavyzdžiui, sparno stygos, vadinamas atakos kampu α (angl. Angle of Attack, Angle of Incidence).

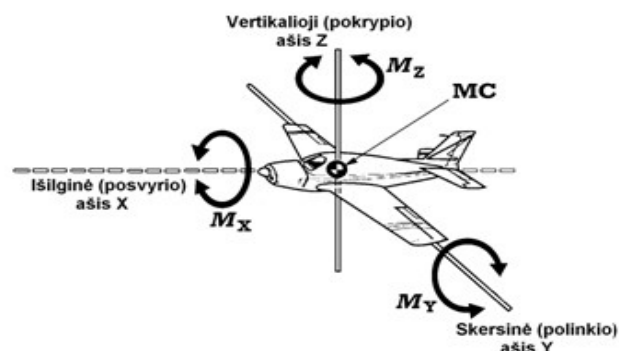
Keičiantis atakos kampui aerodinaminė jėga keičia savo dydį, vietą ir kryptį, ji nėra statmena nei oro srautui, nei sparno stygai. Kai atakos kampai α yra nedideli, patogiau išskaidyti visą aerodinaminę jėgą R į vertikaliąją ir horizontaliąją dedamąsias: faktinę sparno keliamąją jėgą Y , statmeną oro srautui, ir sparno pasipriešinimo jėgą P , sutampančią su oro srautu.

Skrendant tiesiai vienodame aukštyje pastoviu greičiu, keliamoji jėga yra lygi orlaivio sunkio jėgai. Oras priešinasi sparno ir viso orlaivio judėjimui, todėl variklio traukos jėga turi kompensuoti pasipriešinimą P . Lėktuvui aukštėjant, žemėjant, keičiant skrydžio kryptį ar greitį, šių keturių aerodinaminių jėgų balansas keičiasi. Skrisdamas vizualiai ar pagal prietaisus lakūnas turi žinoti, kokios turi būti šios aerodinaminės jėgos. Pavyzdžiui, sumažėjus skrydžio greičiui mažėjanti keliamoji jėga nebekompensuoja sunkio jėgos ir lėktuvas pradeda smukti. Kai žemė arti, lakūnas gali nespėti padidinti greičio (keliamosios jėgos), ir įvyks katastrofa. Esant mažam atakos kampui, keliamoji jėga gali būti mažesnė už sunkio jėgą ir gali prasidėti smuka. Padidinus atakos kampą iki kritinio (maždaug iki 20°), oro srautas pradeda atitrūkti nuo plokštumos, slėgis plokštumos viršuje didėja ir keliamoji jėga pradeda staigiai mažėti. Didinant variklio trauką, didėja skrydžio greitis ir oro pasipriešinimas auga proporcingai greičio kvadratui, todėl gali prasidėti lėktuvo konstrukcijos perkrovos. Pasipriešinimas staigiai pradeda didėti, atakos kampui artėjant prie kritinės reikšmės.

Aerodinaminių jėgų dydis priklauso ne tik nuo skrydžio greičio, bet ir nuo oro tankio (skrydžio aukščio). Kadangi keliamoji jėga ir pasipriešinimas didėja, didėjant atakos kampui, esti tik vienas optimalus atakos kampas, kada keliamosios ir pasipriešinimo jėgų santykis yra didžiausias.

Nuo pakilimo iki nutūpimo lėktuvas skrenda trajektorija (juda trimatėje erdvėje), keisdamas aukštį, skrydžio kryptį ir greitį. Lėktuvo trajektoriją valdo lakūnai arba skrydžio valdymo sistemos. Tai daroma valdymo plokštumomis. Skrendant pasirinktąją trajektoriją, galimi du pagrindiniai lėktuvo valdymo būdai. Kol lėktuvas nėra reikiamoje trajektorijos vietoje arba kai jo padėtis erdvėje neatitinka reikalavimų, keičiama lėktuvo aerodinaminių valdymo plokštumų padėtis. Kai lėktuvas pradeda skristi pasirinktąją kryptimi nurodytame aukštyje reikiamu greičiu, valdymo plokštumų padėtys nekeičiamos arba keičiamos nedaug.

Lėktuvą, judantį ore, veikia aerodinaminės jėgos. Jų dydis priklauso nuo tokių oro savybių, kaip tankis, klampumas, drėgnumas ir spūdimas. Oro tankis trukdo judėti. Dėl to skiriasi lėktuvų valdymas arti žemės ir aukštai, kur oras išretėjęs. Kiekvieną lėktuvo ar kito orlaivio dalelę veikia Žemės trauka, visų dalelių sunkio jėgų atstojamoji sutelkta orlaivio masių centre MC (2 pav.). Kiekvieną aerodinaminės plokštumos paviršiaus tašką slegia oro srautas, šių jėgų atstojamoji sutelkta keliamosios jėgos centre. Analogiškai susidaro traukos ir pasipriešinimo jėgų centrai. Kai šių jėgų centrai ir masių centras nesutampa, atsiranda lėktuvą erdvėje sukantys momentai M . Momentus patogų nagrinėti lėktuvo išilginės ašies X , skersinės ašies Y ir vertikaliosios ašies Z atžvilgiu.



2 pav. Lėktuvo ašys ir šių ašių atžvilgiu veikiantys momentai

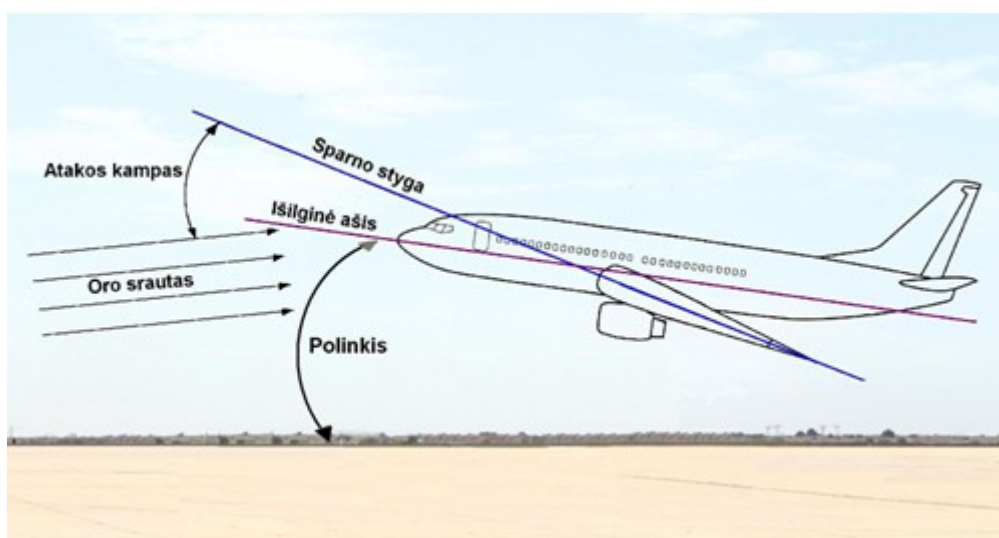
Lėktuvui skrendant, jis ne tik juda trimatėje erdvėje, bet dar keičia savo ašių orientaciją Žemės atžvilgiu. Kampas tarp išilginės orlaivio ašies ir horizonto vadinamas polinkiu (3 pav.). Jis yra teigiamas, kai išilginė ašis nukreipta į viršų nuo horizontaliosios plokštumos, ir neigiamas – kai nukreipta žemyn. Polinkio kampu nurodoma orlaivio padėtis horizonto atžvilgiu, o ne jo judėjimo kryptis. Atakos ir polinkio kampai nėra vienodi, nes oro srautas ne visada juda horizontaliai, o sparno styga (linija, jungianti labiausiai nutolusius priekinį ir galinį sparno taškus) nėra lygiagreči išilginei orlaivio ašiai.

Kampas tarp skersinės orlaivio ašies ir horizonto vadinamas posvyriu. Jis yra teigiamas, kai dešinysis sparnas yra žemiau. Posvyris atsiranda orlaiviui pasisukus apie išilginę savo ašį.

Lėktuvo posūkio kampas apie vertikaliąją ašį vadinamas pokrypiu. Valdant lėktuvo padėtį erdvėje, keičiamas greičio vektorius (skrydžio greitis ir kryptis).

Pokrypiu vadinamas orlaivio pasisukimo apie vertikaliąją ašį dydis. Orlaivio kursas yra kampas tarp pasirinktos linijos horizontaliojoje plokštumoje, pavyzdžiui, dienovidinio, ir orlaivio išilginės ašies.

Polinkis, posvyris, pokrypis ir atakos kampas yra pagrindiniai lėktuvo valdymo parametrai. Juos matuoja aviahorizontai, girovertikalės ir inercinės sistemos.



3 pav. Polinkis ir atakos kampas

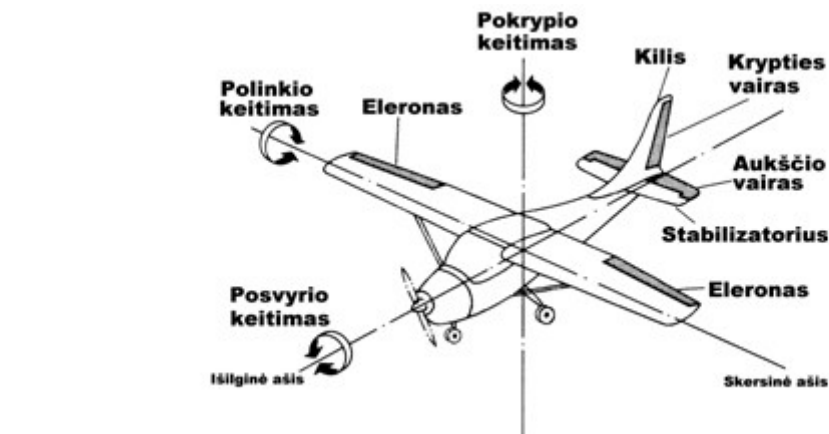
Lėktuvų ir sraigasparnių valdymas yra daug kuo panašus, bet valdymo įrenginiai skiriasi, todėl toliau sraigasparnių neminėsime.

Lėktuvai valdomi aerodinaminėmis plokštumomis. Aerodinaminėms jėgoms veikiant plokštumą, lėktuvą veikia atitinkami momentai, jis keičia padėtį erdvėje ir juda reikiama kryptimi. Kai nereikia keisti lėktuvo padėties, valdymo plokštumos statomos į tokią padėtį, kad aerodinaminės jėgos jų neveiktų.

Kad lėktuvas galėtų skristi pastoviu greičiu vienodame aukštyje, turi būti jėgų ir momentų pusiausvyra. Jei lėktuvas savaime palaiko tokią padėtį arba po atsitiktinio trikdžio į ją sugrįžta, jis vadinamas statiškai stabiliu. Didelis lėktuvo statinis stabilumas nėra gerai, nes reikia didesnių momentų (didesnių plokštumų valdymo jėgų) jo padėčiai erdvėje pakeisti.

Lėktuvo stabilumas yra svarbus visų trijų ašių atžvilgiu, tačiau lemiamos reikšmės lėktuvo skrydžio stabilumui turi išilginis stabilumas, t. y. stabilumas skersinės ašies atžvilgiu (polinkio stabilumas). Kairioji ir dešinioji lėktuvo pusės yra beveik simetriškos, todėl masės ir keliamosios jėgos centrai nėra daug nutolę nuo išilginės ašies, nėra didelių posvyrio momentų ir jie nedaug keičiasi kintant skrydžio greičiui ir oro tankiui. Kitaip yra su išilginiu stabilumu. Tuščio ir pakrauto orlaivio masių centro vieta keičiasi, keliamosios jėgos centro padėtis priklauso nuo skrydžio greičio, oro tankio, atakos kampo ir kt. Masių centras gali būti ir prieš keliamosios jėgos centrą (sunkesnis priekis) ir už jo (sunkesnis galas). Dėl to atsiranda didelis polinkio momentas. Daugumos lėktuvų uodegoje yra mažesnė už sparnus horizontalioji plokštuma (stabilizatorius), kuri gerina išilginį stabilumą atsverdama polinkio momentą.

Šiuolaikinis lėktuvas turi daug aerodinaminių valdymo plokštumų. Jas galima suskirstyti į pirmines ir antrines. Visuose lėktuvuose yra trys pagrindinės pirminės valdymo plokštumos: eleronai, krypties ir aukščio vairai (4 pav.). Jos yra sparnų, kilio ir stabilizatoriaus tęsinys ir, būdamos neutralios padėties, netrukdo lėktuvo stabilumui. Pirminės plokštumos atlieka pagrindinį lėktuvo valdymą, keičiant jo padėtį erdvėje jo masės centro atžvilgiu.



4 pav. Lengvojo lėktuvo valdymo plokštumos

Kampinės lėktuvo padėties keičiamos eleronais, krypties vairo ir aukščio vairo (stabilizatoriumi). Visos šios valdymo plokštumos atlieka dvi pagrindines funkcijas – valdo lėktuvą ir stabilizuoja jo padėtį. Valdant plokštumas, valdoma lėktuvo skrydžio trajektorija. Tada plokštumos juda lėčiau, bet didesniu intervalu. Stabilizuojant lėktuvo padėtį trajektorijoje, valdymo plokštumos juda greičiau, bet mažu intervalu.

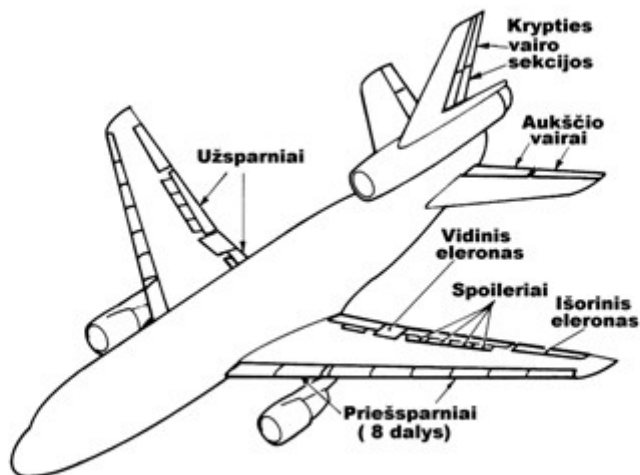
Eleronai yra įtaisyti išilgai sparnų galinės briaunos, arčiau sparnų galų. Eleronais keičiamas lėktuvo skrydžio kursas: sukant kabinos vairarati (valdymo vairą, šturvalą), posvyris, eleronai suderintai lenkiasi į priešingas puses. Sparno, kurio eleronas palenktas į viršų, keliamoji jėga sumažėja, kito sparno – padidėja. Veikiant šioms dviem jėgoms, lėktuvas sukasi apie išilginę ašį (daro posvirį). Bendroji lėktuvo keliamoji jėga tampa nebevertikali, atsiradusi jos horizontalioji dedamoji keičia lėktuvo pokrypį (kursą). Eleronai valdomi rankiniu būdu lynais, kurie eleronus jungia su kabinos vairaračiu. Jei reikia, vairaračio poslinkio jėga stiprinama jėgos pavaromis (hidrauliniiais ar elektromechaniniais stiprintuvais). Valdant skrydžio trajektoriją automatiškai, eleronų jėgos pavaras valdo autopilotai ar kitos automatinio valdymo sistemos.

Krypties (posūkio) vairo kartu su kiliu palaikomas lėktuvo pokrypio (kurso) stabilumas. Valdant krypties vairo, palaikomas arba nedaug keičiamas lėktuvo pokrypis. Valdoma pedalais arba automatiškai, pasukant krypties vairo į kairę ar į dešinę. Atsiradusi aerodinaminė jėga suka lėktuvo uodegą į kairę ar į dešinę ir lėktuvo „nosis“ sukasi. Norint daugiau keisti pokrypį (keisti kursą), naudojami eleronai. Dar krypties vairo naudojamas kompensuojant slydimą, lėktuvui darant posūkį, tada jo ir eleronų valdymas būna suderintas. Krypties vairo valdomas rankiniu būdu lynais, kurie krypties vairo jungia su kabinos pedalais, jei reikia, pedalų poslinkio jėga stiprinama jėgos pavaromis. Valdant skrydžio trajektoriją automatiškai, krypties vairo jėgos pavarą valdo autopilotai ar kitos automatinio valdymo sistemos. Dėl oro srauto nevienodumo, variklių traukos netolygumo ir kitų veiksnių atsiranda lėktuvo krypavimai (virpėjimai) kelių laipsnių intervale, todėl didesniuose lėktuvuose krypties vairo valdymo schemoje būna automatiškai veikiantys krypavimų slopintuvai.

Aukščio vairo, traukiant vairalazdę į save ar stumiant nuo savęs, keičiamas lėktuvo polinkis. Taip palaikomas reikiamas lėktuvo skrydžio aukštis ir greitis (greitis mažinamas didinant polinkį). Šiuo vairo keičiamas skrydžio aukštis kylant ir leidžiantis. Traukiant vairalazdę į save, aukščio vairo galinė briauna kyla. Oro srautas pradeda spausti aukščio vairo žemyn, dėl to lėktuvo uodegos keliamoji jėga mažėja. Kadangi sparnų keliamoji jėga nekinta, „pasunkėjus“ uodegai, lėktuvas pradeda suktis apie šersinę ašį ir jo polinkis didėja (jo „nosis“ kyla aukščiau).

Stumiant vairalazdę nuo savęs, aukščio vairo lenkiamas žemyn, vairo plokštumos keliamoji jėga didėja, uodega kyla ir lėktuvo polinkis mažėja. Aukščio vairo valdomas taip pat, kaip ir kitos pirminės valdymo plokštumos.

Antrinės aerodinaminės valdymo plokštumos (5 pav.) yra priešsparniai, užsparniai, stabilizatorius, oro ir žemės aptakai, povairiai. Jos pirmiausia skirtos padėti valdyti lėktuvą pirminėmis plokštumomis, jomis gerinamas lėktuvo stabilumas ar valdumas atitinkamais skrydžio momentais.



5 pav. Didelio lėktuvo valdymo plokštumos

Antrinės plokštumos gerina ir kitas lėktuvo charakteristikas, pavyzdžiui, priešsparniais ir užsparniais didinant sparno keliamąją jėgą sumažėja kilimo ir tūpimo greitis, dėl to trumpėja riedėjimo kelias taku.

Oro aptakai yra nedidelės aerodinaminės plokštumos ant sparno viršaus. Juos pakeliant, didinamas posvyrio momentas, lenkiantis sparną žemyn, Oro aptakai veikia kartu su eleronais, todėl eleronai gali būti mažesni, jiems valdyti reikia mažesnės jėgos.

Stabilizatorius yra horizontali aerodinaminė plokštuma lėktuvo uodegoje. Jis gerina išilginį lėktuvo stabilumą, kai dėl degalų eikvojimo keičiasi centruotė, vežami skirtingo svorio kroviniai ar kai skrendant labai keičiasi lėktuvą veikiančios aerodinaminės jėgos. Lengvieji lėktuvai turi nevaldomą stabilizatorių, kurio galinėje dalyje yra aukščio vairas, arba turi tik aukščio vairą. Pastaruoju atveju aukščio vairas atlieka ir stabilizatoriaus funkciją. Didesniųjų lėktuvų stabilizatorius valdomas (perstatomas) automatiškai, jis veikia kartu su aukščio vairu: daugiau palenkus aukščio vairą nuo neutraliosios padėties, automatiškai prasideda stabilizatoriaus perstatymas, kol aukščio vairas vėl grįžta į aptakią padėtį stabilizatoriaus atžvilgiu. Dėl to aukščio vairas gali būti mažesnis, jam valdyti reikia mažesnės jėgos ir jis niekada neatsilenkia iki kraštinės padėties (visada lieka eigos atsarga).

Jei nebūtų stabilizatoriaus, didelio lėktuvo aukščio vairą tektų daryti didelį ir jam valdyti reikėtų galingų jėgos pavarų. Stabilizatoriui valdyti galingų jėgos pavarų nereikia. Jis ne lenkiamas, kaip aukščio vairas, o perstatomas rankiniu būdu arba automatiškai. Stabilizatoriaus judėjimo intervalas yra maždaug 15–19 laipsnių.

Atsižvelgiant į visų valdymo plokštumų padėtį ir variklio trauką, susidaro sparno ir uodegos plokštumų jėgų momentai. Jie palaiko lėktuvą reikiamoje padėtyje erdvėje arba ją keičia, sukdami lėktuvą apie jo išilginę, skersinę ar vertikaliąją ašis. Lėktuvų valdymo sistema yra įrenginių ir prietaisų visuma, skirta stabilizuoti lėktuvo padėtį erdvėje arba ją keisti rankiniu būdu ar automatiškai. Valdant lėktuvą, palaikomas ar keičiamas (valdomas) jo polinkis, posvyris ir pokrypis, sparno keliamoji jėga ir lėktuvo greitis. Valdant reikia atsižvelgti į tai, kad lėktuvas turi šešis laisvės judėjimo erdvėje laipsnius. Jis gali judėti trijų koordinačių ašių kryptimis ir apie jas sukstis.

Aerodinaminių plokštumų jėgos pavarų valdymas lynais – gana sudėtingas, jiems reikia geros techninės priežiūros. Yra lėktuvų su elektriniu jėgos pavarų valdymu (angl. Fly by Wire). Vietoje lynų pavaras valdo kabinos vairuose įtaisytų padėties daviklių signalai.

Lėktuvo padėtį erdvėje nurodo jo polinkio, posvyrio ir pokrypio (kurso) kampai, o padėtį oro srauto

atžvilgiu – atakos ir slydimo kampai. Keičiant lėktuvo padėtį erdvėje ir variklio trauką, kinta navigacijos elementai: skrydžio aukštis, greitis, kursas, nuonaša ir kt. Padėtį erdvėje ir navigacijos elementus matuoja avionikos įrenginiai ir prietaisai. Žinodamas navigacijos ir valdymo elementus, lakūnas pats valdo skrydžio trajektoriją, arba avionikos įrenginių signalai naudojami automatiškam valdymui. Didesniuose lėktuvuose yra daug įrenginių ir prietaisų, rodančių lėktuvo valdymui ir navigacijai reikalingą informaciją. Tai aviahorizontai, girovertikalės, aukščiamačiai, skrydžio greičių matuokliai, atakos kampo ir perkrovų matuokliai, slydimo matuokliai, lėktuvo valdymo plokštumų padėčių rodikliai ir kt. Tačiau vien tokių prietaisų negana, nuolatinis jų stebėjimas vargina lakūnus. Valdant lėktuvą, kyla daug netikėtų situacijų, lakūnai turi suspėti į jas reaguoti. Antrinės aerodinaminės plokštumos gerina lėktuvo charakteristikas, bet lėktuvo valdymas yra dar patikimesnis, greitesnis ir lengvesnis, naudojant automatinis skrydžio trajektorijos ir variklių valdymo įrenginius.

1.3. Orlaivių navigacija

Linija, kuria juda skrendančio orlaivio masių centras, vadinama skrydžio trajektorija. Skrendant į paskirties vietą, orlaivis turi judėti pasirinktą trajektoriją, nenukrypdamas erdvėje ir laike daugiau nei leidžiama. Lakūnai turi žinoti ne tik orlaivio padėtį erdvėje ar oro srauto atžvilgiu (valdymo elementus), bet ir jo vietą (jo koordinatas), skrydžio aukštį, kryptį ir greitį, orlaivio padėtį antžeminių taškų atžvilgiu ir kitus duomenis, kurie vadinami navigacijos elementais.

Paprasčiausia yra lėtai ir žemai skrendančio orlaivio navigacija, kai matomumas yra geras ir galima orientuotis stebint žemę (vizualiai). Tada užtenka pačių paprasčiausių navigacijos prietaisų – aukščio, greičio ir kurso matuoklių. Atrodo, kas gali būti paprastesnio taip skrendant: pažiūri į žemėlapi, pasuki orlaivį reikiama kryptimi ir skrendi pagal kompasą. Iš tiesų taip nėra. Šoninis vėjas neša orlaivį į šalį nuo pasirinktosios krypties, magnetinis kompasas – labai netikslus, todėl reikia stebėti iš anksto žinomus antžeminius orientyrus – geležinkelį, plentą, upę, ežerą. Gali tekti nuo vieno orientyro iki kito skristi keičiant skrydžio kryptį, tada orlaivio kelias pailgėja.

Vizualiai skraidyti leidžiama tik esant geram matomumui aplink orlaivį ir reikiamam atstumui nuo orlaivio iki debesų apačios (pado). Tokie aukščio ir matomumo reikalavimai vadinami vizualiosiomis skrydžio taisyklėmis VST (angl. VFR, Visual flight rules). Skrisdamas pagal VST lakūnas gauna daug vizualios informacijos, bet pagrindiniai prietaisai jam reikalingi.

Kai skrydžio aukštis yra didesnis ar meteorologinės sąlygos – blogesnės, skraidoma laikantis skrydžių pagal prietaisus taisyklių SPT (angl. IFR, Instrument flight rules). Skrisdamas pagal SPT, lakūnas pasikliauja tik navigacijos ir valdymo prietaisais. Reikalinga informacija gaunama matuojant orlaivį supančio oro slėgį, orlaivio orientaciją Žemės magnetiniame lauke, naudojant giroskopinius prietaisus. Faktinės orlaivio vietos ir skrydžio krypties nustatymo tikslumas labai pagerėjo, pradėjus naudoti radijo navigacijos priemones – radijo kompasą ADF (angl. Automatic Direction Finder), radijo navigacijos imtuvą VOR (angl. Very High Frequency Omni Directional Radio Range), atstumo matavimo aparatūrą DME (angl. Distance Measuring Equipment), palydovines navigacijos sistemas GNSS (angl. Global Navigation Satellite System), tikslaus tūpimo sistemą ILS (angl. Instrument Landing System) ir kt.

Orlaivių navigacijos priemonės galima skirstyti į tris rūšis – matuojančias kampus, matuojančias nuotolius ir matuojančias greičius. Orlaivių navigaciją pagal naudojamą navigacijos priemones galima skirstyti į šias pagrindines šakas – prietaisų navigaciją, radijo navigaciją, inercinę navigaciją, šviesos navigaciją ir automatinį skrydžio trajektorijos valdymą.

Prietaisų navigacija žinoma nuo pat orlaivių atsiradimo. Paprasčiausi prietaisai tada buvo barometriniai aukščiamačiai, magnetiniai kompasai, skrydžio greičio matuokliai ir laikrodis. Šie prietaisai yra nesudėtingi ir patikimi, bet juos naudojant orlaivio vietos nustatymo tikslumas blogėja ilgėjant skrydžio nuotoliui (laikui), magnetiniai kompasai neveikia didesnėse platumose.

Šiuolaikiniuose orlaiviuose yra daug tikslesnių valdymo ir navigacijos įrenginių, bet išliko ir senesnieji. Jie dažniausiai naudojami kaip atsarginiai. Radijo navigacijos priemonių yra visuose

orlaiviuose, daugumos jų veikimui reikalingi antžeminiai įrenginiai. Radijo navigacijos priemonių tikslumas ir veikimo nuotolis priklauso nuo naudojamų radijo dažnių, moduliacijos, antžeminių įrenginių ir orlaivio tarpusavio padėties, ir kitų radiotechninių parametrų. Radijo navigaciją galima skirstyti į keturias pagrindines grupes – tolimąją, artimąją, palydovinę ir tūpimo. Radijo navigacijos priemonės patikimai ir tiksliai veikia esant blogam matomumui, dieną ir naktį, žemynuose ir vandenynuose. Pagrindinės šių priemonių savybės, tinkamos navigacijai, yra pastovus radijo bangų sklaidimo greitis ir jų sklaidimas trumpiausiu keliu nuo siųstuvo iki imtuvo.

Inercinės navigacijos priemonės veikia autonomiškai, matuodamos orlaivio pagrečius, atsirandančius dėl negravitacinių jėgų poveikio – variklių traukos, oro pasipriešinimo, keliamosios jėgos ir kt. Šios navigacijos priemonės yra brangios, bet tiksliai veikia visose platumose, neatsižvelgiant į oro sąlygas, todėl naudojamos didesniuose orlaiviuose. Prieš skrydį patikslinus ar iš naujo nustatčius tiksliai orlaivio vietos koordinates, inercinė sistema gali toliau matuoti orlaivio koordinates, nustatyti jo padėtį erdvėje, matuoti orlaivio greičius ir nuskrįstą kelią, bet jos tikslumas blogėja didėjant skrydžio laikui.

Šviesos ir kitos vizualinės navigacijos priemonės naudojamos oro uostuose. Tai įvairūs žiburiai ir signalinės sistemos, signalinės raketos, spalvoti dūmai ir kt. Jos skirtos lakūnams orientuotis, kai orlaiviai kyla, tupia ar rieda takais, kada kitos navigacijos sistemos neveikia. Šviečiančios navigacijos priemonės yra ir orlaiviuose, tai – navigacijos šviesos, išorės apšvietimo žiburiai ir blykstės.

Automatiniam orlaivio skrydžio trajektorijos valdymui erdvėje ir laike naudojamos skrydžio valdymo sistemos. Valdymo ir navigacijos signalus jos gauna iš pilnutinio ir statinio slėgių sistemos prietaisų, giroskopinių įrenginių, inercinių, radijo ir palydovinių navigacijos sistemų. Navigaciniai skaičiavimai, visų sistemos navigacijos priemonių veikimo suderinimas, orlaivio skrydžio pagal pasirinktą programą valdymas vyksta automatiškai. Yra įvairaus sudėtingumo orlaivio automatinio valdymo sistemų – autopilotų, komandinių, automatinio ir programinio trajektorijos valdymo. Paprasčiausi yra autopilotai, kurie tik stabilizuoja orlaivio padėtį erdvėje. Automatinio valdymo sistemos ne tik stabilizuoja orlaivio padėtį erdvėje, bet atlieka nesudėtingus trajektorijos keitimo manevrus. Naudojamas kompiuterines trajektorijos valdymo sistemas, lakūnas tik stebi skrydžio eigą. Komandinės valdymo sistemos automatiškai apdoroja visą orlaiviui valdyti reikalingą informaciją, o lakūnui reikia pačiam valdyti orlaivį pagal jos nurodymus.

Didesniuose orlaiviuose yra bent kelios vienodos navigacijos priemonės. Vienai sugedus, kita dar veikia. Tuos pačius navigacijos elementus gali matuoti keli skirtingais principais veikiantys įrenginiai. Naudojant juos kartu, vienų trūkumus gali kompensuoti kiti, dėl to lakūnui gali gauti tikslesnius navigacijos duomenis.

Pagrindinė navigacijos priemonių paskirtis – orlaivio įgulai teikti tikslią informaciją apie orlaivio vietos koordinates, jos dar gali matuoti skrydžio aukštį, kryptį ir greitį. Dėl navigacijos priemonių netobulumo ir kitų priežasčių skrisdamas orlaivis daugiau ar mažiau nukrypsta nuo pasirinktos trajektorijos, todėl sakoma, kad jis skrenda faktine trajektorija. Jos projekcija Žemės paviršiuje vadinama faktine kelio linija TMG (angl. Track Made Good arba Track Actually Flown). Faktinės ir pasirinktos trajektorijų (kelio linijų) nesutapimo dydis matuojamas nuokrypomis vertikalojoje ir horizontaliojoje plokštumose bei laike. Be trajektorijos duomenų, lakūnams nurodomas laikas, kada jie turi atsikristi į paskirties vietą ir į tarpinius kelio taškus. Daugelio navigacijos priemonių veikimo nuotolis ar laikas yra riboti, todėl reikia laiku pradėti naudoti kitas priemones.

1.4. Navigacijos parametrai

Orlaivio vietos koordinatės, jo padėtis erdvėje, skrydžio kryptis ir greitis vadinami navigacijos ir valdymo parametrais. Pagrindiniai navigacijos parametrai yra:

- skrydžio aukštis (absoliutusias, tikrasis, standartinis), skrydžio lygis;
- orlaivio greitis (prietaisinis, kalibruotasis, tikrasis, ekvivalentinis, Macho, vertikalusis ir kelio);

- orlaivio kursas (tikrasis, magnetinis, sąlyginis);
- orlaivio vietos koordinatės, radijo švyturio pelengas (azimutas), kelio kampas (pasirinktasis ir faktinis), nuskristas kelias, laikas (išvykimo, atvykimo ar vėlavimas), orlaivio padėtis kito objekto atžvilgiu (arba objekto padėtis orlaivio atžvilgiu) ir kt.

Valdyti orlaivį rankiniu būdu ar automatiškai, išlaikant jį pasirinktoje trajektorijoje, galima tik žinant reikalingus navigacijos ir valdymo parametrus. Juos matuoja navigacijos ir valdymo priemonės.

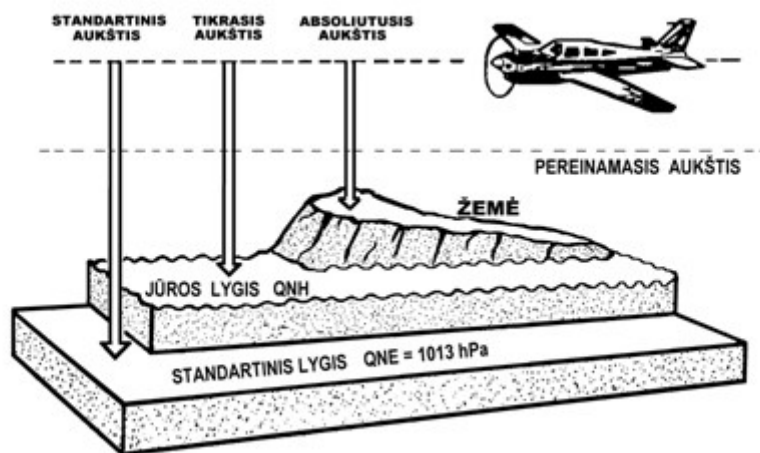
Navigacijos parametrus galima nustatyti dviem pagrindiniais būdais:

1. Žinant pradinę orlaivio vietą ir nuolat matuojant jo skrydžio kryptį ir greitį lakūnas pats ar navigacijos priemonės automatiškai skaičiuoja nuskristą kelią ir nustato faktinę orlaivio vietą. Dėl to šis navigacijos būdas vadinamas išvestiniu skaičiavimu DR (angl. Dead reckoning). Šio navigacijos būdo privalumas yra naudojamų navigacijos priemonių autonomiškumas, antžeminių navigacijos priemonių nereikia. Deja, praradus pradinę informaciją ar net trumpai sutrikus faktinių duomenų nustatymo procesui, tolesnė navigacija dažniausiai negalima ar galima tik su didelėmis paklaidomis. Žinomiausios navigacijos priemonės, kurias naudoja lakūnai, nustatydami faktinius navigacijos parametrus pradinės vietos atžvilgiu, yra inercinės sistemos INS, Doplerio matuokliai, magnetinės ir giroskopinės navigacijos priemonės, oro duomenų kompiuteriai ar net paprasčiausieji barometriniai prietaisai. Naudojant šias priemones, navigacijos tikslumas blogėja ilgėjant skrydžio laikui, nes kaupiasi navigacijos parametrų matavimo paklaidos.
2. Bet kuriuo skrydžio momentu, nustatant faktinę orlaivio vietą ir matuojant kitus navigacijos parametrus, tiesiogiai gaunama reikalinga navigacijos informacija. Šiuo atveju naudojami pilnutinio / statinio slėgių sistemos prietaisai ir radijo navigacijos priemonės – GPS imtuvai, radijo kompasai ADF, navigacijos ir tūpimo sistema VOR/ILS, atstumo matuokliai DME ir kt. Jokių pradinių duomenų nereikia ir jokie skaičiavimai pradinės vietos atžvilgiu nedaromi, tačiau reikia matuoti orlaivį supančio oro slėgį ir temperatūrą ar gauti signalus iš antžeminių įrenginių arba palydovų. Navigacijos tikslumas nuo skrydžio laiko nepriklauso, bet blogėja orlaiviui esant toliau nuo antžeminių navigacijos įrenginių.

Skrydžio trajektoriją lakūnai planuoja iki skrydžio, įvertindami ar turimos navigacijos priemonės leis palaikyti būtiną trajektorijos tikslumą. Skrendant matuojami navigacijos ir valdymo parametrai, nustatomos orlaivio nuokrypos nuo pasirinktosios trajektorijos erdvėje ir laike. Jei šios nuokrypos viršija nustatytas ribas, lakūnai arba automatinė skrydžio valdymo sistema keičia orlaivio valdymo plokštumų padėtį ir variklio trauką, kol nuokrypos sumažėja ir orlaivis grįžta į pasirinktąją trajektoriją. Skrendant maršrutu, orlaivio nuokrypų nuo pasirinktosios trajektorijos dydis, pavyzdžiui, jūrmylėmis, priklauso nuo navigacijos priemonių tikslumo ir lakūno veiksmų valdant orlaivį (pilotavimo technikos).

Duomenys apie skrydžio aukštį, greitį, skrydžio kryptį, orlaivio aukštėjimo ar žemėjimo greitį yra vieni reikalingiausių orlaivių navigacijoje. Jų nežinodami lakūnai negali skristi net pačiu paprasčiausiu orlaiviu. Šiuos duomenis rodantys prietaisai yra matomiausioje vietoje – tiesiai prieš lakūnus.

Skrydžio aukštis yra vertikalčiai išmatuotas atstumas tarp žemės ar kokio nors kito atraminio paviršiaus ir orlaivio. Skrydžio aukščius matuoja barometriniai aukščiamatai, radiotechninės, inercinės, palydovinės ir kitos aukščio matavimo priemonės. Atsižvelgiant į atraminį lygį, orlaivių navigacijoje naudojami absoliutusis, tikrasis ir standartinis skrydžio aukščiai (6 pav.).



6 pav. Orlaivio skrydžio aukščiai

Absoliutusias aukštis (angl. Absolute Altitude) yra orlaivio aukštis nuo žemės paviršiaus, virš kurio jis skrenda. Tikrasis aukštis (angl. True Altitude) matuojamas nuo vidutinio jūros lygio MSL (angl. Mean Sea Level). Skrendant neaukštai, matuojamas absoliutusias ar tikrasis orlaivio aukštis, nes orlaivis gali susidurti su aukštomis antžeminėmis kliūtimis. Šių kliūčių aukščiai nurodomi žemėlapiuose ir navigacinėse duomenų bazėse. Skrendant virš tarptautiniais susitarimais nustatyto pereinamojo aukščio, matuojamas standartinis orlaivio aukštis, nes antžeminių kliūčių nebėra ir svarbu tik išvengti orlaivių susidūrimų ore. Standartinis aukštis arba aukštis pagal slėgį (angl. Pressure altitude) matuojamas nuo įsivaizduojamo standartinio lygio, kuriame atmosferos slėgis lygus 1013 hPa (760 mm Hg). Nuo standartinio atraminio lygio visa oro erdvė suskirstyta į 1000 pėdų pločio skrydžio lygius FL (angl. Flight Level).

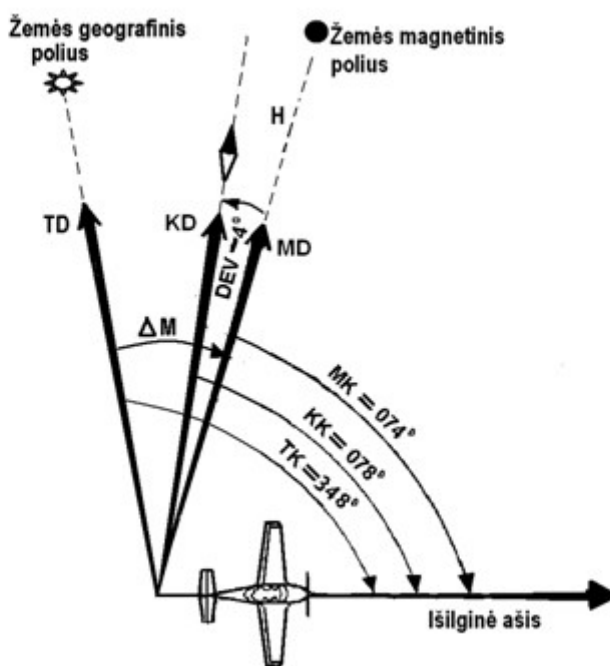
Kita navigacijos parametrų grupė yra skrydžio greičiai. Sparno keliamosios jėgos dydis, aerodinaminių plokštumų valdymo efektyvumas ir perkrovos dėl oro pasipriešinimo priklauso nuo orlaivio judėjimo greičio ore ir oro tankio. Prietaisinis greitis IAS (angl. Indicated Air Speed), proporcingas oro pasipriešinimui, leidžia spręsti apie keliamąją jėgą ir orlaivio aerodinaminių valdymo plokštumų efektyvumą. Šis greitis matuojamas net pačiuose lengviausiuose orlaiviuose, bet nuskristo kelio žinant šį greitį apskaičiuoti negalima. Vietoje prietaisinio greičio IAS didesniuose orlaiviuose matuojamas kalibruotasis greitis CAS (angl. Calibrated Air Speed), kuris yra tikslesnis už IAS, nes įvertinamos oro slėgio matavimo paklaidos. Skrendant didesniu kaip 400 km/val. greičiu pradeda didėti oro spūdimas (suspaudžiamumas), todėl kartu su IAS (ar CAS) pagal sudarytas lenteles galima apskaičiuoti ekvivalentinį greitį EAS (angl. Equivalent Air speed). Orlaivio judėjimo greitis Žemės atžvilgiu vadinamas kelio greičiu GS (angl. Ground Speed), kuris naudojamas skaičiuojant nuskristąjį kelią. Jei nėra vėjo, tikrasis orlaivio judėjimo greitis TAS (angl. True Air Speed) jį supančio oro atžvilgiu yra lygus kelio greičiui GS. Tikrasis greitis TAS matuojamas koreguojant IAS oro tankio signalu, nes oro tankis priklauso nuo skrydžio aukščio ir oro temperatūros. Skraidant motorinėmis oro transporto priemonėmis, į vertikalųjį oro masių judėjimą nekreipama dėmesio, tada tikrasis greitis TAS yra orlaivio greitis jam judant horizontaliai jį supančio oro atžvilgiu. Jei yra vėjas, žinant TAS, nuskristą kelią gana tiksliai galima apskaičiuoti, žinant vėjo kryptį ir greitį. Kadangi IAS proporcingas tik oro pasipriešinimui, jį žinant negalima spręsti apie optimalų keliamosios jėgos ir oro pasipriešinimo santykį, tai svarbu taupant degalus. Išmatavus Macho greitį M (garso greičio santykį su TAS) galima skristi ekonomiškiau. Orlaiviui kylant, tupiant ar keičiant skrydžio aukštį, matuojamas aukščio kitimo tempas arba vertikalusis greitis VS (angl. Vertical Speed).

Greičiai IAS, CAS, TAS ir M matuojami orlaivį supančio oro atžvilgiu. Kelio greitis GS matuojamas Žemės atžvilgiu radiotechniniais ar inerciniais metodais, nes skrendantį orlaivį supa tik oras. Vertikalusis greitis VS matuojamas orlaivį supančio oro atžvilgiu arba įvertinant orlaivio padėties kitimo greitį inertinėje erdvėje inercinėmis sistemomis.

Kursas (angl. heading) yra kryptis, į kurią nukreipta išilginė orlaivio ašis. Kursas matuojamas nuo atraminės krypties, pavyzdžiui, tikrojo ar magnetinio orlaivio vietos dienovidinio. Jei nėra vėjo,

kursas sutampa su greičio vektoriumi (kelio linija arba keliu). Kelio linijos kryptis (padėtis) Žemės paviršiuje nurodoma kelio kampu (angl. Track Angle) atraminės krypties atžvilgiu. Kad orlaivis skristų pasirinktuoju keliu pučiant šoniniam vėjui, reikia orlaivį nedaug pasukti į vėjo pusę, atsižvelgiant į jo kryptį ir greitį. Tada išilginė orlaivio ašis nebesutampa su pasirinktąja kelio linija ir susidaro kampas tarp orlaivio išilginės ašies ir faktinės kelio linijos, kuris vadinamas nuonaša δ (angl. Drift, Drift Angle). Nuonašą matuoja inercinės navigacijos sistemos ir Doplerio matuokliai. Jei nuonašos kampas pasirinktas teisingai, orlaivis juda pasirinktąja kelio linija.

Tikrasis kursas TK (angl. TH, True Heading) yra kampas horizontaliojoje plokštumoje tarp atraminės krypties nuo orlaivio į geografinę šiaurę (orlaivio tikrojo dienovidinio TD) ir orlaivio išilginės ašies projekcijos horizontaliojoje plokštumoje (7 pav.). Geografinė arba tikroji šiaurė labai gerai matoma žemėlapyje, bet orlaivio prietaisais jos vietą ar kryptį į ją nustatyti sudėtinga. Žemėlapiuose nurodomos kelio taškų ir kitų vietų koordinatės (platuma ir ilguma) ir tikrieji kursai į juos. Tikrąjį kursą matuoja inercinės sistemos INS ir palydovinės navigacijos priemonės GPS. Inercinės sistemos yra sudėtingos, brangios, todėl yra tik dideliuose orlaiviuose.



7 pav. Magnetinis ir tikrasis kursai

Visuose senesniuose orlaiviuose nebuvo, o dabar tik mažuose nėra navigacijos priemonių, kurios tiesiogiai matuotų tikrąjį kursą. Todėl navigacijoje greta tikrojo kurso dažniau naudojamas magnetinis kursas MK (angl. MH, Magnetic Heading). Jis matuojamas kaip ir tikrasis, tik ne nuo geografinio, o nuo magnetinio dienovidinio MD. Magnetinis dienovidinis yra linija, jungianti šiaurinį ir pietinį Žemės magnetinius polius. Magnetinio Žemės poliaus vieta nesutampa su geografinio poliaus vieta. Žemės magnetinio lauko ašis pakrypusi į Žemės sukimosi ašį $11,5^\circ$ kampu. Šiaurinis magnetinis Žemės polius yra šiaurės rytų Kanadoje, apie 1 600 km nuo Šiaurės ašigalio. Jo vieta kasmet nedaug keičiasi. Dėl to kurio nors Žemės paviršiaus taško magnetinis dienovidinis bendruoju atveju nesutampa su geografiniu. Kampas tarp jų ΔM turi kelis pavadinimus: variacija, magnetinė nuokrypa, magnetinė deklinacija. Tada $TK = MK \pm \Delta M$. Kai magnetinio dienovidinio šiaurinis galas yra į rytus (dešiniau) nuo tikrojo, magnetinė nuokrypa yra teigiama ir žymima raide E. Vakarinė (neigiama) nuokrypa žymima raide W. Kiekvienas Žemės paviršiaus taškas turi savąją magnetinę nuokrypą. Mažose ir vidutinėse platumose magnetinė nuokrypa yra keli laipsniai. Vilniaus ir daugumos kitų Lietuvos vietų magnetinė nuokrypa šiuo metu yra beveik $+5^\circ$, tik pajūryje, pavyzdžiui, Palangoje, ji yra $+4^\circ$.

Žinant vietos magnetinę nuokrypą, skrydžio magnetinį kursą (ar kitas kryptis) galima perskaičiuoti į tikrąjį.

Orlaivio magnetinį kursą matuoja prietaisai, jautrūs Žemės magnetiniam laukui, pavyzdžiui, paprastasis magnetinis kompasas ar indukcinis daviklis. Atliekant skaičiavimus, magnetinį kursą

matuoja radionavigacijos priemonės ir inercinės sistemos. Kai orlaivis skrenda nekeisdamas magnetinio kurso, jo padėties linija yra loksodromė – kreivė, kertanti magnetinius dienovidinius vienodu kampu. Matuojant kursą magnetiniais kompasais ar indukciniais davikliais, atsiranda paklaidų dėl pašalinių (ne Žemės) magnetinių laukų poveikio ir kitų veiksnių. Kryptis, kurią rodo magnetinis kompasas, vadinama kompasu dienovidiniu KD. Kampas tarp kompasu dienovidinio ir orlaivio išilginės ašies vadinamas kompasu kursu KK (angl. CH, Compass Heading).

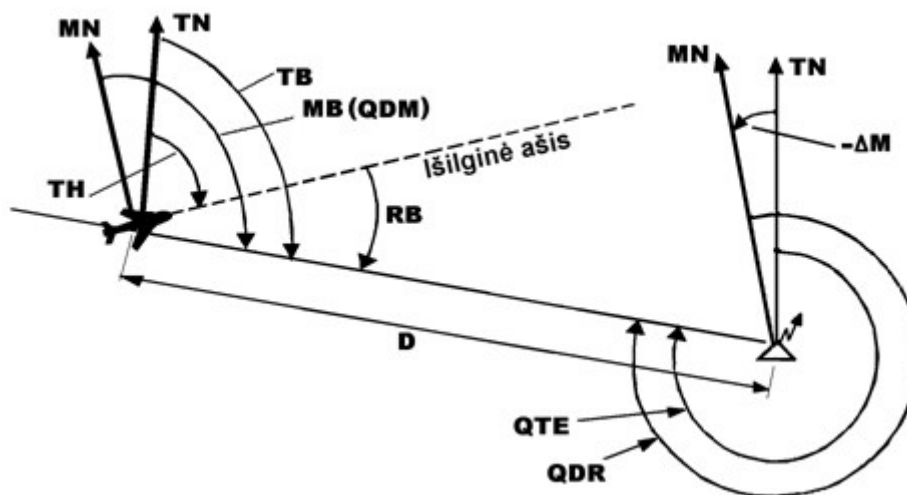
Kompasu kurso nuokrypa nuo magnetinio kurso (kompasu paklaida) vadinama magnetine deviacija ΔK . Ji didėja, kai kompasas yra arti įmagnetintų orlaivio dalių ar netoli laidų, kuriais teka didelės nuolatinės srovės. Deviacijos dydis gali būti net keli laipsniai. Šis dydis kinta atsižvelgiant į tai, kaip yra pasisukęs orlaivis Žemės magnetinio lauko atžvilgiu. Konkretaus orlaivio magnetinio kompasu deviacijos dydį išmatuoti sudėtinga, šiuo metu magnetiniai kompasai yra antraeilės navigacijos priemonės, todėl jų deviacijos dydis nebematuojamas ir lakūnai jo nežino. Skrendant nėra svarbu, nuo kokio dienovidinio ar kitos atraminės linijos matuoti orlaivio kursą. Galima pasirinkti kitą atraminę liniją, vadinamą sąlyginiu dienovidiniu, pavyzdžiui, kilimo tako vidurio liniją, ir jos atžvilgiu matuoti kursą. Žinant kampą tarp sąlyginio ir magnetinio dienovidinių, skrendant galima naudoti tas pačias navigacijos priemones. Kai skrendama ortodrome (trumpiausiu keliu tarp dviejų kelio taškų), sąlyginiu dienovidiniu galima pasirinkti pačią ortodromę. Jei kampas tarp magnetinio dienovidinio MH ir ortodromės yra φ , ortodrominis kursas $OH = MH \pm \varphi$.

Orlaivio vieta taip pat yra navigacijos parametras. Yra keli labiausiai paplitę orlaivio vietos nustatymo būdai. Orlaivio vietą galima apskaičiuoti žinant skrydžio kursą, greitį ir laiką. Yra navigacijos priemonės, pavyzdžiui, inercinės ar palydovinės navigacijos sistemos, kurios tiesiogiai matuoja orlaivio vietą. Orlaivio vietą galima surasti žinant atstumus iki kelių taškų Žemės paviršiuje, kurių koordinatės žinomos.

Tokiu būdu veikia artimosios radionavigacijos sistema DME ir tolimosios radionavigacijos sistema „Loran-C“. Palydovinės navigacijos priemonės GPS orlaivio vietą nustato matuodamos atstumus iki kelių Žemės palydovų, kurių koordinatės matavimo momentu tiksliai žinomos. Jei žinomos kelių taškų, esančių Žemės paviršiuje, koordinatės, orlaivio vietą galima nustatyti žinant kryptis į juos. Kryptis matuoja radijo kompasai ADF ir VOR imtuvai. Orlaivio vietą galima surasti žinant kryptį į Žemės paviršiaus tašką ir atstumą iki jo. Taip veikia radionavigacijos sistemos VOR/DME ir TACAN. Žinant skrydžio kryptį, orlaivio vieta nustatoma skaičiuojant nuskristą kelią nuo pradinio taško, šiam tikslui naudojamos inercinės ir Doplerio sistemos.

Žinant tik vieną kurį nors navigacijos parametras, orlaivio vietos nustatyti negalima. Galimi atvejai kai, orlaiviui skrendant, navigacijos parametras ilgai lieka toks pat. Pavyzdžiui, einant į šiaurę pagal turistinį kompasą, teoriškai galima eiti iki pat magnetinio poliaus ir kompasas vis rodytų tą pačią kryptį, t. y. nueitas kelias yra padėties linija, kurioje kompasu rodmenys – vienodi. Skrendant visą laiką vienodu nuotoliu nuo kokio nors taško Žemės paviršiuje, pavyzdžiui, Kauno oro uoste esančio DME atsakiklio, orlaivio padėties linija bus apskritimas. Naudodamas magnetinį kompasą lakūnas gali skristi visą laiką tuo pačiu kursu, t. y. toks navigacijos parametras, kaip kursas šioje linijoje nekinta. Orlaivių navigacijoje padėties linija vadinama geometrinė taškų vieta, kuriuose matuojamas orlaivio navigacijos parametras nekinta. Žinant tik vieną padėties liniją, orlaivio vietos nustatyti negalima. Orlaivio vieta yra dviejų padėčių linijų susikirtimo taške.

Skrendant orlaivio koordinatės galima nustatyti pagal žemės paviršiuje išdėstytus radijo navigacijos švyturius, kurių vietos tiksliai žinomos. Orlaivio radijo navigacijos priemonės matuoja antžeminių radijo švyturių azimutus ar atstumus iki jų (8 pav.). Patogiausia skristi į radijo švyturį ar nuo jo. Matuojant kelių radijo švyturių azimutus ar atstumus iki jų, galima apskaičiuoti orlaivio vietos koordinatės. Automatinės valdymo sistemos tą atlieka automatiškai.



8 pav. Kurso kampai ir azimutai

Radio švyturio santykinis azimutas RB (angl. Relative Bearing) yra kampas horizontaliojoje plokštumoje tarp orlaivio išilginės ašies ir krypties į tą radio švyturį.

Radio švyturio azimutu orlaivio atžvilgiu vadinamas kampas horizontaliojoje plokštumoje tarp orlaivio dienovidinio šiaurinės krypties ir krypties į antžeminį radio švyturį. Azimutą galima matuoti ir nuo magnetinio MN, ir nuo geografinio TN dienovidinių. Tada jis atitinkamai vadinamas magnetiniu (MB arba QDM) ir tikruoju (TB) radio švyturio azimutu. Brėžiant krypčių nuo orlaivio į švyturį (ar nuo švyturio į orlaivį) linijas žemėlapiuose, radio švyturio azimutas QDM dažniausiai perskaičiuojamas į tikrąjį orlaivio azimutą švyturio atžvilgiu QTE ar magnetinį orlaivio azimutą švyturio atžvilgiu QDR (jie skiriasi 180°), matuojant juos nuo atitinkamų švyturio dienovidinių MN ar TN. Orlaivio azimutu radio švyturio atžvilgiu (QDR ar QTE) vadinamas kampas horizontaliojoje plokštumoje tarp atitinkamo švyturio dienovidinio šiaurinės krypties ir krypties į orlaivį.

Orlaivyje antžeminių radio švyturių azimutus matuoja navigacijos imtuvai VOR, o jų santykinius azimutus – radio kompasai ADF laipsniais nuo 0 iki 360. Žinant bent dviejų antžeminių švyturių azimutus ar santykinius azimutus, galima rasti orlaivio vietą. Didesniųjų oro uostų skrydžių valdymo tarnybos naudoja pelengatorius, kurie nustato orlaivio kryptį (pelengą), priimdami jame veikiančios radio stoties signalus. Pelengo reikšmė pranešama lakūnams.

Orlaivio vietą galima rasti ne tik matuojant kampus tarp jo išilginės ašies ir krypties į radio švyturius ar matuojant kampus tarp švyturio dienovidinio ir krypties į orlaivį, bet taip pat matuojant atstumus D iki kelių radio švyturių, arba tų atstumų skirtumus. Toliau šie matavimų duomenys apdorojami ir naudojami nustatant orlaivio padėties linijas.

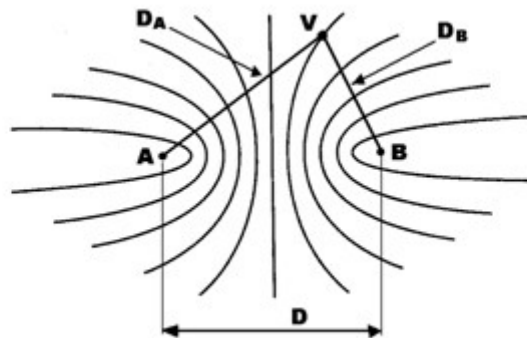
Orlaivio kelio greitis, atstumai ar atstumų skirtumai iki švyturių ir kampai matuojami radio navigacijos priemonėmis. Pagal paskirtį šias priemones galima suskirstyti į keletą grupių: matuojančias kampus (orlaivio radio kompasai, azimutų matuokliai ir antžeminiai radio pelengatoriai), atstumus (toliamučiai su antžeminais atsakikliais), atstumų skirtumus (navigacijos sistemos „Loran-C“), kelio greitį (Doplerio greitmačiai).

Kryptis į antžeminius švyturius matuojančių radio navigacijos priemonių imtuvai priima šių radio švyturių signalus ir pagal juos nustato kryptį (kampą) į tuos švyturius. Radio švyturys yra radio siųstuvas, jo vieta yra tiksliai žinoma. Orlaivio padėties linija, naudojant kampus matuojančias radio navigacijos priemones, yra tiesė, einanti per švyturį ir orlaivio vietą.

Naudojant atstumus matuojančias radio navigacijos priemones, orlaivio padėties linija yra vienodų nuotolių apskritimas, kurio centre yra antžeminis radio švyturys. Apskritimo spindulys lygus išmatuotajam atstumui tarp švyturio ir orlaivio. Dabar naudojamos orlaivių navigacijos priemonės, kurios matuoja atstumus ne iki antžeminių švyturių, o iki dirbtinių Žemės palydovų. Jos vadinamos palydovinės navigacijos priemonėmis GPS. Naudojant palydovines navigacijos priemones, orlaivio vieta yra ne padėties linija, o sfera, kurios centre yra palydovas. Sferos spindulys lygus išmatuotam

atstumui.

Atstumų skirtumus matuojančių navigacijos priemonių padėties linijos horizontaliojoje plokštumoje atrodo kaip hiperbolės, kurios židiniuose A ir B yra antžeminiai radijo siųstuvai. Atstumas D tarp stočių vadinamas baze. Orlaivio vietos V taške stočių atžvilgiu nustatomas vienodas atstumų skirtumas $D_A - D_B$ (9 pav.).



9 pav. Padėties linijos matuojant atstumų skirtumus

Laikas taip pat yra navigacijos parametras. Dažniausiai naudojamas tarptautinis laikas UTC. Orlaivių išskridimas ar atskridimas gali būti nurodytas vietiniu laiku. Skrendant svarbus ir kelio laikas, skirtas nusukti nuo vieno kelio taško į kitą.

1.5. Pilnutinio ir statinio slėgių sistemų prietaisai

Statinio ir pilnutinio slėgių sistemos

Skrisdami lakūnai turi žinoti, koks orlaivio aukštis, greitis, kokia skrydžio kryptis, kaip greitai jis kyla ar leidžiasi, kiek jis nukrypęs nuo pasirinktojo skrydžio aukščio. Orlaiviui skrendant, aplink nieko nėra, tik jį supantis oras. Daug prietaisų iš jo gauna reikiamą informaciją. Praktiškai naudojami tik trys orlaivį supančio oro duomenys – oro slėgis, jo temperatūra ir oro pasipriešinimo dydis, orlaiviui skrendant. Lauko oro paėmimo ir tiekimo prietaisams sistemos vadinamos statinio ir pilnutinio slėgių sistemomis.

Kiekvieną kūną slegia jį supantis oras. Oro slėgio dydį lemia atmosferos savybės. Jos kinta dėsningai, atsižvelgiant į aukštį, nors yra ne visai vienodos ir skirtingose Žemės vietose arba toje pat vietoje, tik kitu metu. Prie Žemės paviršiaus yra daugiau oro ir jo tankis – didesnis, todėl kuo kūnas yra aukščiau nuo Žemės, tuo oras yra retesnis ir slegia kūną mažiau. Kintant temperatūrai, kinta oro tankis, todėl oro slėgis priklauso ir nuo temperatūros. Prie Žemės paviršiaus, padidėjus aukščiui vienu kilometru, slėgis sumažėja daugiau negu pasikeitus aukščiui pavyzdžiui, nuo 9 iki 10 kilometrų. Aviacijoje oro slėgis matuojamas gyvsidabrio stulpelio milimetrais, hektopaskaliais arba milibara, JAV – gyvsidabrio stulpelio coliais.

Kūną supančio oro slėgis vadinamas statiniu slėgiu PS. Nors Žemėje yra vietų, kurių paviršius yra

žemiau jūros lygio (pavyzdžiui, Kaspijos jūros pakrantė), susitarta, kad nulinis aukštis yra jūros lygis ir kad šiame lygyje statinis slėgis yra didžiausias. Maždaug 5,5 km aukštyje šis slėgis sumažėja perpus. Kadangi oro tankis šiek tiek priklauso nuo jo temperatūros, tame pačiame aukštyje skirtingoje oro temperatūroje bus skirtingas ir statinis slėgis. Išmatuoti orlaivio aukštį galima vien tik žinant jį supančio oro slėgį (statinį slėgį). Skrendant maršrutu nėra labai svarbu tiksliai žinoti absoliutųjį skrydžio aukštį. Svarbiau neleisti orlaiviams pavojingai suartėti besikertant maršrutams, todėl, matuojant aukštį, paklaida dėl išorės oro temperatūros paprastai nekompensuojama, nes paklaida bus vienoda visiems orlaiviams, esantiems tame pačiame aukštyje ir toje pačioje vietoje.

Tyrimais nustatyta, kad, didėjant aukščiui, statinis slėgis kinta (mažėja) dėsningai. Oras nuolat juda, jo temperatūra ir tankis priklauso nuo paros ir metų laiko, nuo geografinės platumos, aukščio nuo Žemės paviršiaus ir kitų veiksnių. Siekiant palengvinti aukščio matavimus, sumažinti konstrukcijos skirtumus tarp įvairių rūšių aukščiamatų, pagerinti orlaivių valdymą ir navigaciją, pasaulyje naudojama standartinė atmosfera ISA (angl. International Standard Atmosphere), kuri rodo oro slėgio priklausomybę nuo aukščio. Susitarta, kad jūros lygyje standartinės atmosferos temperatūra $T_0 = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($288,15\text{ }^{\circ}\text{K}$), oro slėgis $P_0 = 101\,325\text{ Pa}$ arba $1\,013,25$ hektopaskalių (760 mm Hg , arba $29,92$ colių Hg, arba $1\,013,25$ milibarų), o oro tankis $\rho = 1,225\text{ kg/m}^3$. Vidutinis oro temperatūros mažėjimas kylant aukštyn iki $11\,000\text{ m}$ standartinėje atmosferoje įvertinamas temperatūriniu aukščio gradientu $\tau = 0,0065\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ (arba $6,5\text{ }^{\circ}\text{C/km}$), kuris rodo, kiek pakinta oro temperatūra pasikeitus aukščiui vienu metru (arba vienu kilometru). Pasikeitus aukščiui $1\,000$ pėdų, oro temperatūra pasikeičia $1,98\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nuo 11 km iki 33 km oro temperatūra yra $217\text{ }^{\circ}\text{K}$. Kylant aukštyn, oro slėgis sumažėja 1 hPa (1 mb) kas 10 m (kas 30 pėdų). Jei faktinė oro temperatūra už borto nelygi standartinei, oro tankis bus kitoks, dėl to atsiranda metodinės aukščio ir greičio matavimo paklaidos.

Skrendant oro balionu, išmatuoti statinį slėgį yra labai paprasta. Kituose orlaiviuose kyla sunkumų dėl to, kad apie juos visada atsiranda oro sūkurių, kurie sukelia paklaidą matuojant statinį slėgį. Tas labai priklauso nuo orlaivio dydžio, jo formos, skrydžio greičio ir kitų veiksnių. Tokiuose orlaiviuose jį supantis statinis oro slėgis paimamas skylučių formos statinio slėgio imtuvais. Skylutės būtinai turi būti ten, kur yra mažiausi oro sūkurių. Jos neturi būti net truputį nukreiptos prieš oro srautą, nes tada į jas gali patekti papildomai oro dėl oro pasipriešinimo. Iš skylutės slėgis žarnelė patenka į orlaivio pilnutinio/statinio slėgių sistemos prietaisus: prietaisinio greičio matuoklius ASI (angl. Air speed indicator), vertikalaus greičio matuoklius VSI (angl. Vertical speed indicator), aukščiamatius ALT (angl. Altimeter) ir kitus.

Didesniuose orlaiviuose statinio slėgio imtuvai (skylutės) dažniausiai yra toliau nuo orlaivio priekio, lygioje sklandmens dalyje, simetriškai abiejuose orlaivio šonuose. Simetriškas išdėstymas sumažina paklaidas orlaiviui darant posūkius. Jam sukantis į išorinio šono imtuvą patenka šiek tiek daugiau oro ir slėgis jame būna šiek tiek didesnis. Vidinis orlaivio šonas yra tarsi oro srauto šešėlyje ir į jo imtuvą patenka mažesnio slėgio oras. Sujungus abiejų šonų skylutes tarpusavyje žarnelėmis, slėgio vidurkis bus vienesnis. Žarnelėmis slėgis tiekiamas į kabinos prietaisus ir kitus įrenginius, matuojančius aukščius ar greičius (10 pav.). Tokių prietaisų (statinio slėgio naudotojų) yra daug, todėl ir statinio slėgio imtuvų, t. y. skylučių orlaivio šonuose ir jas jungiančių žarnelių, yra taip pat daug. Jų visuma vadinama orlaivio statinio slėgio sistema.

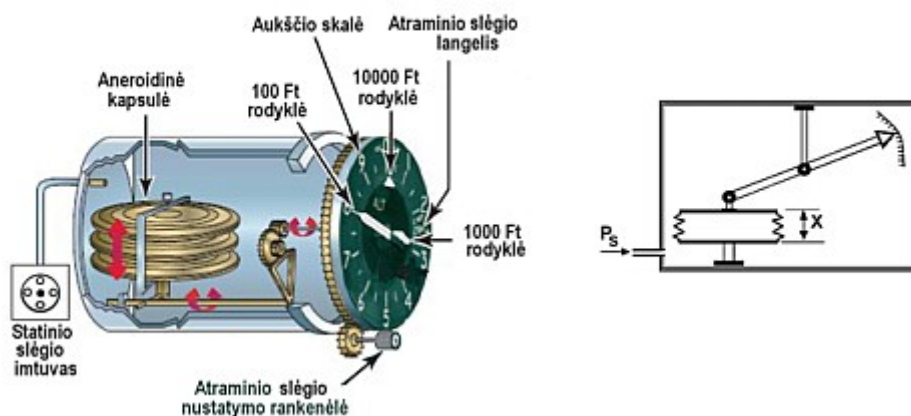
matuos nuo žemės paviršiaus, ant kurio stovi namas. Jis tada bus apie 15 m. Matuojančių knygos aukštį nuo jūros lygio tikriausiai neatsiras. Dabar jau skaitytojui aišku, kad knygos, lėktuvo ar kito daikto aukštis priklauso nuo pasirinkto atraminio lygio – stalviršio, grindų, žemės paviršiaus ar kt. Kitaip negu automobilis, orlaivis juda trimatėje erdvėje. Aukščiamatis yra pagrindinis vertikaliosios navigacijos prietaisas, nuo jo veikimo priklauso skrydžio sauga. Orlaivio skrydžio aukštis pagal nusistovėjusią tradiciją matuojamas pėdomis (1 pėda lygi 0,305 metro).

Lengvuosiuose orlaiviuose yra tik barometriniai aukščiamatai. Didesnieji lėktuvai ir sraigtasparniai turi ir barometrinius, ir radijo aukščiamatus, o taip pat – palydovines ir inercines navigacijos sistemas, kurios taip pat gali matuoti aukštį.

Barometriniai aukščiamatai

Barometriniai aukščiamatai (11 pav.) matuoja skrydžio aukščius nuo pasirinkto (atraminio) slėgio lygio, jį nustato lakūnai. Į šiuos aukščiamatus tiekiamas tik statinis orlaivį supančio oro slėgis. Barometriniai aukščiamatai matuoja orlaivio skrydžio aukštį nuo -1 000 iki +50 000 pėdų (nuo -300 m iki 15 km ar net daugiau). Jie yra vieni seniausių aviacijos prietaisų, nėra dideli, todėl juos galima įtaisyti lakūnų kabinos prietaisų lentoje. Ilgoji prietaiso rodyklė skalėje rodo aukštį šimtais pėdų, storesnioji rodyklė – tūkstančiais pėdų. Yra aukščiamatų, kur trečioji rodyklė ar indeksas rodo dešimtis tūkstančių pėdų. Aukštį gali rodyti ne rodyklės, o skaitmeninis būgnelis.

Kintant laikui ir orlaivio vietai erdvėje, kinta jį supančio oro statinis slėgis. Kuo slėgis mažesnis, tuo aukštis didesnis. Skirtingose vietose ant Žemės paviršiaus (arba toje pačioje vietoje, tik kitu metu) oro slėgis gali būti nevienodas, todėl barometrinis aukščiamatis turi ne tik aukščio, bet ir atraminio slėgio skalę (ar būgnelį).



11 pav. Barometrinis aukščiamatis ir jo schema

Prietaiso priekyje yra atraminio slėgio nustatymo rankenėlė. Ją sukdamas, lakūnas atraminio slėgio skalėje ar būgnelyje nustato atraminį slėgio lygį, kurio atžvilgiu bus matuojamas aukštis (12 pav.). Kai į prietaisą patenka toks statinis slėgis, koks jame nustatytas atraminis slėgis, tada aukščiamatis rodo nulį aukštį. Pakilus aukščiau, barometrinis aukščiamatis rodo aukštį, kuris nesikeičia orlaiviui skrendant virš žemės paviršiaus nelygumų. Prieš skrydį ir skrendant lakūnai gali keisti vieną atraminį slėgio lygį kitu. Tai daroma todėl, kad visi orlaiviai naudotų vienodą skrydžio aukščio atskaitos lygį atitinkamuose skrydžio etapuose. To reikia pirmiausia ne todėl, kad visi orlaiviai skraidytų vienodame aukštyje, o todėl, kad tarp skirtinguose aukščiuose skrendančių orlaivių būtų išlaikytas saugus vertikalus atstumo tarp jų intervalas. Nustatytos griežtos aukščiamatų atraminio slėgio nustatymo taisyklės. Skrydžio vadovai praneša lakūnams, kokį atraminį slėgį reikia nustatyti atsižvelgiant į konkrečią skrydžio atkarpą.



12 pav. Atraminio slėgio skalė, pažymėta gyvsidabrio stulpelio coliais

Klasikinis barometrinis aukščiamatis savo konstrukcija beveik nesiskiria nuo kambarinio barometro. Statinis slėgis P_S , atitinkantis orlaivio aukštį, iš imtuvo žarnele patenka į hermetišką aukščiamatžio korpusą ir deformuoja jame esančią aneroidinę kapsulę (11 pav.). Iš kapsulės išsiurbtas beveik visas oras, todėl ant žemės oras ją labai suspaudžia. Kylant aukšty n statinis slėgis mažėja, kapsulė plečiasi ir per alkūnines pavaras, dantračius ir svirteles perduoda judesį pagrindinei prietaiso ašiai, kuri suka rodykles. Kapsulės skersmuo yra apie 5 centimetrai. Jos judančiojo centro poslinkis X yra vos pusė centimetro, todėl sunku pagaminti prietaisą, rodantį aukštį dešimties pėdų tikslumu. Naudojant dvi ar tris nuosekliai sujungtas kapsules, poslinkis X yra didesnis ir toks prietaisas – tikslesnis. Tiesinė priklausomybė tarp rodyklių posūkio kampo ir matuojamo aukščio gaunama naudojant kapsules su logaritmine slėgio charakteristika, kuri gaunama atitinkamai profiliuojant kapsulės sienelės.

Aukščiamatiai (barometriniai ir radijo) orlaivyje gali rodyti skirtingus aukščius. Tai priklauso nuo paviršiaus lygio, kurio atžvilgiu tas aukštis matuojamas. Prietaisai matuoja šiuos aukščius:

1. Absoliutųjį aukštį H_A arba aukštį nuo žemės paviršiaus (lauko, kalvos, daubos) iki orlaivio. Jei orlaivis skrenda virš kalvotos vietos, atitinkamai kinta ir H_A . Tiksliausiai šį aukštį matuoja radijo aukščiamatiai. Lakūnai dažnai absoliutųjį aukštį naudoja platesne prasme, kai jį matuoja barometriniu aukščiamatčiu nuo kokio nors pasirinkto atraminio lygio, pavyzdžiui, nuo kilimo ir tūpimo tako (KTT) paviršiaus. Pavyzdžiui, Kauno tarptautinio aerodromo aukštis nuo jūros lygio yra 256 pėdos, o Vilniaus aerodromo – 646 pėdos (197 m). Nustačius aukščiamatyje atraminį KTT paviršiaus slėgį, kuris tuo metu yra, aukščiamatis rodytų nulį.

2. Tikrąjį aukštį H_T . Laikant Žemę elipsoidu, šiuo metu nustatyti atstumai nuo jo centro iki bet kurios jo paviršiaus vietos. Mažiausias atstumas yra iki jūros lygio. Jei Žemės paviršiuje būtų tik vanduo, Žemės forma būtų minėtas elipsoidas. Sausuma iškyla virš vandens. Geodeziniais matavimais labai tiksliai nustatyti atstumai nuo jūros lygio iki bet kurios sausumos paviršiaus vietos. Tikrasis aukštis H_T yra atstumas nuo jūros lygio iki kokio nors paviršiaus, taip pat ir iki orlaivio. Oro uostų KTT ir kitų paviršių ar oro keliuose esančių kliūčių aukščiai žemėlapiuose nurodyti tikraisiais aukščiais. Kadangi po sausumos paviršiumi jūros nėra, jos lygis dažnai vadinamas tariamuoju arba vidutiniu jūros lygiu MSL (angl. Mean Sea Level). Meteorologai praneša skrydžio valdytojams, o jie – lakūnams, koks tuo metu toje vietoje yra oro slėgis jūros lygyje, nes jis priklauso nuo oro sąlygų ir per kelias valandas gali šiek tiek pasikeisti. Nustačius šį

atraminį slėgį skrendančio ar stovinčio lėktuvo aukščiamatyje, jis rodys aukštį nuo jūros lygio. Pavyzdžiui, stovint orlaiviui prie pat jūros kranto aukščiamatis rodys nulinį aukštį, o stovint Kauno KTT take rodys 256 pėdas. Atėmus iš tikrojo aukščio (kurį rodo aukščiamatis) aerodromo KTT aukštį, sužinosime, koks yra absoliutusias skrydžio aukštis aerodromo atžvilgiu. Matuojant tikrąjį skrydžio aukštį tupiant, orlaivis palies taką, kai aukščiamatis rodys tako aukštį nuo jūros lygio. Tupiant Kaune tai bus 256 pėdos, o Vilniuje – 646 pėdos.

3. Standartinį aukštį H_S arba aukštį pagal standartinės atmosferos slėgį (angl. Pressure Altitude).

Standartinis aukštis H_S matuojamas nuo lygio, kuriame $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje yra 1013,25

hektopaskalių (760 mm Hg ar 29,92 colių Hg) oro slėgis. Oro slėgis ir temperatūra faktiniame jūros lygyje kinta ir nebūna visada lygūs standartiniam slėgiui, todėl nulinis standartinis lygis gali būti ir žemiau, ir aukščiau faktinio jūros lygio. Praktiškai labai retai būna, kad, esant 1013,25

hektopaskalių oro slėgiui, būtų standartinė $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūra, todėl kuo daugiau oro temperatūra skiriasi nuo standartinės, tuo daugiau kinta oro tankis ir didėja standartinio aukščio matavimo paklaidos.

Kylant, ties pereinamuoju aukščiu (Lietuvoje jis lygus 1500 m arba 5000 pėdų) lakūnai tikrąjį ar absoliutųjį atraminį barometrinio aukščiamatės lygį keičia į standartinį ir orlaiviams nurodoma, kuriame skrydžio lygyje reikia skristi. Žemėjant ir kertant viršutinę pereinamojo skrydžio lygio ribą vėl nustatomas tikrasis ar absoliutusias atraminis lygis. Pereinamasis skrydžio lygis yra žemiausias įmanomas skrydžio lygis virš pereinamojo aukščio.

Nustačius atraminį standartinį slėgį, lakūnui nebereikia kiekvieną kartą suderinti atraminio slėgio, skrendant iš/į skirtingų oro sąlygų zonas. Skrydžio aukštis tada nebepriklauso nuo konkretaus oro slėgio ir temperatūros aerodrome. Tačiau visiems orlaiviams atraminis slėgio lygis bus vienodas ir jiems skrendant nevienoduose aukščiuose (užimant nurodytą skrydžio lygį FL) galima išlaikyti saugų vertikalų atstumą tarp jų.

Standartinį aukštį nuo atraminio standartinio lygio barometrinis aukščiamatis gali matuoti visada, nes jis šiam aukščiui suderintas dar gamykloje. Lakūnui reikia tik sukalibruoti aukščiamatį, nustatant skalėje ar būgnelyje standartinį atraminį 1013,2 hPa (760 mm Hg ar 29,92 colių Hg) slėgį. Klausti skrydžio vadovo, koks yra toje vietoje oro slėgis, nebereikia.

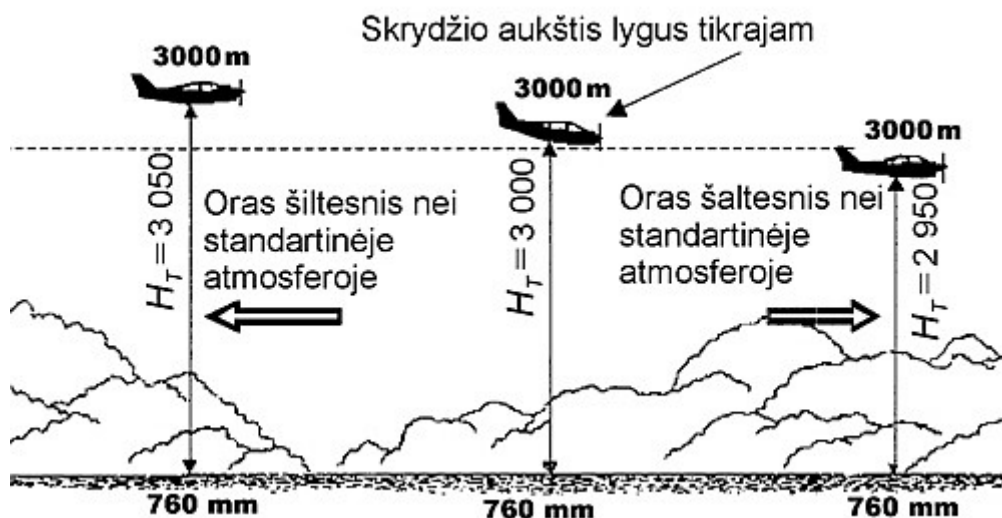
Sutapatinus visas rodykles su nuline padala, aukščiamatis slėgio skalėje rodys vietos oro slėgį.

4. Aukštį pagal oro tankį (angl. Density Altitude). Gaminant barometrinius aukščiamatės sudėtinga juose įtaisyti temperatūros korekcijos mechanizmą, todėl aukštis matuojamas neatsižvelgiant į temperatūrą, t. y. aukštis tiksliausiai rodomas, tik kai oro sąlygos yra standartinės. Kuo daugiau oro sąlygos skiriasi nuo standartinių, tuo didesnės aukščiamatės paklaidos. Skrendant virš pereinamojo aukščio, į jas galima neatsižvelgti, nes kintant oro sąlygoms visi skrydžio lygiai proporcingai pasislenka žemyn ar aukštyje ir vertikalusis atstumas tarp gretimuose skrydžio lygiuose skrendančių orlaivių beveik nesikeičia.

Ant žemės ar skrendant žemai, oro sąlygas reikia įvertinti. Šilto oro tankis mažesnis, oras tarsi išsipučia ir toks pat slėgis yra aukščiau nuo žemės. Žemėjant oro temperatūrai oras tarsi susislegia. Oro tankis yra tiesiai proporcingas slėgiui ir atvirkščiai proporcingas temperatūrai. Tačiau tas ar kitas oro tankis bus tik esant konkrečiai oro slėgio ir temperatūros kombinacijai. Tai reiškia, kad orlaivio aerodinaminės charakteristikos ir jo variklio režimas iš esmės priklauso ne nuo jo faktinio aukščio nuo jūros lygio metrais ar pėdomis, bet nuo to, koks yra oro tankis tame aukštyje, t. y. nuo aukščio pagal tankį (Density Altitude). Aukštis pagal tankį yra aukštis pagal slėgį su korekcija dėl nestandartinės temperatūros. Aukštis pagal tankį sužinomas iš sudarytų lentelių ar apskaičiuojamas pagal formules.

Kairysis orlaivis (13 pav.) skrenda šiltame ore, todėl jo aukščiamatis rodo mažesnę skrydžio aukštį negu iš tikrųjų yra. Faktinis šio orlaivio aukštis (atstumas nuo žemės) tada yra didesnis, negu rodo aukščiamatis. Kai skrendama standartinės temperatūros ore, pakilus, pavyzdžiui, iki 3000 m, lygiai tokį pat 3000 m aukštį rodys viduriniojo orlaivio aukščiamatis. Dešinysis orlaivis skrenda šaltesniame už standartinį ore, todėl jo metodinė paklaida turi priešingą ženklą. Šaltesnis oras yra

tankesnis ir labiau susispaudęs. Pasikeitus faktiniam aukščiui nuo 0 iki 3 000 m, slėgio pasikeitimas šaltame ore bus didesnis ir orlaivio aukščiamatis rodys didesnę aukštį. Skrendant žemai, pavojingiausias yra atvejis, kai oro temperatūra yra labai žema. Faktinis orlaivio aukštis tada yra žemesnis negu rodo aukščiamatis ir padidėja pavojus susidurti su aukštomis antžeminėmis kliūtimis.



13 pav. Aukščiamatinių temperatūrinės metodinės paklaidos

Oro tankį reikia įvertinti kylant ar tupiant. Tame pačiame KTT dėl oro tankio pokyčio keičiasi orlaivių variklių trauka, sparno ar menčių keliamaoji jėga ir kiti aerodinaminiai parametrai, pavyzdžiui, esant labai aukštai temperatūrai, lėktuvo riedėjimo kelias kylant labai pailgėja.

Paprasčiausieji aukščiamatai rodo tik skrydžio aukštį rodyklėmis, matavimų tikslumas apie ± 10 m arti žemės ir apie ± 30 m dideliuose aukščiuose. Didesniuose orlaiviuose aukščiamatai rodo ne tik skrydžio aukštį, bet matavimo rezultatus keičia elektriniu signalu ir siunčia jį automatinėms orlaivių valdymo sistemoms, radijo atsakikliams, variklio traukos valdymo įrenginiams, skrydžio duomenų registratoriams ir kitoms sistemoms. Tokių aukščiamatinių pagrindinė prietaiso ašis per dantratinės poras suka bekontakčio sinusinio–kosinusinio transformatoriaus rotorius. Jo apvijos gaunamas aukščio signalas. Kituose aukščiamatuose kapsulių deformacija suka rodykles ir stumia potenciometro šliaužiklį. Tada kitos sistemos matuoja aukštį atitinkančią varžą.

Radijo aukščiamatus, matuojančius absoliutųjį aukštį nuo žemės paviršiaus po orlaiviu, turi tik didesnieji lėktuvai ir dauguma sraigasparsių. Kylant ir tupiant lakūnai naudoja ir barometrinius, ir radijo aukščiamatus. Radijo aukščiamatis yra tikslesnis (paklaida arti žemės paviršiaus yra maždaug $\pm 0,5$ m ar net mažesnė).

Keleivinių orlaivių radijo aukščiamatai matuoja nedidelius – iki 800 m atstumus nuo žemės paviršiaus. Didesniuose orlaiviuose gali būti keli radijo aukščiamatai. Jie yra vieni pagrindinių prietaisų, siunčiančių signalus orlaivio skrydžio valdymo sistemai FMS, žemės artumo įspėjimo sistemai GPWS, perkrovų matavimo ir kitoms sistemoms. Kariniuose orlaiviuose naudojami impulsiniai radijo aukščiamatai, kurie gali matuoti didelius aukščius.

Skrydžio greičio matavimas

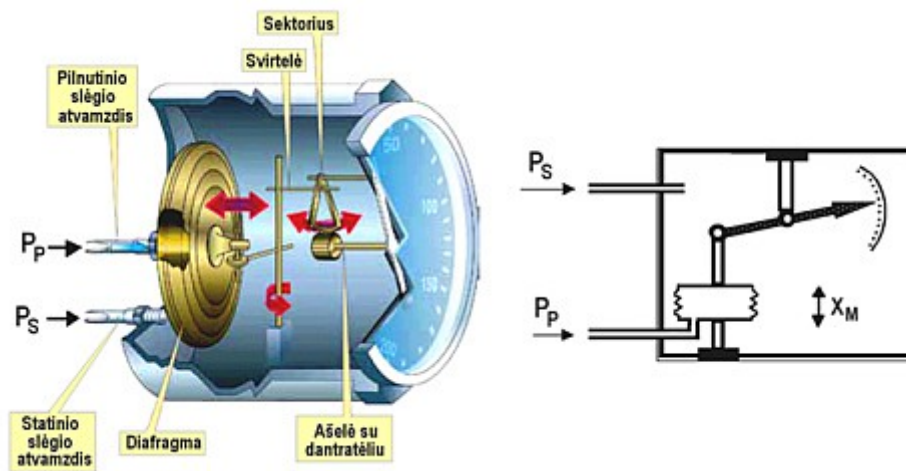
Šie prietaisai matuoja orlaivio greitį jį supančio oro atžvilgiu arba žemės atžvilgiu. Pagal veikimo principą juos galima suskirstyti į manometrinius, radiotechninius ir inercinius.

Manometriniai prietaisai naudoja duomenis apie oro slėgį ir oro pasipriešinimo orlaiviui dydį, kuris yra proporcingas pilnutinio ir statinio slėgių skirtumui. Kadangi oro pasipriešinimas priklauso nuo oro tankio, orlaiviui skrendant žemai, pasipriešinimas yra didelis, o skrendant aukštai ir tuo pačiu greičiu žemės atžvilgiu, pasipriešinimas – daug mažesnis. Dėl to yra keletas greičių matavimo būdų, naudojant pilnutinį ir statinį slėgius, išorės oro temperatūrą ir duomenis apie oro spūdimą, atsižvelgiant į orlaivio greitį. Matavimų tikslumas didinamas įvertinant paklaidas dėl netobulo pilnutinio ir statinio slėgių imtuvų išdėstymo orlaivio paviršiuje. Manometrinio būdu matuojami šie

greičiai – prietaisinis IAS (angl. Indicated Air Speed), kalibruotasis CAS (angl. Calibrated air speed), ekvivalentinis EAS (angl. Equivalent air speed), tikrasis TAS (angl. True Air Speed), Macho M (angl. Mach Speed) ir vertikalusis VS (angl. Vertical Speed).

Prietaisinis greitis IAS, dažnai vadinamas indikatoriniu, yra proporcingas oro srauto pasipriešinimui. Nuo jo priklauso aerodinaminių jėgų, veikiančių orlaivį, dydis, todėl nuo jo priklauso orlaivio valdymas. Jį žinant, galima spręsti apie sparno keliamosios jėgos dydį ir orlaivį veikiančias perkrovas. Prietaisinį greitį lakūnai turi tiksliai nustatyti visuose skrydžio etapuose, nuo pakilimo iki nutūpimo.

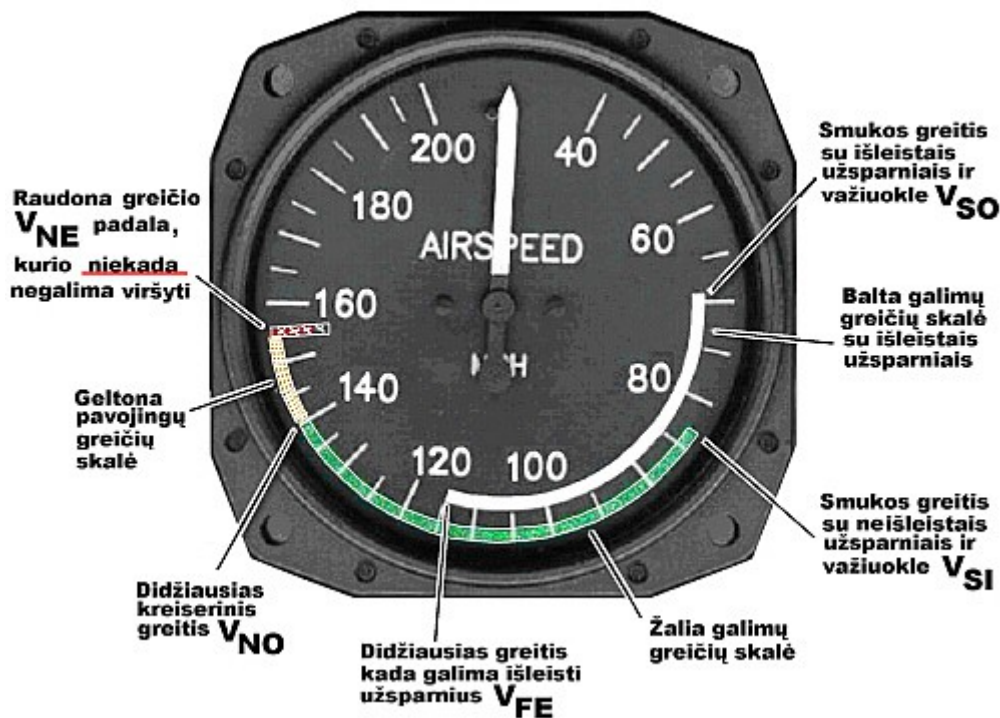
Prietaisinį greitį matuoja ASI (angl. Air speed indicator). Šis prietaisas yra visuose orlaiviuose. Prietaisinio greičio matuoklio korpusas – hermetiškas, į jo vidų tiekiamas statinis slėgis P_S (14 pav.). Korpuso viduje yra diafragma (manometrinė kapsulė), į ją tiekiamas pilnutinis slėgis P_P . Kai orlaivis nejuda, šie abu slėgiai yra lygūs ir diafragma būna pradinėje padėtyje. Kuo greičiau orlaivis skrenda, tuo didesnis pilnutinis slėgis patenka į diafragmą, tuo daugiau ji išsiplečia. Plėsdamasi diafragma suka prietaiso rodyklę. Kintant skrydžio aukščiui ir greičiui, kinta pilnutinis ir statinis slėgiai, bet jų skirtumas (dinaminis slėgis) visada lygus oro pasipriešinimui, kurį patiria orlaivis.



14 pav. Prietaisinio greičio matuoklio schema

Diafragma kartu su rodykle gali sukurti sinusinio–kosinusinio transformatoriaus rotorių ar potenciometro šliaužiklį. Elektrinis prietaisinio greičio signalas siunčiamas automatinio trajektorijos valdymo ir kitoms sistemoms. Kai oro temperatūra ir slėgis atitinka standartinius, prietaisinis greitis prie pat žemės yra apytikriai lygus orlaivio greičiui žemės atžvilgiu. Skrendant tuo pačiu greičiu aukštai, oro pasipriešinimas ir IAS sumažėja. Prie žemės, kur oro tankis didelis, net truputį pasukus valdymo plokštumą, orlaivis į tai reaguoja ir keičia padėtį. Aukštai valdymo plokštumas reikia daug daugiau palenkti, kad orlaivis darytų norimą manevrą, arba orlaivio prietaisinis greitis turi būti daug didesnis.

Praradus prietaisinį greitį, orlaivis praranda valdumą, gali prasidėti smuka. Esant dideliems greičiams, dėl oro pasipriešinimo atsiranda perkrovų. Prietaisinio greičio rodyklėje ASI gali būti spalvotos skalės, kurios rodo leistiną ir pavojingai didelių greičių ribas (15 pav.).



15 pav. Prietaisinio greičio rodyklis ASI

ASI prietaisinį greitį iki 200 mazgų matuoja $\pm 2-8$ proc. tikslumu. Matuojant didesnius greičius, tikslumas yra $\pm 1-4$ procentų.

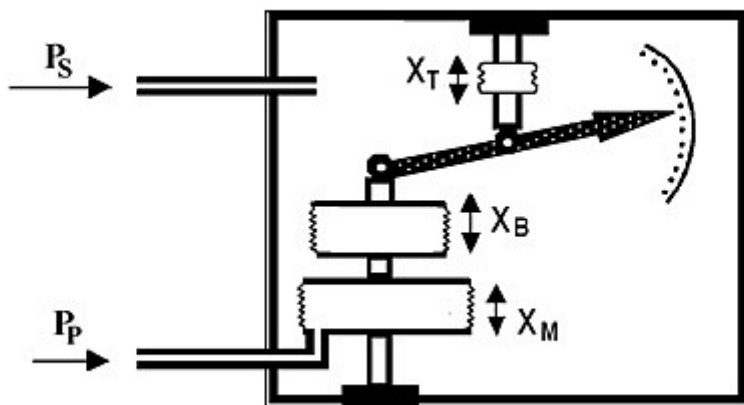
Kalibruotasis greitis CAS matuojamas taip pat, kaip prietaisinis, papildomai įvertinant konkretaus orlaivio statinio slėgio matavimo paklaidas, kurios priklauso nuo statinio slėgio imtuvų vietos orlaivio paviršiuje ir oro srauto aptekėjimo savybių toje vietoje (pvz., atakos kampo). Paklaidos yra didesnės, esant mažiems greičiams (kylant ar tupiant) ar esant dideliems atakos kampams. Kai šių paklaidų nėra, prietaisinio ir kalibruotojo greičių reikšmės būna vienodos. CAS naudojamas vietoje IAS, nes nuo jo skiriasi labai mažai (keliais mazgais). Skraidant didesniais kaip 200 mazgų greičiais, įvertinamas oro spūdimas (suspaudžiamumas) ir matuojamas ekvivalentinis greitis EAS. Dėl oro spūdimu slėgis Pito vamzdyje padidėja, todėl rodomas padidintas CAS (ar IAS). Kuo didesnis kalibruotasis greitis ir skrydžio aukštis, tuo didesnis skirtumas tarp CAS ir EAS.

Tikrasis greitis TAS yra orlaivio greitis jį supančio oro atžvilgiu. Formulėse TAS dažnai žymimas raide V. Jei nėra vėjo, jis gana tiksliai sutampa su orlaivio greičiu žemės atžvilgiu (kelio greičiu). Skrendančio oro baliono tikrasis greitis visada lygus nuliui, nes jis neturi jėgainės ir žemės atžvilgiu juda tokiu pačiu greičiu ir ta pačia kryptimi, kaip ir balioną supantis oras. Žinant tikrąjį skrydžio greitį, galima skaičiuoti nuskristą kelią. Senesniuose orlaiviuose tai buvo vienintelis būdas sužinoti nuskristą kelią, žinant skrydžio laiką. Matuojant tikrąjį greitį, įvertinamas ne tik oro pasipriešinimas, bet ir jo tankis, ir temperatūra.

Pirmiausia tikrojo greičio matuokliuose kompensuojamas oro pasipriešinimo mažėjimas didėjant aukščiui. Išmatuotas prietaisinis greitis tikslinamas darant aukščio korekciją. Bet to dar neužtenka, nes tikrojo greičio reikšmė turi būti kuo tikslesnė. Dar reikia daryti korekcijas dėl oro temperatūros pasikeitimo, dėl oro spūdimu efekto atsiradimo, didėjant orlaivio greičiui, ir dėl pilnutinio ir statinio slėgių matavimo paklaidų padidėjimo, atsiradus oro sūkuriams imtuvų tvirtinimo vietose orlaivio paviršiuje. Tikrąjį greitį reikia matuoti kuo tiksliau. Tada tiksliau galima skaičiuoti kelio greitį GS (angl. Ground Speed) ir nuskristą kelią žemės paviršiuje. Skirtumas tarp tikrojo ir kelio greičių yra didesnis orlaiviui skrendant prieš vėją ar pavėjui.

Šiuolaikiniuose orlaiviuose tikrojo greičio matuokliai yra pagalbiniai, nes tiksliau matuoti kelio greitį galima radiotechninėmis ir inercinės navigacijos priemonėmis. Tikrojo greičio matuoklio viduje yra manometrinė diafragma ir barometrinė kapsulė (16 pav.). Į hermetišką korpuso vidų žarnele patenka statinis slėgis P_S . Kita žarnele į diafragmą patenka pilnutinis slėgis P_P . Tikrojo greičio matuoklio rodyklę suka diafragma kartu su kapsule. Didėjant aukščiui, manometrinė

diafragma plečiasi mažiau (X_M mažėja), nes mažėja oro pasipriešinimas. Barometrinė kapsulė plečiasi, nes ją spaudžiantis statinis slėgis mažėja (X_B didėja), todėl rodyklės posūkis atitinka ne prietaisinį, o tikrąjį greitį, t. y. diafragmos ir kapsulės judesių sumą.



16 pav. Tikrojo greičio matuoklio schema

Paprastesniuose mechaniniuose TAS matuokliuose įvertintas tik statinio slėgio (aukščio) kitimas, nes lauko temperatūros signalą X_T mechaniniu būdu į kabiną, kur yra prietaisas, siųsti sunku.

Standartinės oro temperatūros priklausomybė nuo aukščio yra žinoma, todėl paklaidas dėl temperatūros galima mažinti gaminant barometrinę kapsulę. TAS matuoklių tikslumas yra maždaug ± 8 mazgai skraidant mažesniuose aukščiuose ir apie ± 5 proc. skraidant dideliuose aukščiuose.

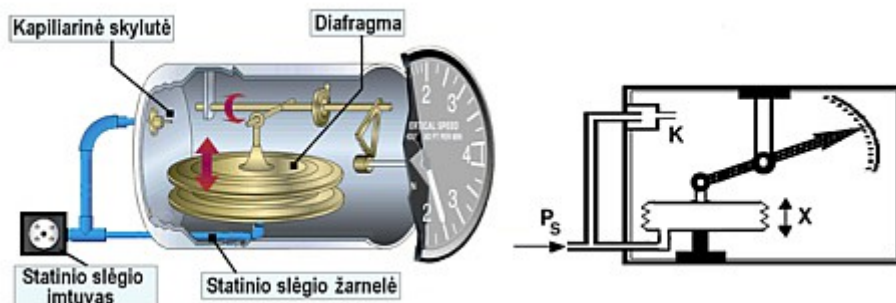
Tikslesni elektriniai tikrojo greičio matuokliai yra su lauko oro temperatūros kompensacija. Diafragma ir kapsulė suka ne rodyklę, o potenciometro šliaužiklį. Tikrąjį greitį atitinka potenciometro šliaužiklio įtampa arba varža tarp šliaužiklio ir potenciometro galo. Į potenciometro grandinę paprasta tiekti elektrinį signalą iš lauko termometro ir patikslinti matavimus.

Orlaiviui judant, oras jam priešinasi ir dėl trinties įkaista. Lauko oro temperatūros matuoklis taip pat įkaista, todėl išmatuota oro temperatūra TAT (angl. Total air temperature) yra aukštesnė už faktinę statinę oro temperatūrą SAT (angl. Static air temperature). Temperatūros padidėjimą dėl oro trinties reikia kompensuoti ar apskaičiuoti, nes kitaip TAS ar kiti matavimai bus netikslūs. Kompensavimo dydis nustatomas gaminant temperatūros matuoklį.

Standartinės atmosferos nuliniam aukštyje tikrojo ir kalibruotojo greičių reikšmės yra vienodos: kai $H_{ST} = 0$, tada $CAS = TAS$. Kadangi CAS nuo IAS mažai skiriasi, literatūroje plačiau naudojamas terminas IAS ir nurodoma, kad $IAS = TAS$, kai $H_{ST} = 0$. Mažesniuose orlaiviuose gali būti tik vienas prietaisinio greičio IAS matuoklis. Orlaiviui valdyti reikalingas IAS, navigacijai – TAS. Naudojant IAS negalima tiksliai nustatyti nuonašos kompensavimo kampo, kelio greičio skaičiavimo paklaida gali būti labai didelė ir apskaičiuotasis atvykimo laikas ETA (angl. Estimated time of arrival) bus labai netikslus. Tačiau, net naudojant TAS, navigaciniai skaičiavimai nėra pakankamai tikslūs, todėl didesniuose orlaiviuose radiotechninėmis ar inercinėmis navigacijos sistemomis matuojamas kelio greitis GS (angl. Ground Speed).

Greitis IAS (CAS) yra proporcingas oro pasipriešinimui. Jį išmatavus galima spręsti apie keliamosios jėgos dydį ir orlaivio valdumą (kaip orlaivis reaguoja į aerodinaminių plokštumų judesius), bet negalima spręsti apie oro srauto aptekėjimo savybes. Skrendant 1 km ir 10 km aukščiuose ir esant vienodiems prietaisiniams greičiams, keliamosios ir pasipriešinimo jėgų santykiai bus nevienodi, nesutaps keliamosios jėgos centrai, bus nevienodi aerodinaminės plokštumas aptekančių oro srautų pasiskirstymai ir kt. Garso sklaidimo ore ir toje vietoje skrendančio orlaivio judėjimo savybės yra tokios pačios ir vienodai priklauso nuo oro erdvės toje vietoje parametrų, todėl dideliame aukštyje skrendančiame orlaivyje tikslinga vietoje IAS matuoti Macho greitį. Pagal Macho greitį galima pasirinkti ekonomiškiausią skrydžio režimą (automobilis naudoja

mažiausiai degalų, kai jo greitis yra apie 90 km/val.). Garso greitis ore priklauso nuo temperatūros, todėl skirtinguose aukščiuose garso greitis – nevienodas. Macho greitis M yra orlaivio tikrojo greičio santykis su garso greičiu ore G : $M = TASV / G$. Macho greičio matuoklio schema beveik tokia pati, kaip TAS matuoklio, tik nėra temperatūros kompensavimo, nes garso greičio G dydis priklauso nuo temperatūros. Orlaivio skrydžio aukščio pokytis (aukščio kitimo tempas) matuojamas barometriniais vertikalaus greičio matuokliais VSI (angl. Vertical speed indicator) arba inercinėmis sistemomis. VSI dažnai vadinamas variometru (17 pav.).



17 pav. Variometras ir jo schema

Stebint variometrą lengviau skristi horizontaliai arba keisti aukštį norimu greičiu. Variometro viduje yra manometrinė diafragma. Statinis slėgis į diafragmą žarnelė patenka tiesiogiai, o į prietaiso korpuso vidų – pro labai mažą kapiliarinę skylutę K . Skrendant vienodame aukštyje slėgiai diafragmoje ir korpuso viduje yra lygūs ir diafragma – pradinėje padėtyje. Kintant skrydžio aukščiui slėgis diafragmoje tuojau pradeda keistis, diafragma plečiasi ar susispaudžia ir suka rodyklę. Diafragma deformuojasi todėl, kad oras nespėja patekti į prietaiso vidų ir slėgis jame nespėja staigiai pasikeisti. Kuo greičiau kinta skrydžio aukštis (kuo didesnis vertikalusis greitis), tuo daugiau deformuojasi diafragma, nes susidaro didesnis slėgių skirtumas. Diafragmos deformacija yra proporcinga vertikaliam greičiui. Kai skrydžio aukštis nebesikeičia, slėgiai diafragmos viduje ir aplink ją susilygina ir prietaisas rodo nulinį vertikalųjį greitį. Variometrų trūkumas yra tai, kad, orlaiviui pradėjus skristi horizontaliai, jis vis dar rodo vertikalųjį greitį. Tai trunka, kol slėgiai prietaiso viduje ir diafragmoje susilygina. Netoli žemės tai trunka kelias dešimtąsias sekundės dalis ir keletą sekundžių – dideliuose aukščiuose.

Variometrai yra labai jautrūs, jie reaguoja net į nedidelius skrydžio aukščio pokyčius. Kai oras ramus, VSI daug greičiau parodo prasidėjusią aukščio nuokrypą (vertikalųjį greitį) negu aukščiamatiai, todėl vienodą skrydžio aukštį lengviau palaikyti stebint ne aukščiamatį, o variometrą, palaikant nulinį vertikalųjį greitį. Gaminami įvairaus jautrio variometrai, pavyzdžiui, 2 m/s ar 4 m/s.

Oro duomenų kompiuteriai

Pilnutinio ir statinio slėgių bei aplinkos oro temperatūros duomenų reikia daugeliui įrenginių – aukščiamatiams, greičių matuokliams, radijo atsakikliui, skrydžio lygio sistemai, variklio prietaisams, automatinio valdymo sistemai, suartėjimo su žeme įspėjimo sistemai, skrydžio duomenų registratoriams ir kt. Tiekiant į kiekvieną iš šių įrenginių slėgius atskiromis žarnelėmis, reikia daug statinio ir pilnutinio slėgių imtuvų, slėgių tiekimo sistemos tampa sudėtingos. Žarnelėse kondensuojasi drėgmė, todėl jas reikia kruopščiai prižiūrėti. Sumažinti žarnelių ilgį ir kiekį galima naudojant oro duomenų kompiuterį ADC (angl. Air Data Computer). Oro duomenų kompiuteris yra orlaivio techniniame skyriuje. Jo viduje įtaisyta barometrinė kapsulė ir manometrinė diafragma. ADC statinį ir pilnutinį slėgius, tiekiamus žarnelėmis iš slėgio imtuvų, ir oro temperatūros duomenis TAT iš temperatūros matuoklio keičia į analoginius ir skaitmeninius elektrinius aukščio ir greičių signalus. Šiuos signalus ADC laidais siunčia į kabinos prietaisus ir kitus orlaivio įrenginius. Klasikiniuose pilnutinio ir statinio slėgių sistemos prietaisuose naudojamos barometrinės kapsulės ir manometrinės diafragmos. Dabar žinoma kelios dešimtys fizikinių reiškinių, kurie tinka aukščiams ir greičiams matuoti, pavyzdžiui, oro slėgiai deformuoja pjezokristalus, keičia ričių induktyvumą ir kt.

1.6. Skrydžio kurso matavimas magnetiniais prietaisais

Orlaivio kursas yra kampas tarp kokios nors pasirinktos atraminės krypties horizonto plokštumoje ir orlaivio išilginės ašies projekcijos toje plokštumoje. Aviacijoje dažniausiai pasirenkamos trys atraminės kryptys, kurių atžvilgiu matuojamas kursas, – geografinio ar magnetinio dienovidinių šiaurinė kryptis ir ortodromės „šiaurinė“ kryptis. Tokie kursai atitinkamai vadinami tikruoju, magnetiniu ir ortodrominiu. Kai kuriais atvejais gali prireikti matuoti kursą nuo kitos atraminės krypties, tokie kursai vadinami sąlyginiais. Kai kursas matuojamas orlaivyje veikiančio giroskopo pagrindinės ašies atžvilgiu, jis vadinamas giroskopiniu.

Magnetiniam kursui jautrūs prietaisai orlaivyje yra magnetiniai kompasai ir indukciniai davikliai. Šie prietaisai iš visų krypčių pasirenka tik vieną – kryptį į Žemės magnetinį polių – ir magnetinis dienovidinis tada yra atraminė kryptis. Tikrojo dienovidinio kryptį orlaivyje nustato inercinės sistemos. Ortodrominį kursą matuoja kurso giroskopai ir radionavigacijos priemonės.

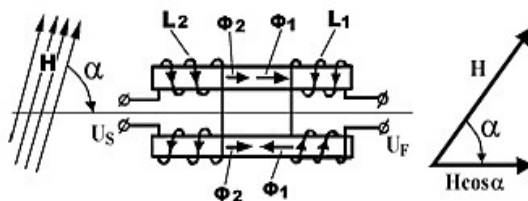
Orlaivių magnetiniuose kompasuose vietoje rodyklės ant adatėlės uždėta kurso skalė. Kad skalė mažiau virpėtų, ji yra skystyje. Tokie magnetiniai kompasai būna paprastos konstrukcijos, patikimi ir maži, tačiau turi rimtų trūkumų, dėl kurių jie negali tiksliai matuoti šiuolaikinių orlaivių kurso. Svarbiausieji iš jų yra šie:

- kompasas yra jautrus pašaliniais (ne Žemės) magnetiniams laukams;
- arčiau magnetinių polių Žemės magnetinio lauko horizontalioji dedamoji sumažėja, ji nebegali pasukti kompas skalės, todėl kompas didesnėse kaip 70° platumose naudoti nebegalima;
- kompas negalima naudoti kaip kurso signalo daviklio, nes iš jos neįmanoma nuotoliniu būdu perduoti elektrinio skalės padėties signalo;
- trintis su adatėle ir skystis trukdo skalei sukotis, sukantis orlaiviui skystis „velka“ skalę, o ant adatėlės pakabinta skalė virpa. Kompasas tinkamas naudoti tik tada, kai orlaivio padėtis nusistovėjusi;
- kompas paklaidos padidėja orlaiviui darant pokrypius, posvyrius ir polinkius, ypač kai yra didesnė pagreičiai ir kai kompas padėtis yra nehorizontali.

Dėl minėtų trūkumų ir mažo tikslumo magnetiniai kompasai didesniuose orlaiviuose naudojami kaip atsarginiai, kai sugenda kitos kurso matavimo priemonės.

Orlaiviuose magnetiniam kursui nustatyti naudojami tikslesni indukciniai davikliai. Indukciniai davikliai (angl. Flux valve), kaip ir paprastieji kompasai, yra Žemės magnetiniam laukui jautrūs prietaisai. Daviklio elektrinis signalas – nepastovus ir jo negalima tiesiogiai siųsti į kabinos rodyklę. Geriausia indukcinio daviklio signalu suderinti giroskopą, kurio signalas tada atitinka magnetinį kursą ir yra pastovus orlaiviui darant manevrus erdvėje.

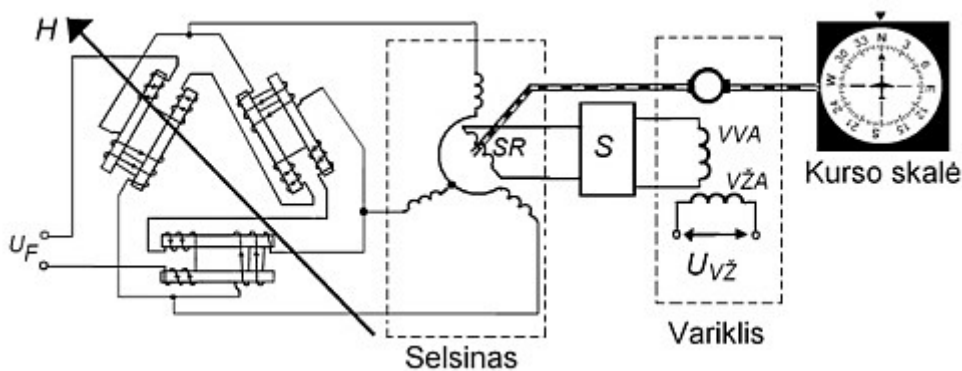
Paprasčiausią indukcinį daviklį sudaro dvi lygiagrečios šerdys iš „minkštos“ magnetinės medžiagos, pavyzdžiui, permalojus. Permalojus net silpname magnetiniame lauke įsimagnetina iki įsotinimo ir visiškai išsimagnetina pašalinus lauką. Ant vienos šerdies užvyniota viena ritės pusė, o ant antrosios šerdies – tiksliai tokia pat kita ritės pusė, tik priešinga kryptimi (18 pav.). Tokia ritė L_1 vadinama pirmine. Šerdys ir ritė pagamintos labai tiksliai.



18 pav. Indukcinio daviklio schema

Tiekiant į pirminę ritę kintamąją elektros srovę U_F , šerdys įsimagnetins, kai srovė bus didelė. Abi ritės pusės ant šerdžių užvyniotos priešinga kryptimi, todėl šerdys įsimagnetins priešingai. Abiejų šerdžių priešingos krypties magnetiniai laukai Φ_1 kompensuosis ir bendrasis abiejų šerdžių magnetinis laukas bus lygus nuliui. Jei tokį daviklį pasieks išorinis, pavyzdžiui, Žemės magnetinis laukas H , jis šerdyse sukels vienodos krypties magnetinius laukus Φ_2 . Laukai Φ_1 ir Φ_2 susisumuos, todėl vienos šerdies magnetinis laukas sustiprės, o kitos susilpnės. Bendrasis abiejų šerdžių magnetinis laukas bus nelygus nuliui. Bendrojo magnetinio lauko dydis tiksliai priklauso nuo šerdžių ir išorinio magnetinio lauko tarpusavio orientacijos α . Pasukus šerdis horizontaliojoje plokštumoje, bendrojo magnetinio lauko dydis yra proporcingas kampui tarp išorinio lauko linijų ir šerdžių ašių. Ant abiejų šerdžių su pirminėmis ritėmis užvyniojus bendrą kitą ritę L_2 , kuri vadinama signaline, joje atsiras srovė, proporcinga bendrajam magnetiniam laukui jos viduje. Orlaivyje, tiksliai suorientuotam į magnetinę šiaurę, toks daviklis įtaisomas nejudamai taip, kad bendrasis laukas būtų lygus nuliui. Pasukus orlaivį, signalinėje daviklio ritėje L_2 atsiras srovė, proporcinga pasukimo kampui, t. y. orlaivio kursui. Toks daviklis veikia kaip magnetinis kompasas. Jis yra tikslesnis už magnetinį kompasą, o jo srovę galima siųsti nuotoliniu būdu, tačiau jis turi visus kitus paprastojo magnetinio kompas trūkumus. Toks daviklis nereaguoja į pasukimo kryptį, nes $\cos(\pm\alpha) = \cos\alpha$.

Indukcinio daviklio savybės yra geresnės vietoje vienos poros šerdžių su ritėmis naudojant tris poras, išdėstytas trikampiui. Orlaiviuose indukciniai davikliai įtaisomi tokiose vietose, kur orlaivio konstrukcijos sukelti pašaliniai magnetiniai laukai mažiausiai iškraipo Žemės magnetinį lauką, pavyzdžiui, po sparnu ar netoli uodegos. Kad daviklis tiksliau veiktų ir jo šerdys išliktų horizontalios orlaiviui darant posvyrį ar polinkį, jis įtaisomas ant kardaninės platformos ir įdedamas į specialų skystį. Magnetiniai indukciniai davikliai, kaip savarankiški kurso nustatymo prietaisai, nenaudojami. Jie dažniausiai yra sudėtingesnių indukcinio kompasų (19 pav.) ar kurso sistemų davikliai.



19 pav. Indukcinis kompasas

Trikampiui išdėstytas indukcinio daviklio šerdis kerta Žemės magnetinis laukas H . Šerdžių ritės sujungtos su selsinu, todėl selsino apvijos tekanti srovė sukuria vidinį selsino magnetinį lauką, kurio orientacija yra tokia pati, kaip lauko H . Selsino viduje yra signalinė ritė SR , kurios srovė proporcinga šios ritės orientacijai vidiniame selsino lauke, t. y. lauke H . Stiprintuvas S stiprina šią srovę ir siunčia ją į elektros variklio valdymo apviją VVA . Variklis suka ant jo ašies uždėtą kurso skalę ir ritę SR , kol jos srovė sumažės iki nulio. Skalė pasisuka ir sustoja ties indeksu, rodančiu magnetinį kursą. Pasukus orlaivį, pasikeičia indukcinio daviklio orientacija H lauke, signalinėje ritėje SR vėl atsiranda srovė, variklis pasuka skalę iki kitos padėties ir rodomas kitas kursas.

Kai orlaivis manevruoja, indukcinio daviklio signalas kinta, todėl tiksliai pakeisti kurso nepavyksta: nusistovėjus orlaivio padėčiai kursą reikia patikslinti.

1.7. Padėties erdvėje nustatymo priemonės

Valdant orlaivį, nuolat matuojamos jo kampinės padėties erdvėje – polinkis, posvyris ir skrydžio kursas. Taip pat matuojamas padėties erdvėje kitimo greitis (kitimo tempas), o kai kada – net kitimo pagreitis. Polinkius, pokrypius ir jų kitimo greičius matuoja giroskopiniai prietaisai – aviahorizontai, girovertikalės ir posūkių rodikliai. Didesniuose orlaiviuose šiuos prietaisus dubliuoja inercinės navigacijos sistemos. Skrydžio kursas matuoja magnetiniai kompasai, giroskopiniai kurso matuokliai ir įvairios magnetinės, palydovinės ir inercinės sistemos.

Giroskopiniai prietaisai ir sistemos

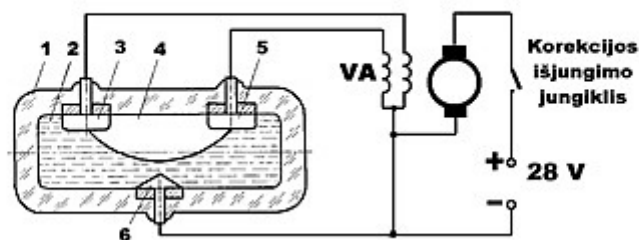
Giroskopiniais tokie prietaisai ir sistemos vadinami todėl, kad jų pagrindinė sudėtinė dalis yra giroskopas. Turint pastovų giroskopo signalą, skrendant galima automatiškai stabilizuoti kampines orlaivio padėtis ar jas tiksliai pakeisti. Vis plačiau naudojamos giroskopinės stabilizavimo sistemos, kurios reikalingos ne tik orlaivio padėčiai nustatyti, bet dar stabilizuoja erdvėje orlaivio įrenginius – antenas, fotoaparatus, termovizorius, o kariniuose orlaiviuose – ginkluotę.

Viena geriausių giroskopo savybių, dėl kurios jis naudojamas orlaiviuose, yra ta, kad, sukantis rotorui, pagrindinė giroskopo ašis nekeičia savo padėties erdvėje net ją stumiant jėga. Matuojant kampines orlaivio padėtis erdvėje, naudojami girokopai, kurių pagrindinė ašis orientuota horizontaliai arba vertikalčiai. Matuojant orlaivio posūkių dydį į kairę ar į dešinę (pokrypius), pagrindinė giroskopo ašis turi būti horizontali. Orlaivio polinkis ar posvyris matuojami vertikalčiai pastatytos pagrindinės giroskopo ašies atžvilgiu.

Nekeičiant kampo tarp horizontalios giroskopo pagrindinės ašies ir orlaivio išilginės ašies, galima skristi tiesiąja linija, nenukrypstant į šalį, galima tiksliai pasukti orlaivį reikiamu kampu ir toliau vėl skristi tiesiai. Blogai yra tai, kad giroskopas pats negali pastatyti savo pagrindinės ašies viena kuria nors kryptimi, kaip tai daro magnetinis kompasas, kurio rodyklė visada pasisuka į šiaurinę magnetinį polių. Norint skristi reikiama kryptimi, būtina iš pradžių orlaivio išilginę ašį sutapatinti su šia kryptimi kitomis priemonėmis, o po to jau galima skristi pagal girokopą. Laikui bėgant, giroskopo pagrindinė ašis savaime keičia savo padėtį erdvėje dėl netikslaus jo pagaminimo ir trinties ašių guoliuose, tai vadinama savaimine giroskopo precesija. Tiksliai pagamintų girokopų savaiminė precesija yra maždaug kelios dešimtosios laipsnio per valandą. Sukantis Žemei, atrodo, kad giroskopo pagrindinė ašis krypsta, tai vadinama stebimąja precesija. Jos dydis yra proporcingas Žemės sukimosi greičiui ir geografiniai platumai, kurioje yra giroskopas. Ilgiau veikiant giroskopo rėmelius išorine jėga, pagrindinė ašis pradeda krypti, tai vadinama priverstine precesija. Kuo ilgiau ir kuo didesnė išorinė jėga veikia vieną rėmelį, tuo greičiau apie kito rėmelio ašį pradeda sukintis pagrindinė ašis.

Priverstinę girokopų precesiją vykdoma norint išlaikyti jų pagrindinę ašį horizontalią ar vertikaliją, nes tik tada galima matuoti polinkius, posvyrus ir pokrypius. Indukcinio daviklio signalu galima valdyti pagrindinės ašies orientaciją, sutapatinant ją su magnetiniu dienovidiniu. Tada giroskopas geba matuoti magnetinį kursą ir jį tiksliai rodo orlaiviui darant manevrus. Priverstinę precesiją vykdoma ant giroskopo rėmelio ašies uždėtu nuolatinės srovės elektros varikliuku, kuris, nesukdamas rėmelio ašies, sukelia sukimo jėgą. Valdant varikliuko srovę, šią jėgą galima keisti.

Kurso giroskopo pagrindinę ašį visada reikia išlaikyti horizontalią, o girovertikalėse ir aviahorizontuose – vertikaliją. Orlaivyje reikia turėti prietaisą, kuris galėtų tiksliai nustatyti vertikalę. Toks prietaisas yra mechaninio svambalo analogas – gulsčiukinis daviklis (20 pav.). Jį sudaro hermetiškas indelis (1), iš dalies pripildytas elektrai laidžiu skysčiu (2), kita dalis (4) pripildyta inertinių dujų. Indelio viduryje ir galuose yra elektros kontaktai (3, 5 ir 6). Kai indelio padėtis yra horizontali, elektrolitas galinius kontaktus (3 ir 5) apsemia lygiai ir varža tarp vidurinio bei abiejų galinių kontaktų – vienoda.



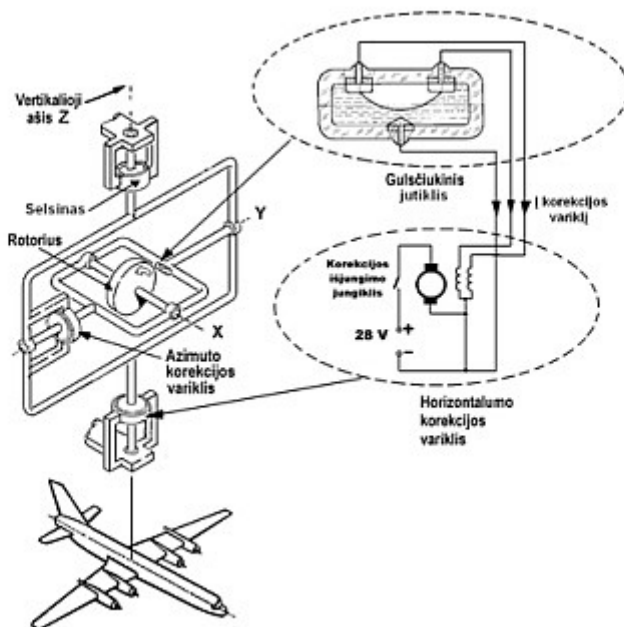
20 pav. Gulsčiukinis daviklis

Palenkus daviklį nuo horizontalios padėties, daugiau skysčio suteka į žemesnį indelio galą, abiejų pusių varžos tampa nevienodomis. Varžą atitinkantis signalas stiprinamas ir siunčiamas į atitinkamą korekcijos elektros varikliuką. Varikliukas turi dvi valdymo apvijas VA. Į vieną jų siunčiamas signalas, proporcingas vienos pusės daviklio varžai, o į kitą apviją – kitos pusės varžai.

Kurso giroskopai

Kurso giroskopais matuojamas orlaivio kursas giroskopo pagrindinės ašies atžvilgiu. Kurso giroskopas naudojamas norint tiksliai pasukti orlaivį reikiamu kampu (pakeisti kursą). Kurso matavimo esmė tokiu giroskopu yra ta, kad pagrindinė jo ašis, orlaiviui keičiant kursą, išlieka nepakitusios padėties, orlaivis pats pasisuka šios ašies atžvilgiu. Jei orlaivis toliau skrenda nekeisdamas kurso, kampas tarp jo išilginės ašies ir giroskopo pagrindinės ašies nesikeičia.

Kurso giroskopas arba giropuskompasis yra giroskopas, kurio išorinė ašis – vertikali, o pagrindinė ašis – horizontali ir palaikoma šioje padėtyje korekcijos sistema (21 pav.). Pagrindinė tokio giroskopo ašis, būdama horizontali, gali būti pasisukusi bet kuriuo kampu orlaivio išilginės ašies atžvilgiu, pavyzdžiui, prieš orlaiviui pakylant, ji gali būti statmena šiai orlaivio ašiai.



21 pav. Kurso giroskopas

Kurso giroskopo – kardaninė pakaba, sudaryta iš dviejų rėmelių – išorinio ir vidinio. Išorinio rėmelio ašis Z yra vertikali ir gali sukotis prietaiso korpuse (orlaivio korpuse) įtaisytuose guoliuose. Vidinio rėmelio ašis Y yra horizontali ir gali sukotis guoliuose, įtaisytuose išoriniame rėmelyje. Prie vidinio rėmelio tvirtinamas gulsčiukinis daviklis, kuris yra jautrus pagrindinės ašies nuokrypui nuo horizontaliosios padėties. Daviklio signalais, siūstais į horizontalumo korekcijos variklį, vykdoma giroskopo korekcija, palaikant jo pagrindinę ašį horizontalioje padėtyje. Įstačius selsino statorių orlaivio korpuse nejudamai, o selsino rotorių (kurso signalų daviklį) uždėjus ant

28

Pastatykime veikiančią nevaldomą giroskopą A kurioje nors Žemės vietoje, pavyzdžiui., Vilniuje, tokioje pradinėje padėtyje:

- pagrindinė ašis – horizontali ir nukreipta į šiaurę;
- vidinio rėmelio ašis – horizontali ir nukreipta į rytus;
- išorinio rėmelio ašis – vertikali.

Ilgiau stebint giroskopą bus matyti, kad pagrindinės jo ašies galas, nukreiptas į šiaurę, pamažu sukasi į rytus. Kampinis ašies pasisukimo greitis lygus $\Omega_A = \Omega \sin \varphi$, čia φ – geografinė platumą. Pavyzdžiui, platumoje 30° giroskopo pagrindinė ašis horizontalioje plokštumoje suksis $7,5^\circ$ per valandą greičiu. Taip pat bus matyti, kad šiaurinis pagrindinės ašies galas dar kyla aukštyn. Jei toks giroskopas (B) būtų pastatytas Žemės pusiaujo taške, jo pagrindinė ašis nesisuktų į rytus ir nekiltų aukštyn. Kurso giroskopo nuokrypų dydis ir kryptis priklauso nuo jo orientacijos, geografinės platumos, orlaivio skrydžio krypties ir greičio. Naudoti kurso giroskopą orlaivyje galima tik atliekant dvi priverstines precesijas:

- atsukant atgal giroskopo ašį signalu, proporcingu geografinei platumai. Tai atliekama tiekiant atitinkamo dydžio valdymo įtampą į azimuto korekcijos varikliuką iš kabinos pulto. Tada ašies orientacija nesikeis;
- neleidžiant jai nukrypti nuo horizontalios padėties. Tai daroma gulsčiukinio daviklio signalą tiekiant į horizontalumo korekcijos varikliuką.

Jeigu suspėtume laiku ir tiksliai atlikti giroskopo azimuto ir horizontalumo korekcijas, jį galėtume naudoti skrendant ortodrome, net ir ašigaliuose. Ortodrominis kursas dažnai vadinamas giropuskompasiniu (pagal matavimo būdą). Nuo giroskopinio kurso jis skiriasi tik tuo, kad kompensuojama giroskopo ašies nuokrypa dėl Žemės sukimosi darant platumos korekciją ir ašis išlaikoma horizontalioje padėtyje atliekant horizontalumo korekciją. Per pirmąją valandą kurso paklaida siekia maždaug 1° , bet ilgiau skrendant paklaida didėja greičiau.

Azimuto korekcija atliekama automatiškai arba rankiniu būdu, valdymo pulte rankenėle nustatant naujas platumos reikšmes, kurios kinta orlaiviui skrendant. Rankenėle keičiamas paduodamos į korekcijos varikliuką įtampos dydis, kuris yra proporcingas geografinei platumai. Skrendant tiksliai į rytus ar į vakarus, platumą nesikeičia. Tada rankenėle nustatoma platumos reikšmė, kurios skrendant keisti nereikia. Skrendant šiaurės pietų kryptimi, platumą keičiasi greičiausiai. Tada rankenėle reikia nustatyti naujos platumos reikšmę, jai pasikeitus daugiau kaip 1° . Kurso giroskopas arba giropuskompasis yra viena seniausių orlaivių navigacijos priemonių, veikiančių visose geografinėse platumose.

Giromagnetiniai kompasai

Darant orlaiviui posvyrius ir pokrypius, kurso giroskopas išlaiko pradinę kryptį, nuo kurios matuojamas kursas. Kurso giroskopas nepatogus lakūnams, nes jame negalima nustatyti su magnetiniu ar tikruoju dienovidiniu sutampančios atraminės kurso atskaitos krypties. Skrendant reikalinga azimuto ir horizontalumo korekcijos. Kintant orlaivio geografinei platumai, reikia rankiniu būdu valdymo pulte nustatinėti naujas platumos reikšmes, jei to automatiškai nedaro skrydžio valdymo sistema. Ilgiau skrendant prietaiso tikslumas blogėja.

Indukcinis kompasas matuoja magnetinį kursą, bet jo rodmenys netikslūs orlaiviui atliekant manevrus, šis kompasas neveikia didesnėse kaip 70° geografinėse platumose. Atliekant kurso giroskopo azimuto korekciją indukcinio daviklio signalu, galima matuoti magnetinį kursą, toks kompasas vadinamas giromagnetiniu. Šio kompasas, kurio pagrindinė dalis yra giroskopas, yra du veikimo režimai: magnetinės korekcijos MK ir giropusiaukompasinis GPK. Magnetinė giroskopo pagrindinės ašies korekcija (orientacija pagal magnetinį dienovidinį) atliekama, kai yra indukcinio daviklio signalas, geografinės platumos signalo nereikia. Arčiau Žemės ašigalių naudojamas giropuskompasio režimas (prietaisas veikia kaip kurso giroskopas, atliekant azimuto korekciją geografinės platumos signalu).

Giromagnetinį kompasą sudaro indukcinis magnetinio kurso daviklis, giroskopas su korekcijos mechanizmais ir rodiklis kabinoje. Į kabinos rodiklius ir kitoms orlaivio sistemoms kurso signalas

siunčiamas selsiniais: ant išorinio giroskopo rėmelio ašies uždėtas selsino daviklio rotorius, o statorius įtaisytas giroskopo korpuse, t. y. orlaivio korpuse.

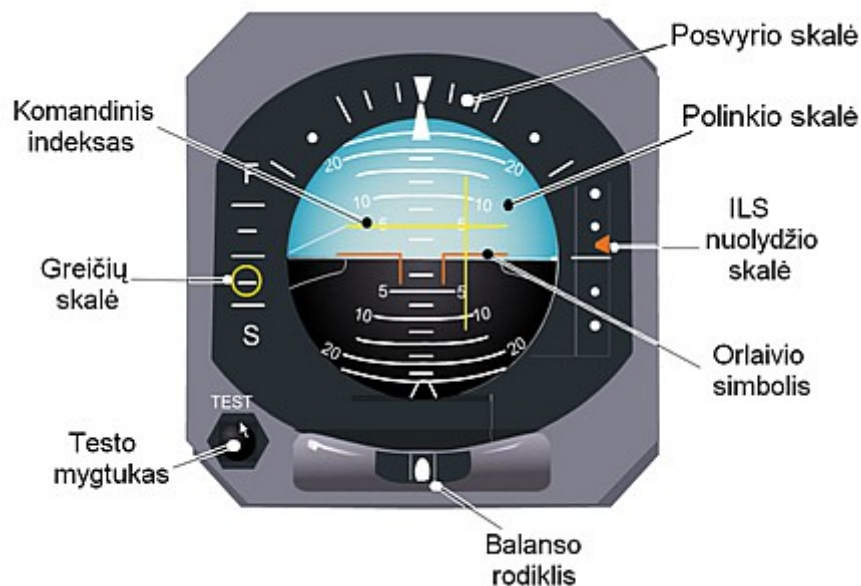
Giromagnetinis girokompasas suderina savyje teigiamas indukcinio daviklio ir kurso giroskopo (giropuskompasio) savybes. Indukcinis daviklis geba iš visų krypčių pasirinkti tik vieną – magnetinį dienovidinį: daviklis matuoja magnetinį kursą.

Orlaiviui darant polinkius, pokrypius ir posvyrius indukcinis daviklis virpa, jį veikia išcentrinės jėgos. Trumpalaikiai indukcinio daviklio signalo pokyčiai nespėja pakeisti giroskopo pagrindinės ašies padėties. Net staigiai pasikeitus indukciniam daviklio signalui, giroskopas „amortizuoja“ tokias nuokrypas ir į kabinos prietaisus, ir kitas sistemas jos nepatenka. Giromagnetinis kompasas rodo indukcinio daviklio matuojamo kurso svyravimų vidurkį. Toks kursas vadinamas giromagnetiniu.

Orlaiviui ilgiau atliekant manevrą, netikslus indukcinio daviklio signalas nors ir lėtai, bet gali pradėti priverstinę giroskopo azimuto precesiją. Kad taip neatsitiktų, indukcinio daviklio signalą laikinai atjungia korekcijos išjungiklis.

Aviahorizontai ir girovertikalės

Giromagnetinis kompasas gana tiksliai matuoja magnetinį kursą ir gali veikti kaip kurso giroskopas (GPK režimu), tačiau negali matuoti orlaivio polinkių ir posvyrių. Šiuos orlaivio padėties erdvėje elementus matuoja aviahorizontai ir girovertikalės. Pagrindinė jų dalis yra giroskopas, kurio rotoriaus ašis orientuota vertikaliai. Šioje padėtyje ašį palaiko du gulsčiukiniai davikliai: vieno signalas naudojamas ašies polinkio kompensacijai, kito – posvyrio kompensacijai. Aviahorizontai įtaisomi kabinos prietaisų lentoje arba jie būna nuotoliniai, kai giroskopas yra techniniame skyriuje, o polinkio ir posvyrio rodiklis (23 pav.) – kabinoje.



23 pav. Padėties erdvėje rodiklis

Kai aviahorizontas yra kabinos prietaisų lentoje, jo skalė tiesiogiai sujungta su giroskopo rėmeliu. Skalė sužymėta laipsniais, polinkis matuojamas nuo orlaivio simbolio, o posvyris – nuo indekso prietaiso viršuje. Didesnio orlaivio aviahorizontas rodo daugiau navigacijos elementų. Nuotolinio aviahorizonto skalė valdoma selsiniais.

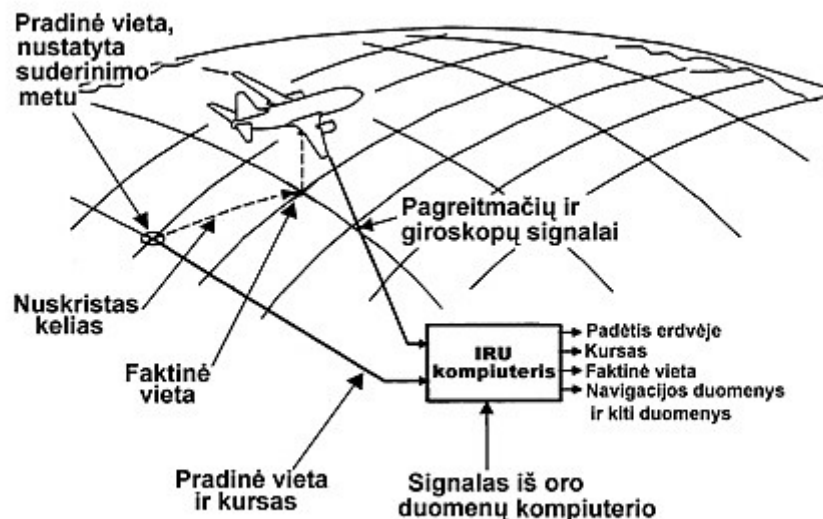
Aviahorizontų giroskopai nėra labai tikslūs, jų skalės nedidelės. Tikslesnės yra girovertikalės, nes jų giroskopų kinetinis momentas yra didesnis. Jos įtaisytos orlaivių masių centre, kad jas mažiau veiktų išcentrinės jėgos. Automatinio skrydžio trajektorijos valdymo sistemoms reikia daug tikslesnio orlaivio padėties matavimo, jos signalus gauna iš girovertikalių. Pastarosios neturi kabinos rodiklių, jos tik siunčia polinkio ir posvyrio signalus kitiems įrenginiams. Naudojamos trys vienodos girovertikalės, savikontrolės schema tikrina jų veikimą lygindama kiekvienos signalus su kitų dviejų signalais. Sugedusios girovertikalės signalas skirsis nuo kitų dviejų, tada lakūnams

rodomas pranešimas apie šios girovertikalės gedimą.

Inercinės navigacijos sistemos

Inercinės navigacijos sistemos yra autonomiškos navigacijos priemonės, joms nereikia antžeminių radijo stočių ir Žemės magnetinių laukų. Jos geba navigacijos metu naudoti duomenis iš kitų orlaivio sistemų, pavyzdžiui, iš DME aparatūros, GPS imtuvo ar oro duomenų kompiuterio. Tada navigaciniai skaičiavimai būna tikslesni. Sistema siunčia navigacijos signalus į lakūnų kabinos prietaisus ir kitoms orlaivio sistemoms. Pagrindinis inercinės sistemos duomenų vartotojas yra orlaivio skrydžio valdymo sistema FMS (angl. Flight management system). Tikslūs navigacijos duomenys gaunami tik suderinus sistemą prieš skrydį: nustačius pulte orlaivio stovėjimo vietos geografinės platumos ir ilgumos koordinates (pradinę vietą), kryptį į tikrąją šiaurę ir vietos vertikalę (pradinį kursą, polinkį ir posvyrį).

Įkėlus į sistemą informaciją apie pradinę orlaivio padėtį, skrendant ji toliau nuolat tiekia tikslius duomenis apie orlaivio faktinę vietą, jo padėtį erdvėje (trajektorijoje), jo magnetinį ar tikrąjį kursą bei matuoja jo kelio ir vertikalųjį greitį, vėjo kryptį ir greitį, orlaivio nuonašą ir kt. (24 pav.). Tai daroma matuojant orlaivio pagrečius ir jo posūkius koordinačių ašių atžvilgiu bei apdorojant matavimų duomenis kompiuteriu.



24 pav. INS naudojimas orlaivių navigacijoje

Inercinės sistemos nustato orlaivio padėtį ir greičio vektorių trimatėje koordinačių sistemoje, todėl jose įrengti trys pagrečių matuokliai (akcelerometrai) ir trys giroskopai. Visi šie šeši sistemos komponentai ir kompiuteris yra viename modulyje, kuris dažniausiai vadinamas inerciniu kurso ir padėties įrenginiu IRU (angl. Inertial reference unit).

Pagreitmačiai orientuoti pagal tris orlaivio ašis X, Y ir Z, todėl vienas pagreitmatas matuoja pagrečius šiaurės pietų kryptimi, kitas – rytų vakarų kryptimi, trečiasis – vertikaliuosius pagrečius. Giroskopai, naujesnėse sistemose lazeriniai, matuoja orlaivio posūkius apie šias ašis. Pagreitmačių signalai stiprinami ir siunčiami į integratorių. Atlikus pirmąjį integravimą, gaunamas signalas, atitinkantis orlaivio greitį minėtomis trimis kryptimis. Atlikus integravimą dar kartą, gaunamas signalas, atitinkantis šiomis kryptimis nuskrįstam keliui. Pavyzdžiui, trečiojo pagreitmačio signalas, jį vieną kartą integravus, yra proporcingas vertikaliam orlaivio greičiui (nebereikia barometrinio variometro), o integravus antrą kartą – orlaivio skrydžio aukščiui nuo pradinės vietos.

Skrydžio kryptis nuo pradinės krypties matuoja trys giroskopais. Orlaiviui pasisukus, kiekvieną kartą matuojamas visų jo pasisukimų erdvėje dydis. Pagreitmačiai ir giroskopai (IRU) yra netoli orlaivio masių centro, kad juos mažiau veiktų išcentrinės jėgos.

Pagrindinis reikalavimas, kad inercinė sistema gerai veiktų, yra jos suderinimas prieš skrydį orlaiviui stovint. Derinimo metu sistema nustato vietos vertikalę ir kryptį į tikrąją šiaurę. Derinant naudojami visi giroskopai ir pagreitmačiai, pastarieji tada nusistovi nulinėje padėtyje. Derinimo

metu orlaivis juda tik kartu su Žeme, jokio kito orlaivio judėjimo jos paviršiuje neturi būti.

Inercinės sistemos turi kuo tiksliau matuoti visus orlaivio valdymo ir navigacijos elementus, todėl jų elektriniai girokopai kartu su pagreitmačiais (IRU modulis) įtaisyti ant horizontaliai stabilizuotos platformos, kad matavimų paklaidos būtų mažesnės. Jei girokopai lazeriniai, IRU tvirtinamas tiesiogiai prie orlaivio korpuso, tada matavimų paklaidas koreguoja kompiuteris.

Įjungus INS, reikia apie 10 minučių giroskopo ir pagreičių matuoklių suderinimui (vertikalės nustatymui, girokopų ašių suorientavimui į šiaurę ir į rytus bei pagreitmačių signalų nulitimui). Toliau IRU kompiuteris pradeda tiksliai skaičiuoti visus valdymo ir navigacijos elementus, pavyzdžiui, po 1 skrydžio valandos nuokrypa nuo pasirinktojo kelio gali būti ne didesnė kaip 2 jūrmylės. Jei orlaivyje radiotechninės ar palydovinės navigacijos priemonės kurio nors metu navigacijos elementus matuoja tiksliau, IRU kompiuterio skaičiavimus galima pakoreguoti šių navigacijos priemonių signalais.

Avionika. Radiotechninės navigacijos priemonės

Radionavigacija yra orlaivių navigacijos sritis, nagrinėjanti radiotechninių priemonių teoriją ir jų praktinį naudojimą, valdant orlaivio trajektoriją nurodytu laiku. Paprastesnės radionavigacijos priemonės, kuriomis galima nustatyti tik vieną navigacijos elementą, vadinamos radionavigacijos įrenginiais (radijo aukščiamčiai, radijo lokatoriai ir kt.). Radionavigacijos sistema vadinami keli bendrai veikiantys radionavigacijos įrenginiai ir prietaisai, kurie naudojami orlaivio koordinatėms nustatyti, jam tupiant ir t. t. Tai artimosios ir tolimosios radionavigacijos sistemos, tūpimo sistemos, susidūrimų vengimo sistemos ir kt. Radionavigacijos sistemos kartu su magnetinėmis, inercinėmis ir palydovinėmis sistemomis bei įvairių rūšių prietaisais sudaro navigacijos kompleksus arba skrydžio valdymo sistemas. Radionavigacijos priemonių galimybės, ypač veikimo nuotolis, priklauso nuo elektromagnetinių bangų sklaidimo savybių. Kai veikimo nuotolis yra maždaug tūkstantis kilometrų ar mažesnis, tokia radionavigacija vadinama artimąja. Tolimosios radionavigacijos priemonių veikimo nuotolis siekia kelis tūkstančius kilometrų.

Radionavigacijos sistemomis matuojami navigacijos elementai ir pagal juos nustatomos orlaivio koordinatės arba jo vieta antžeminių įrenginių atžvilgiu. Tai daroma matuojant kampus ir nuotolius iki jų ar nuotolių skirtumus tarp kelių antžeminių įrenginių ir orlaivio. Pagal matavimo būdą tokios sistemos skirstomos į matuojančias kampus, nuotolius, nuotolių skirtumus ir kelio greitį.

Kampus matuojančios sistemos (antžeminiai radijo švyturiai ir orlaivių imtuvai) navigacijos elementą nustato matuodamos kampą tarp pasirinktos pradinės linijos ir krypties į antžeminį radijo švyturį horizontaliojoje plokštumoje. Radijo švyturiai spinduliuoja elektromagnetinį lauką, kuris atsklinda iki orlaivio. Šį lauką priima orlaivio antena ir imtuvas, lauko parametrai priklauso nuo orlaivio kampinių koordinatų švyturio atžvilgiu. Kampus matuojančios orlaivio sistemos nustato kampines elektromagnetinių bangų siųstuvo koordinates matuodamos tų bangų priėmimo kryptį.

Nuotolius matuojančiomis radionavigacijos sistemomis nustatomas atstumas tarp orlaivio ir elektromagnetinių bangų siųstuvo (taip pat esančio Žemės palydove), arba tarp orlaivio ir Žemės paviršiaus. Tai artimosios radionavigacijos toliamačiai, radijo aukščiamčiai ir palydovinės navigacijos sistemos.

Kampus ir nuotolius matuojančios neautonomiškos radionavigacijos priemonės pačios savarankiškai negali nustatyti orlaivio vietos. Jos tik nustato liniją, kurioje navigacijos parametras turi tas pačias reikšmes. Ta linija vadinama padėties linija. Norint rasti orlaivio vietą, reikia naudoti kelias radionavigacijos priemones kartu. Nuotolių skirtumus matuojančios radionavigacijos priemonės gali nustatyti orlaivio vietą priimdamos kelių elektromagnetinių bangų siųstuvų, kurių vietos tiksliai žinomos, signalus. Tai tolimosios radionavigacijos sistemos. Kelio greitį matuoja Doplerio greitmačiai.

2.1. Artimosios radijo navigacijos priemonės

Šiomis radionavigacijos priemonėmis nustatoma kryptis į antžeminį radijo švyturį ar atstumas iki jo. Žinant atstumus ar kryptis į kelis antžeminius švyturius, kurių vietos tiksliai žinomos, galima nustatyti orlaivio vietą ir nutupdyti jį pagal prietaisus. Artimosios radionavigacijos sistemų veikimo nuotolis priklauso nuo naudojamų radijo bangų ilgio ir jų sklaidimo erdvėje savybių. Naudojamos vidutinės, ultratrumposios ir decimetrinės bangos, todėl veikimo nuotolis tėra keli šimtai kilometrų, to dažnai visai pakanka. Artimosios radionavigacijos sistemas sudaro antžeminiai radijo švyturiai ir orlaivių įrenginiai. Šios sistemos naudojamos gana seniai ir yra vienos svarbiausių orlaivių navigacijoje, nors ir nepasižymi įvairumu pagal veikimo principą. Tai radijo kompasai ADF, toliamačiai DME, UTB radionavigacijos sistema VOR/ILS, mikrobangės tūpimo sistemos MLS, radijo žyminiai, avariniai radiopelengatoriai ir kt. Visų šių radionavigacijos priemonių veikimas pagrįstas radijo bangų savybe sklisti nuo švyturio tik tiesiai. Tada galima nustatyti jų atėjimo kryptį, o žinant jų sklaidimo laiką, galima matuoti atstumus. Atsispindinčios nuo žemės ir jonosferos erdvinės bangos radionavigacijai netinka ar net trukdo.

Radijo kompasais ADF orlaiviuose nustatoma kryptis į antžeminį radijo bangų švyturį, kurio vieta žinoma. Tai yra padėties linija, einanti nuo orlaivio per švyturį ir besitęsianti tolyn nuo jo. Nustačius šią liniją ir išmatavus kampą tarp jos ir orlaivio išilginės ašies, nustatoma kryptis nuo orlaivio į radijo bangų švyturį vadinama radijo švyturio santykiniu azimutu RB (angl. Relative bearing). Naudojant vieną radijo kompasą, orlaivio vietos nustatyti negalima, nes dar reikia žinoti atstumą iki to švyturio. Rasti orlaivio vietą galima ir nustačius kryptis į kelis skirtingose vietose esančius švyturius: orlaivio vieta bus tų padėties linijų susikirtime. Panašiai kaip ADF veikia avariniai UTB radijo kompasai, kuriuos turi gelbėjimo darbams skirti orlaiviai. Jie nustato kryptį į avarinius signalus siunčiantį radijo švyturį ELT (angl. Emergency Location Transmitter). Skrendant šia kryptimi, galima ją surasti orlaivio avarijos vietą.

Radionavigacijos sistemomis VOR nustatoma orlaivio kryptis (azimutas) antžeminio švyturio atžvilgiu (arba švyturio kryptis orlaivio atžvilgiu). Ši kryptis yra padėties linija, einanti nuo švyturio per orlaivį ir besitęsianti tolyn nuo jo. Orlaivio azimutas matuojamas atraminės linijos, einančios per švyturį, atžvilgiu. Šia linija pasirenkamas magnetinis švyturio dienovidinis. Orlaivio azimutas švyturio atžvilgiu yra kampas tarp švyturio magnetinio dienovidinio ir krypties nuo švyturio į orlaivį.

Žinant tik į vieno VOR švyturio azimutą, galima skristi į švyturį ar nuo jo, bet orlaivio vietos nustatyti negalima, nes reikia dar žinoti atstumą nuo švyturio iki orlaivio. Orlaivio vietą taip pat galima rasti nustačius kryptis nuo orlaivio į kelis skirtingose vietose esančius VOR švyturius: orlaivio vieta bus tų padėties linijų susikirtime. Radijo kompasais ADF ir VOR sistemomis nustatyta orlaivio padėties linija yra tiesė, jungianti orlaivį su švyturiu. Dažniausiai radijo kompasai ir VOR orlaivyje naudojami skrendant šia tiese, t. y. į radijo švyturį arba nuo jo, kai švyturio azimutas ar santykinis švyturio azimutas RB lygus nuliui arba 180° . Tolstant nuo švyturio, VOR ir radijo kompasais nustatytos orlaivio vietos tikslumas blogėja, nes tą patį kampą atitinka didesnis linijinis atstumas.

Toliamačiais DME orlaivyje matuojamas atstumas iki antžeminės radijo stoties. Pagal atstumo kitimo greitį kai kurie toliamačiai nustato santykinį orlaivio greitį antžeminės stoties atžvilgiu: kai orlaivis skrenda tiesiai į stotį ar nuo jos, šis greitis yra lygus kelio greičiui. Toliamatis nustato atstumą iki radijo stoties, neatsižvelgiant į kurią pusę orlaivis yra nuo jos. Pavyzdžiui, kai orlaivis yra į pietus nuo stoties 200 km atstumu, toliamatis rodys 200 kilometrų. Tą patį atstumą jis rodys, kai orlaivis bus 200 km atstumu į rytus, vakarus ar šiaurę nuo stoties: toliamačiu nustatyta orlaivio padėties linija yra apskritimas aplink radijo stotį. Vienu toliamačiu pakaitomis matuojant atstumus iki dviejų skirtingose vietose esančių radijo stočių, nustatomos dvi orlaivio vietos, bet tik viena iš jų bus tikroji (du apskritimai susikerta dviejuose taškuose). Norint sužinoti, kuri iš šių vietų yra tikroji, reikia dar išmatuoti atstumą iki trečiosios stoties arba vieną iš tų taškų pripažinti netinkamą, kur orlaivis tuo metu negali būti.

ADF, VOR ir DME yra pagrindinės artimosios radionavigacijos priemonės, naudojamos orlaivio

vietai nustatyti skrendant maršrutu. Naudojant jas atskirai, orlaivio vietą galima nustatyti tik priėmus signalus iš kelių antžeminių švyturių ir atlikus gana sudėtingus skaičiavimus. Naudojant toliamatį DME kartu su VOR, orlaivio vieta bus apskritimo ir tiesės susikirtime. Jai nustatyti sudėtingi skaičiavimai nereikalingi. Taip nustatyta orlaivio vieta bus tuo tikslesnė, kuo arčiau vienas kito ant žemės yra VOR švyturys ir toliamačio antžeminė radijo stotis.

Tūpimas yra atsakingiausias skrydžio momentas. Lėktuvas turi paliesti kilimo ir tupimo taką (KTT) jo pradžioje. Nutūpus toliau, gali neužtekti riedėjimo lėktuvui sustabdyti, tupiant arčiau galima tako nepasiekti. Nors KTT yra gana platus, geriau nutūpdyti lėktuvą jo viduryje, nes stabdant gali pradėti nešti lėktuvą į šalį. Svarbu teisingai priartėti iki KTT. Jei lėktuvas, ruošdamasis tūpti, pradės žemėti vėliau, tai norint pataikyti į KTT pradžią, jo tūpimo linija bus statesnė, vertikalusis greitis didesnis ir išlyginti lėktuvą bus sunkiau, o laiko tam bus mažiau. Per anksti pradėjus žemėjimą, teks „tempti“ lėktuvą iki KTT naudojant daugiau degalų, nes jo potencinė energija, sukaupta kylant, nebus tinkamiausiai naudojama. Kai kurių oro uostų prieigose žemai skrendančiam lėktuvui gali kliudyti kalvotos vietos ar aukšti pastatai. Linija, kuria juda lėktuvas leisdamasis, neturi būti labai nuožulni ar labai stati ir visada turi sutapti su KTT viduriu. Oro uostuose radiotechninėmis tūpimo priemonėmis formuojama lėktuvams geriausiai tinkanti tūpimo linija, vadinama tuptine. Tuptinė su horizontu sudaro maždaug $2,5^{\circ}$ – 3° kampą. Kuo mažesnės lėktuvo nuokrypos nuo tuptinės, tuo tūpimas yra lengvesnis ir saugesnis. Greitai skrendančiame lėktuve lakūnas, net matydamas KTT, be prietaisų negali tiksliai laikytis tuptinės (nustatyti tūpimo trajektorijos nuožulnumo ir jos nuokrypos nuo KTT vidurio). Nematant KTT, tūpti be prietaisų visai negalima. Antžeminės tūpimo sistemos radijo signalais suformuoja tikslią tuptinės liniją. Lėktuvo aparatūra priima antžeminius signalus ir rodo lakūnams nuokrypą nuo tuptinės, ar net automatiškai valdo lėktuvą, kad jis nuo jos nenukryptų. Plačiausiai naudojamos ILS tikslaus tūpimo sistemos, veikiančios UTB bangų ruože. Jas sudaro bendrai veikiantys antžeminiai įrenginiai (švyturiai, vedliai) ir lėktuvo įrenginiai (imtuvai). Orlaivio tikslaus tūpimo sistema ILS nustoja veikti priartėjus prie pat tūpimo tako, todėl tupimą reikia baigti vizualiai, stebint taką ir jame įrengtas šviesos signalines sistemas. Mažiausias aukštis, iki kurio gali veikti ILS, ir matomumas take vadinami tūpimo kategorija. Ji priklauso nuo oro uoste ir orlaivyje esančių tūpimo įrenginių galimybių. Tūpimo sistemos ILS būna įvairaus sudėtingumo: kuo tobulesnė sistema, tuo arčiau KTT baigiasi jos formuojama tuptinė. Arti žemės paviršiaus radijo signalais suformuoti tuptinės negalima, nes ILS švyturiai dirvoje sukelia sroves, o šių srovių sukurti elektromagnetiniai laukai sumuojasi su švyturio signalu ir jį iškraipo. Atsižvelgiant į antžeminės tūpimo sistemos sudėtingumą, yra šios aerodromų tūpimo kategorijos – I, II, IIa, IIb ir IIc. Pavyzdžiui, II tūpimo kategorijos antžeminiai švyturiai formuoja tuptinę tik aukščiau kaip 30 m nuo žemės paviršiaus ir toliau kaip 300 m nuo KTT pradžios. Orlaivio ILS aparatūra matuoja nuokrypą į šalis nuo KTT vidurio ir nuokrypą nuo tuptinės aukštyrės ar žemyn, bet arti žemės ILS signalų nebėra. Pavyzdžiui, II tūpimo kategorijos ILS signalų nebėra orlaiviui nusileidus iki 30 m ir likus iki KTT pradžios 300 m. Toliau lakūnas turi tūpti vizualiai.

Kabinoje nuokrypas nuo tuptinės rodo aviahorizontas ar kitas analogiškas prietaisas vertikalsios ir horizontaliosios nuokrypų skalėse, kur nuokrypos sužymėtos taškais, pavyzdžiui, kas $0,5^{\circ}$. Slankiojantis indeksas skalėje rodo nuokrypas nuo tuptinės, kaip atrodo lakūnui žiūrint iš kabinos. Pavyzdžiui, jei vertikalojoje skalėje indeksas pasislinko dviem taškais į viršų, tai reiškia, kad orlaivis yra 1° žemiau tuptinės (lakūnui rodoma, kad tuptinė yra aukščiau, o ne žemiau).

2.2. Kitos artimosios radijo navigacijos priemonės

Radijo aukščiamatai

Jie siunčia radijo signalą į žemę ir priima nuo jos atsispindėjusį signalą. Kadangi radijo signalo sklaidimo greitis ore pastovus, orlaivio skrydžio aukštis proporcingas pusei laiko nuo signalo išsiuntimo iki atsispindėjusio priėmimo. Radijo aukščiamatai matuoja faktinį (absoliutųjį) aukštį nuo žemės paviršiaus po orlaiviu iki orlaivio. Keleiviniuose orlaiviuose naudojami mažus aukščius (iki 2500 pėdų) matuojantys radijo aukščiamatai. Į žemę siunčiami ne radijo impulsai, o radijo signalas, kurio dažnis tolygiai keičiasi. Absoliutusias skrydžio aukštis proporcingas nuo žemės atsispindėjusio ir tuo metu spinduliuojamo signalo dažnių skirtumui. Skristi palaikant pastovų

aukštį pagal radijo aukščiamatį nepatogu, ypač kalvotoje vietovėje. Orlaivio judėjimo trajektorija tada turi atitikti žemės paviršiaus profilį (kalvas ir daubas). Lakūnai taip neskraido. Radijo aukščiamatai reikalingiausi lėktuvui tupiant lygiame take, nes absoliutųjį aukštį matuoja $\pm 0,5$ m tikslumu. Sraigtasparniai tokiu tikslumu gali kabėti tik naudodami radijo aukščiamatį. Radijo aukščiamatai yra didesniuose lėktuvuose ir sraigtasparniuose. Doplerio matuokliai

Kelio greitį matuoja Doplerio greitmačiai. Jų veikimo principas yra radiolokacinis: greitis nustatomas pagal dažnių skirtumą tarp išsiųstų iš orlaivio į Žemę signalų ir atsispindėjusių nuo Žemės paviršiaus tų pačių signalų, kurių dažnis atsispindint pasikeičia proporcingai orlaivio greičiui. Greitis gali būti rastas apdorojant priimtus signalus iš palydovų pagal atstumą iki jų kitimo greitį. Santykinis (tarpusavio) greitis tarp orlaivio ir antžeminio švyturio taip pat gali būti nustatytas pagal atstumo tarp jų kitimo greitį.

Meteorologiniai lokatoriai

Orlaivio skrydžio saugai gali turėti įtakos jo kelyje pasitaikę audros debesys. Pakliuvus į juos, gali prasidėti orlaivio blaška ir apledėjimas, skristi tada galima tik pagal prietaisus. Oro srautų turbulencija gali pažeisti orlaivio valdymo plokštumas, ji nemaloni keleiviams. Pasitaikančius orlaivio kelyje jam pavojingus meteorologijos derinius galima aptikti meteorolokatoriumi ir parodyti juos lakūnams kabinos prietaise. Tada lakūnas gali nuspręsti, ar skristi pro juos, ar keisti maršrutą juos apeinant. Tai yra pagrindinė lokatoriaus paskirtis. Lokatoriumi taip pat galima apžvelgti žemės paviršių prieš orlaivį ir matyti indikatoriuje stambius objektus – didesnius ežerus ir upes, jūros kranto liniją, didesnius miestus. Kai kuriuose lokatoriuose yra galimybė apytikriai matuoti nuonašą.

Orlaivio radijo lokatorius besisukiojančia antena, kuri yra orlaivio priekyje, po radijo bangoms laidžiu gaubtu išspinduliuoja į priekį radijo impulsus. Stebint meteorologijos derinius, antenos kryptinė diagrama labai siaura. Jei impulsų kelyje yra lietaus debesys, dalis impulsų energijos nuo jo atsispindi ir sugrįžta atgal į lokatoriaus anteną. Atstumą iki debesies galima sužinoti išmatavus laiką nuo impulso išsiuntimo iki jo sugrįžimo. Esant vienodam impulsų sklaidimo greičiui, atstumas iki debesies yra visada proporcingas pusei šio laiko. Matuojant antenos padėtį, kurioje ji priima atsispindėjusį signalą, nustatoma kryptis į debesį orlaivio išilginės ašies atžvilgiu.

Tūptinės radijo žyminiai

ILS yra sudėtingos ir brangios tupimo sistemos, jos yra didesniuose aerodromuose. Yra aerodromų, kur KTT prieigose, kelių kilometrų atstumu nuo tako, gali būti įrengti vienas ar keli antžeminiai radijo žyminių švyturiai. Jų išdėstymas sutampa su KTT vidurio linija. Visi švyturiai spinduliuoja 75 MHz radijo bangas į viršų antenomis, kurių kryptinės diagramos yra siauro piltuvėlio formos. Orlaivyje yra švyturių signalų imtuvas. Kabinoje nėra jokio valdymo pulto ir sudėtingo rodiklio, yra tik kelios skirtingų spalvų lemputės. Žyminių garso signalai girdimi telefonuose. Orlaivis labai greitai praskrenda švyturį, tuo metu sužybsi atitinkamos spalvos lemputė ir ausinėse pasigirsta švyturio signalas. Atstumas nuo KTT iki žyminio nurodytas aerodromo dokumentuose, todėl lakūnai jį žino. Pasirodžius žyminio signalui, lakūnas žino, koks tuo metu yra atstumas iki KTT, o pažvelgus į aukščiamatį galima spręsti, ar orlaivis yra nenukrypęs nuo tūptinės. Jei žyminio signalo nustatytu momentu nesigirdi, tai reiškia, kad orlaivis yra labai nukrypęs į šalį nuo KTT, toliau žemėti pavoja ir reikia kilti į antrąjį ratą.

2.3. Tolimoji radijo navigacija

Tolimosios radijo navigacijos priemonės orlaivio vietą nustato matuojant atstumų skirtumus nuo kelių antžeminių siųstuvų iki orlaivio. Dabar kol kas veikia tik viena tolimosios radijo navigacijos priemonė – „Loran C“. Orlaivio vieta iš pradžių nustatoma apytiksliai, matuojant radijo impulsų sklaidimo laikus nuo kelių siųstuvų iki orlaivio. Po to lyginamos skirtingais keliais atsklidusių radijo impulsų signalų fazės ir išmatuoti atstumai patikslinami ([žr. 9 pav.](#)). Apytikslis atstumų nustatymo metodas orlaivyje pagal radijo impulsų atsklidimo laiką padeda išvengti fazinėms sistemoms būdingo matavimų daugiareikšmiškumo. Tokios sistemos vadinamos fazoimpulsinėmis.

Radionavigacijos sistemos „Loran-C“ siųstuvai yra įvairiose Žemės rutulio vietose. Keli

antžeminiai siųstuvai veikia tarpusavyje suderintai, jie vadinami grandimi. Vienas grandies siųstuvų yra pagrindinis, o kiti pavaldieji. Jų dažniausiai būna du arba trys. Visi grandies siųstuvai suderintai veikia vienu 100 kHz dažniu. Atstumas tarp pagrindinio ir pavaldžių švyturių yra didelis, maždaug 960–1300 km. Tiesė, jungianti du antžeminius švyturius, vadinama bazine linija, o atstumas tarp švyturių vadinamas baze.

Antžeminių švyturių veikimą sinchronizuoja atominis laikrodis. Sistemos veikimas pagrįstas žinomu reiškiniu, kad radijo bangų sklaidimo greitis erdvėje yra 300 000 kilometrų per sekundę. Išmatavus laikus tarp signalų, kuriuos išsiunčia pagrindinis ir pavaldieji švyturiai, apskaičiuojami orlaivio atstumai iki tų švyturių ir nustatoma orlaivio vieta. Paeiliui matuojant skrendančio orlaivio vietos pasikeitimus, galima nustatyti skrydžio kryptį, greitį, orlaivio azimutą ir kitus navigacijos duomenis, ypač jei „Loran-C“ veikia kartu su orlaivio skrydžio valdymo sistema ar su palydovinės navigacijos priemonėmis.

Avionika. Skrydžio trajektorijos automatinis valdymas

Automatinis valdymas numato visišką daugumos valdymo operacijų automatizavimą, lakūnas atlieka tik bendrąją įrenginių veikimo kontrolę. Automatinio orlaivio valdymo įrenginiai yra brangūs ir sudėtingi, todėl be reikalo jų orlaiviuose nenaudojama. Pagal naudojimo būdą šiuos įrenginius galima suskirstyti į dvi grupes:

- įrenginius, padedančius automatizuoti orlaivio aerodinaminių plokštumų valdymą;
- įrenginius, padedančius nustatyti nuokrypas nuo pasirinktųjų navigacijos elementų.

Paprasčiausias yra rankinis orlaivio valdymas. Šiuo atveju gali būti naudojamos jėgos pavaros kabinos vairų judesiams stiprinti, o prietaisus stebi ir navigacinius skaičiavimus atlieka lakūnas.

Pradėjus lėktuvams skraidyti didesniais nuotoliais, ilgai trunkantis rankinis valdymas, susidedantis daugiausia iš lėktuvo kampinių padėčių stabilizacijos, lakūnus labai vargino. Buvo pradėti naudoti autopilotai, t. y. automatinės sistemos, stabilizuojančios daugiausia tik lėktuvo kampines padėtis. Netrukus autopilotas ne tik tapo būtina lėktuvo įranga, bet išplėtė savo funkcijas. Atsirado aukščio, greičio ir vertikalaus greičio stabilizacija, automatiškas horizontalusis išlyginimas praradus erdvinę orientaciją, koordinuotas posūkis, vieno skrydžio aukščio keitimas kitu ir kiti programuoti manevrai. Atsirado pavojingai didelių posvyrio, polinkio ir atakos kampų ribojimas, smukos ir pavojingai didelio skrydžio greičio (CAS, M) ribojimas, variklių traukos asimetrijos kompensavimas. Autopilotai, kurie galėjo ne tik stabilizuoti lėktuvo padėtį, bet ir atlikti nesudėtingus maneuvrus, buvo pradėti vadinti lėktuvo automatinėmis valdymo sistemomis AFCS (angl. Automatic flight control system). Toliau į valdymo sistemą buvo įjungtos ir variklių valdymo svirtys – atsirado traukos automatas, skirtas palaikyti nustatytą skrydžio greitį ar variklio trauką. Lėktuvai jau galėjo skraidyti pagal prietaisus esant blogam matomumui. Daugėjant lėktuvų, reikėjo pradėti planuoti lėktuvų skrydžio trajektorijas ir jų skrendant laikytis. Navigaciniai lakūnų skaičiavimai darėsi vis sudėtingesni.

Tolesnis žingsnis automatizuojant lėktuvų valdymą buvo jo skrydžio trajektorijos valdymas pagal iš anksto sudarytą programą. Programa (skrydžio planas, įkeltas į kompiuterį) yra eilė kelio taškų erdvėje ir juos jungiančių kelio dalių (atkarpų). Programinis skrydžio trajektorijos valdymas padėjo suteikti valdymo sistemai funkcijas, kurias lakūnui sunku atlikti, pavyzdžiui, automatiškas skrydžio aukščio ar kurso keitimas numatytoje maršruto vietoje, automatiškas radijo ryšio ir navigacijos dažnių keitimas numatytoje vietoje, galimybė bet kurioje maršruto vietoje pakeisti planinę trajektoriją skrydžiu į artimiausią aerodromą, kilimas ir tūpimas oro uoste pagal šiam uostui sudarytas schemas SID (angl. Standard instrument departure) ir STAR (angl. Standard arrival) esant geram ir ribotam matomumui bei kt.

Norint automatiškai skristi pasirinktą trajektoriją, reikia prieš skrydį sudaryti skrydžio programą ir turėti įrenginius, kurie tą programą vykdo. Pasikeitus aplinkybėms skrendant, programa turi būti pakeista. Tai galima atlikti tik naudojant kompiuterinę techniką. Taip buvo sukurtos kokybiškai naujos skrydžio valdymo sistemos. Jų pagrindinė naujovė buvo programuojamas skrydis nuo pat pakilimo iki tūpimo ir daugelio atskirų lėktuvo navigacijos ir valdymo priemonių sujungimas į vieną didelę bendrą sistemą, vadinama lėktuvo skrydžio valdymo sistema FMS (angl. Flight management system). Skrendant FMS turi nustatyti lėktuvo vietą ir padėti erdvėje, palyginti gautus duomenis su skrydžio programa (navigacijos duomenų baze), išmatuoti esamas nuokrypas ir joms proporcingus signalus siųsti lėktuvo valdymo plokštumoms. Skrydžio valdymo sistemos atlieka visas pagrindines automatinio valdymo funkcijas, atsižvelgiant į oro temperatūrą ir vėją.

FMS gali nustatyti lėktuvo vietą, padėti erdvėje ir vykdyti skrydžio programą, todėl jai tiekia duomenis įvairios lėktuvo navigacijos priemonės. Svarbiausios iš jų yra inercinės ir radionavigacijos sistemos. Lakūnai lėktuvo valdymą stebi kabinos prietaisuose, kur kartu rodomi ir skrydžio programą įkelti (pasirinktieji) ir iš navigacijos priemonių gauti (faktiniai) duomenys. Šiuos duomenis lakūnas gali palyginti ir pats nustatyti esamas nuokrypas. Jei FMS į valdymo sistemą nesiunčia plokštumų valdymo signalų, lakūnas pats gali vietoje jos valdyti lėktuvą. Toks valdymo būdas vadinamas šturvaliniu. Tada plokštumų valdymo signalai gaunami iš kabinos vairų. Kai kuriuose lėktuvuose gali būti FMS, kurios negali automatiškai valdyti lėktuvo plokštumų, o tik nustato trajektorijos ir laiko nuokrypas. Tokios sistemos vadinamos komandinėmis skrydžio sistemomis FDS (angl. Flight director system). Visai išjungus automatinį ar komandinį valdymą, lakūnas gali lėktuvą valdyti rankiniu būdu.

Senesniuose lėktuvuose FDS ir AFCS buvo savarankiški įrenginiai, jie galėjo veikti arba nepriklausomai vienas nuo kito arba kartu (kaip FMS). Naujesniuose orlaiviuose FMS yra vienas įrenginys, tačiau jis gali atlikti žemesnio lygio valdymą, pavyzdžiui, veikti kaip AFCS ar net kaip paprastas autopilotas.

Kaip ir rankiniu būdu, lėktuvo eleronai, aukščio ir krypties vairai automatiškai valdomi nepriklausomai. Visi įrenginiai skirti tik vienos aerodinaminės plokštumos automatiškam valdymui vadinami valdymo kanalu. Dauguma šiuolaikinių FMS turi tris kanalus. Kanalai dažniausiai vadinami tokiu pat pavadinimu, kaip pirminės valdymo plokštumos, kurios tais kanalais valdomos, – aukščio vairo (stabilizatoriaus) kanalas, krypties vairo kanalas, eleronų kanalas. Aukščio vairo kanalas naudojamas polinkiui, skrydžio aukščiui ir greičiui valdyti. Eleronų kanalu valdomas posvyris ir kursas, krypties vairo kanalas skirtas šalinti lėktuvo slydimą. Beveik visuose didesniuose lėktuvuose krypties vairas dar naudojamas kurso krypavimams slopinti. Kai kuriuose lėktuvuose polinkio krypavimai slopinami aukščio vairo, o posvyrio – eleronais. Labai dažnai šie trys kanalai dar vadinami polinkio, posvyrio ir pokrypio kanalais. Svarbus yra ir skrydžio greičio valdymo kanalas – variklių traukos automatas.

Pagrindinė FMS paskirtis yra lėktuvo trajektorijos valdymas skrydžio metu. Tuo FMS skiriasi nuo autopilotų, kurie tik palaiko (stabilizuoja) nustatytą lėktuvo padėtį. Norit pakeisti skrydžio aukštį ar kursą, lakūnui reikia pačiam atlikti reikalingus skaičiavimus, išjungti autopilotą, pačiam atlikti manevrą ir tik nusistovėjus naujai lėktuvo padėčiai galima vėl įjungti stabilizaciją. FMS visus skaičiavimus ir lėktuvo maneivrus atlieka automatiškai.

Traukos automatai automatiškai valdo variklių trauką nuo pat kilimo iki nutūpimo, tuo mažindami lakūnų krūvį. Traukos automatas yra kompiuteriu valdoma elektromechaninė sistema, veikianti kartu su lėktuvų automatine valdymo sistema AFCS ir skrydžio valdymo sistemos FMS kompiuteriu. Traukos automatas AT (angl. Auto-throttle) taip pat susietas su inercine sistema INS ir kitomis sistemomis. Pavyzdžiui, variklių traukai valdyti reikia statinio oro slėgio ir temperatūros signalų. Traukos automato veikimą valdo jo kompiuteris, į jį siunčiami signalai iš kitų sistemų. AT kompiuteris apdoroja gautus signalus ir valdo elektromechaninius degalų tiekimo servomechanizmus. Servomechanizmai lynais valdo variklių svirtis, kiekvienas variklis turi atskirą servomechanizmą. Svirtyse gali būti jų padėties davikliai, kurių signalai yra reikalingi kitoms sistemoms, pavyzdžiui, skrydžio duomenų registracijos aparatūrai.

Didėjant skrydžių greičiams ir lėktuvo plokštumas pradėjus valdyti elektromechaniniais bei

hidrauliniai jėgos stiprintuvais, pasiekti patenkinamą lėktuvo valdumą ir stabilumą tapo įmanoma tik FMS sudėtį papildžius naujais automatiniais įrenginiais. Taip atsirado ir pradėjo tobulėti tokios automatinės lėktuvo valdymo ir stabilumo gerinimo sistemos SAS (angl. Stability Augmentation System), kaip automatinis stabilizatoriaus valdymas, lėktuvo stabilizavimas atsižvelgiant į Macho greitį, lėktuvo stabilizavimas esant mažiems greičiams ir didelei variklių traukai, krypavimų slopinimas ir kt. Lėktuvo stabilumui gerinti plačiai naudojami automatiniai krypavimų slopinimo įrenginiai (slopintuvai). Krypavimų slopintuvai įstatomi į lėktuvo pokrypio, polinkio, o kai kada ir į posvyrio kanalus. Krypties vairu didesniuose lėktuvuose kurso kryptinėsimai slopinami, kai skrendant dėl oro „duobių“ po sparnais, dėl variklių traukos netolygumo ir dėl kitų veiksnių lėktuvas „krypuoja“ į šalis keliais laipsniais. Lakūnas negali pedalais kompensuoti (ką tu norima pasakyti?) krypavimų, nes jų per sekundę gali būti keli. Krypavimų slopintuvai automatiškai valdo krypties vairo plokštumą. Kai kuriuose lėktuvuose slopinamas ir polinkio, ir (arba) pokrypio krypavimas, tada tokie pat krypavimų slopintuvai automatiškai valdo aukščio ir (arba) krypties vairų plokštumas.

Pagrindiniai tokių slopintuvų elementai yra girokopiniai kampinio greičio davikliai su jų signalų stiprintuvais ir eleronų, krypties ar aukščio vairo valdymo mechanizmais. Lėktuvui kryptelėjus į kurią nors pusę, davikliuose atsiranda nuokrypos signalai, proporcingi polinkio, pokrypio ar posvyrio nuokrypos dydžiui ir greičiui. Jie stiprinami ir siunčiami į atitinkamų plokštumų valdymo mechanizmus.

Avionika. Ryšio ir skrydžio duomenų registratoriai

Ryšio duomenys yra lakūnų pokalbiai tarpusavyje, su palydovais, su antžeminėmis tarnybomis ir kabinos triukšmas (fonas).

Orlaivio variklio sūkių dažniai, variklio dujų temperatūra, vibracijų lygis, aerodinaminių plokštumų ir važiuoklės padėtys, degalų tiekimas, degalų, tepalo ir hidraulinio skysčio slėgis ir dar daug dešimčių kitų orlaivio sistemų veikimą apibūdinančių parametrų vadinami skrydžio duomenimis.

Ryšio ir skrydžio duomenys skrendant registruojami (kaupiami) duomenų registratoriuose.

Poreikis turėti duomenis apie orlaivių avarijų ir katastrofų priežastis iškilo nuo pat oreivystės pradžios. Apie 1940 m. pradėta juos kaupti skrendant, bet tuometinė technikos pažanga neleido sukurti registratorių, išsaugančių sukauptus duomenis orlaiviui sudužus nuo smūgio į žemę ir jam užsidegus. Tik 1958 m. ICAO išleido dokumentus apie pagrindinius reikalavimus registratoriams, kuriuos pramonė galėjo įvykdyti. Duomenų registratorius jau turėjo lėktuvai „Boeing 707“, „Douglas DC-8“, „Caravelle“. Jie neilgą laiką galėjo kaupti reikalingiausius duomenis – magnetinį kursą, skrydžio aukštį ir greitį, vertikalųjį pagreitį, laiką. Duomenys buvo įrašomi į varinę ar plieninę foliją, bet ir ji ne visada išlikdavo po katastrofų. Buvo gaminami ir kiti ICAO reikalavimų neatitinkantys registratoriai, pavyzdžiui, juose skrydžio aukštis ar vertikaliosios perkrovos buvo įrašomi adatėle braižant lėtai besisukantį suodžiais padengtą būgnelį. Prieš skrydį būgnelį reikėdavo aprūkyti virš liepsnos, kad jis pasidengtų suodžiais. Tokių pirmosios kartos registratorių dar iki šiol galima rasti aviacijos muziejuose.

Išradus naujus ryšio ir skrydžio parametrų registravimo būdus magnetinėse ir fotojuostose, registruojamų duomenų skaičius ir registravimo trukmė didėjo. Svarbiausia buvo išsaugoti įrašytą informaciją po avarijų ir katastrofų, kad būtų ištirtos jų priežastys. Kad informacija išliktų sudužus orlaiviui, magnetinę ar fotojuostelę įdėdavo į smūgiams, karščiui ir vandeniui atsparų konteinerį, tokie registratoriai vadinami avariniais. Juosteles juose traukia sudėtingi smūgiams atsparūs traukimo mechanizmai (25 pav.). Į mechanizmus juosteles įdėti ir iš jų išimti sudėtinga, konteinerius nuolat atidarinėti taip pat sudėtinga, todėl paplito tik magnetinis registravimo būdas. Fotojuostelėse informacijos galima sukaupti mažiau, negalima įrašyti kalbos, juosteles reikia išryškinti, ištrinti įrašytos informacijos ir vėl įrašyti naujos negalima. Magnetinė juostelė yra atspari

temperatūrai (įkaitusi iki 400 °C neišsimagnetina). Magnetinėje juostelėje vietoj ištrintos informacijos galima įrašyti naują, pavyzdžiui, juostelę traukiant į vieną pusę, informacija įrašoma viename juostelės krašte, o traukiant į kitą pusę – kitame krašte. Juostelė traukiama kelių centimetrų per sekundę greičiu. Daug magnetinės juostelės ir mechanizmą netelpa, todėl tokiuose registratoriuose išlieka tik paskutinių 30 skrydžio minučių informacija. Tokio įrašymo laiko beveik pakanka katastrofoms tirti.



25 pav. Juostos traukimo mechanizmas konteineryje

Labai sandariai uždaryti avarinių registratorių konteineriai atidaromi retai, tik atliekant techninės priežiūros darbus. Dėl to tikriausiai prigijo neoficialus pavadinimas „juodoji dėžė“, nors konteineriai nudažyti ryškia šviesiai raudona ar oranžine spalvomis. Atsiradu poreikiui analizuoti įrenginių veikimą ir lakūnų veiksmus po kiekvieno skrydžio, buvo pradėti gaminti eksploataciniai registratoriai.

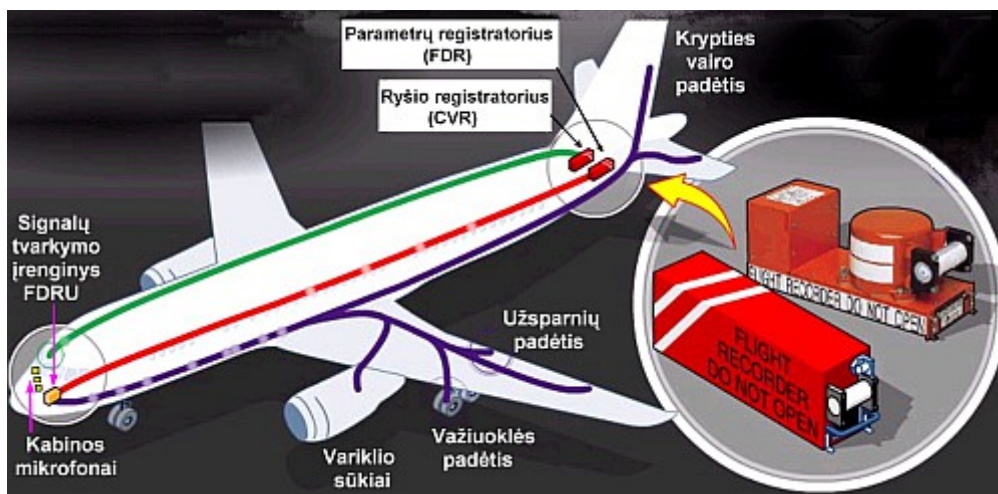
Jie neatsparūs smūgiams, liepsnai ir kitiems katastrofų veiksniams. Į juos įdedama kasetė, kurioje yra daugiau juostelės, todėl informaciją galima nepertraukiamai registruoti ne mažiau kaip 24 valandas. Kasetes galima išimti po kiekvieno skrydžio ir peržiūrėti (analizuoti) magnetinėje juostelėje sukaupią informaciją: patikrinti, kaip veikė orlaivio varikliai ir sistemos, kaip lakūnai valdė orlaivį ir kaip palaikė ryšį. Tai padeda surasti orlaivio gedimus ir išaiškinti neteisingus lakūnų veiksmus. Kalbą ir skrydžio duomenis magnetinėje juostelėje reikia įrašyti atskirai, nes jų signalų struktūros yra skirtingos. Taip nusistovėjo tradicija, įteisinta ICAO, gaminti dviejų rūšių informacijos registratorius – ryšio duomenų CVR (angl. Cockpit Voice Recorder) ir skrydžio duomenų FDR (angl. Flight Data Recorder). Gaminami ir universalieji FDR, kurie registruoja ir ryšio, ir skrydžio duomenis. Didesniuose orlaiviuose dažniausiai yra avariniai CVR ir universalieji FDR. Tokių antrosios kartos registratorių dar daug yra senesniuose orlaiviuose.

1965 m. pramonė pradėjo gaminti avarinius registratorius, kuriuose magnetinėje juostelėje sukaupia paskutinių 30 skrydžio minučių informacija išlikdavo po 1000 g smūgio jėgos į žemę ar jiems kelioms dešimtims minučių patekus į liepsną. Tačiau tokie reikalavimai buvo nepakankami, nes smūgis dažnai nuplėsdavo magnetines galvutes nuo jas laikančių varžtelių ir pažeisdavo magnetinę juostelę pačioje svarbiausioje vietoje, kur būdavo įrašyta paskutinių skrydžio sekundžių informacija. Norint atkurti paskutinius žodžių skiemenis ar paskutinius įrenginių parametrus, tekdavo suklijuoti juostelės skutelius ir naudoti labai sudėtingus signalų analizavimo įrenginius. Avarinių signalų analizavimo laboratorijos yra tik kelios visame pasaulyje.

Ryšio duomenų registratoriai atskirai (skirtinguose magnetinės juostos takeliuose) įrašo orlaivio vado pokalbius, antrojo lakūno pokalbius, orlaivio kabinos garsus (pokalbius su įėjusiu asmeniu ir triukšmus), nes joje įtaisytas mikrofonas, ir laiko signalus. Skrydžio duomenų registratoriai įrašo svarbiausių orlaivio sistemų, įrenginių ir orlaivio variklių parametrus ir laiko signalus. Parametrai įrašomi maždaug kas sekundę, greičiau kintantys įrašomi dažniau. Pagal įrašytus laiko signalus galima sugretinti skirtinguose registratoriuose įrašytus duomenis. Į magnetinę juostelę galima įrašyti beveik 100 parametrų. Signalus iš orlaivio įrenginių ir sistemų surenka, apdoroja ir paruošia įrašymui elektroninis blokas FDAU (angl. Flight Data Acquisition Unit), kuris yra registratoriaus sudėtyje (26 pav.). Įrašomi juostelėje parametrai yra dviejų rūšių – nuolatiniai signalai ir vienkartinės komandos.

Nuolatiniai signalai iš orlaivio įrenginių ir prietaisų įrašomi visą laiką, kol registratorius įjungtas. Vienkartinės komandos yra orlaivio įrenginių įjungimo signalai (pvz., autopilotas išjungtas, važiuoklė išleista) ir signalai, kurie atsiranda tik nenormaliai veikiant įrenginiams, esant neleistinoms perkrovoms ar lakūnams pavojingai valdant orlaivį.

Avariniai registratoriai orlaivyje dažniausiai yra uodegoje (26 pav.), nes ten didesnė tikimybė jiems išlikti nepažeistiems po avarių ar katastrofų. Didesniuose orlaiviuose gali būti keli vienodi registratoriai, tada didesnė tikimybė, kad vienas iš jų išliks po katastrofos.

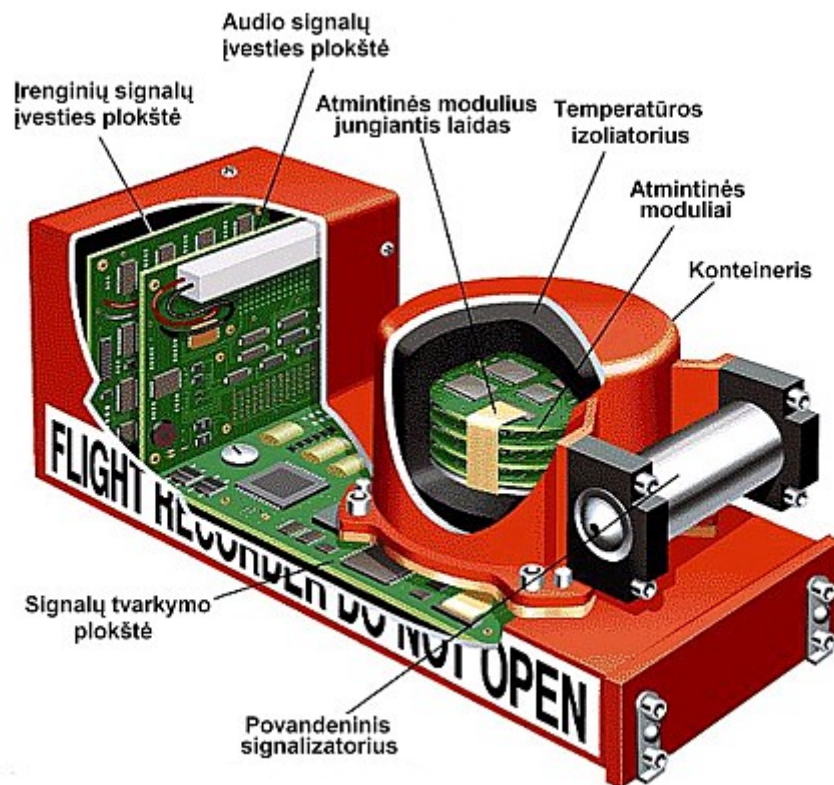


26 pav. Registratoriai lėktuve

Registratoriai orlaivyje įsijungia ir išsijungia automatiškai, pavyzdžiui, pastūmus bet kurio variklio paleidimo svirtį iš „Stop“ padėties arba padidėjus tepalo slėgiui bet kuriame variklyje jį paleidžiant. Prieš skrydį valdymo pulte reikia nustatyti skrydžio datą, numerį ir tikslų laiką. Avarijos atveju registratorių automatiškai išjungia inercinis išjungiklis, kuris suveikia nuo didelio smūgio orlaiviui atsitrenkus į žemę.

Kai po skrydžio orlaivis jau yra aikštelėje ir įjungti jo stovėjimo stabdžiai, visą ryšio informaciją galima ištrinti nuspaudus mygtuką valdymo pulte. Jei skrydžio metu buvo pastabų dėl ryšio, ištrinti tokią išlikusią informaciją draudžiama.

Registratorių juostos traukimo mechanizmai dideli ir sunkūs, jiems reikia nuolatinės techninės priežiūros, magnetinė juostelė, esant didesniems orlaivio smūgiams į žemę ar ilgiau degant, suyra. Nuo 1990 m. pradėti gaminti trečiosios kartos registratoriai (27 pav.), kuriuose ryšio ir skrydžio duomenys kaupiami grandynuose (mikroschemose). Jiems nereikia nuolatinės techninės priežiūros, o sukauptą informaciją greitai ir patogiai galima perrašyti į antžeminę aparatūrą, nes juostelės nebereikia išimti iš kaupiklio.



27 pav. Ryšio ir skrydžio duomenų registratorius

Nuo 1995 m. pradėjus gaminti didelės atmintinės talpos grandynus, avarinės informacijos registravimo laikas nuo 30 min. padidintas iki 2 valandų. Jie gali registruoti visus (kelis tūkstančius) didelio orlaivio skrydžio ir ryšio duomenis, nedidinant avarinio konteinerio matmenų. Konteinerių atsparumas smūgiams padidintas iki 3400 g, jie nesugniūžta prislėgus juos 2 tonų svoriu iš bet kurios pusės. Konteineriai išlaiko 1100 °C temperatūrą 1 valandą, o po to dar 10 valandų – 260°C temperatūrą. Tai yra panašu į realias sąlygas orlaiviui degant ant žemės. Konteineris gaminamas iš titano ir padengiamas temperatūrai atsparia keramika (28 pav.). Ant keramikos užliejamas apsauginis sluoksnis, kuris deginant konteinerį virsta putomis, gerai apsaugančiomis konteineryje esančią informaciją nuo perkaitimo. Prie avarinio konteinerio tvirtinamas povandeninis signalizatorius: nukritus orlaiviui į vandenį, signalizatoriaus baterijos prisipildo vandens, atsiranda signalizatoriaus maitinimas ir jis pradeda siųsti akustinius 37,5 kHz signalus, kad pagal juos galima būtų po vandeniu surasti konteinerį. Signalizatorius gali veikti net 6 km gylyje maždaug mėnesį, signalas girdimas kelių kilometrų atstumu.



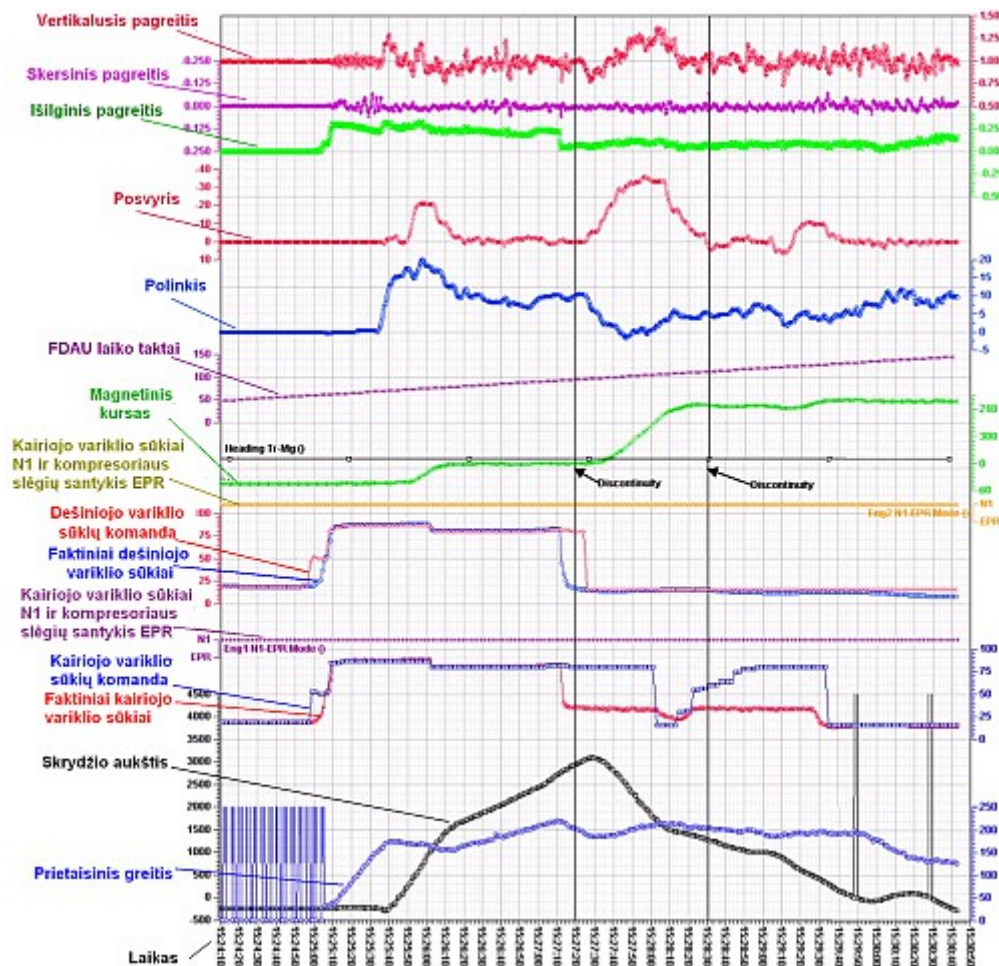
28 pav. Skrydžio duomenų registratoriaus konteineris

Orlaiviui dideliu greičiu atsitrenkus į žemę išlieka nepažeistas tik konteineris. Jis gali giliai įsmigti į žemę arba išmetamas iš orlaivio (29 pav.).



29 pav. Konteineris po avarijos

Po skrydžio kasetė su juostele išimama ir antžeminės tarnybos su specialia aparatūra joje sukauptą informaciją perrašo į kompiuterį. Atmintinėse įregistruota informacija orlaivyje tiesiogiai perrašoma į laikinąją atmintinę, o iš jos – į kompiuterį. Tada informacija peržiūrima (iššifruojama), naudojant specialią programinę įrangą. Kompiuterio ekrane skrydžio duomenys (variklio sūkių dažniai, vibracijų lygis, slėgiai sistemose, valdymo plokštumų padėtys ir dar kelios dešimtys kitų) rodomi skirtingų spalvų ir formų linijomis, rodoma laiko linija (30 pav.). Įrašytų duomenų reikšmės galima išmatuoti bazinės linijos atžvilgiu. Pagal įrašytus laiko signalus galima nustatyti, ką ir kada sakė lakūnai, kada ir kokio dydžio buvo parametrai, kada atsirado vienkartinės komandos.



30 pav. Įregistruoti įrenginių parametrai

Duomenų registratoriai tobulinami dviem kryptimis. Dideliems orlaiviams skirtuose registratoriuose greta skrydžio ir ryšio duomenų grandynų atmintinėje pradedama įrašyti salono vaizdo (video) informacija ir įėjimo į lakūnų kabiną vaizdas. Atsiranda registratorių, kurie skirti mažesniems orlaiviams, tokių anksčiau nebuvo. Šiuose orlaiviuose reikia įrašyti tik keletą skrydžio duomenų ir nėra tokių didelių reikalavimų informacijos apsaugai nuo smūgių ir temperatūros, todėl jie yra maži, lengvi ir pigesni.