BRONIUS MERKYS

ORLAIVIŲ KONSTRUKCIJOS

Projekto kodas
VP1-2.2-ŠMM 07-K-01-023

Studijų programų atnaujinimas pagal ES reikalavimus, gerinant studijų kokybę ir taikant inovatyvius studijų metodus

Vilnius „Technika“ 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Bronius MERKYS

ORLAIVIŲ KONSTRUKCIJOS

Mokomoji knyga

MOKSLAS • EKONOMIKA • SANGLAUDA
EUROPOS SĄJUNGA
EUROPOS SOCIALINIS FONDAS
Kuriame Lietuvos ateitį

Vilnius „Technika" 2012

B. Merkys. Orlaivių konstrukcijos: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2012, 145 p. [3,78 aut. l. 2012 06 14]

Knygoje išnagrinėtos šiuolaikinių orlaivių konstrukcijos, apžvelgta konstrukcijų raida. Ji skirta studentams studijuojantiems aeronautikos mokslo krypties, aeronautikos inžinerijos sritį. Bakalauro studijų programas studijuojantiems studentams knyga gali būti naudojama kaip „Orlaivių konstrukcijų pagrindų“ modulio studijų vadovėlis. Taip pat ji galėtų būti naudinga visiems besidomintiems orlaivių konstrukcijomis.

Leidinį rekomendavo VGTU Antano Gustaičio aviacijos instituto studijų komitetas

Recenzavo: Kęstutis Leonavičius, Aviacinės mechanikos katedra
prof. habil. dr. Eugenijus Pileckas, Aviacijos prietaisų katedra

Leidinys parengtas ir išleistas už Europos struktūrinių fondų lėšas, jomis finansuojant VGTU Transporto inžinerijos, Biomechanikos ir Aviacinės mechanikos inžinerijos projektą „Studijų programų atnaujinimas pagal ES reikalavimus, gerinant studijų kokybę ir taikant inovatyvius studijų metodus“ pagal Lietuvos 2007–2013 m. Žmogiškųjų išteklių veiksmų programos 2 prioriteto „Mokymasis visą gyvenimą“ VP1-2.2-ŠMM-07-K priemonę „Studijų kokybės gerinimas, tarptautiškumo didinimas“. Projekto kodas Nr. VP1-2.2-ŠMM 07-K-01-023, finansavimo ir administravimo sutartis Nr. VP1-2.2-ŠMM-07-K-01-023.

VGTU leidyklos TECHNIKA 1345-S mokomosios
metodinės literatūros knyga
http://leidykla.vgtu.lt

Redaktorė *Ramutė Pinkevičienė*
Maketuotoja *Daiva Šepetauskaitė*

eISBN 978-609-457-223-4
doi:10.3846/1345-S

© Bronius Merkys, 2012
© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2012

TURINYS

Įvadas 5
1. Svarbiausios lėktuvo dalys ir sistemos 6
2. Sparnas 14
    2.1. Įvadas 14
    2.2. Sparno išorės forma 15
    2.3. Sparnų kiekis 22
    2.4. Kintamos geometrijos sparnai 24
    2.5. Sparną ir jo jėginius elementus veikiantys krūviai 28
3. Sparnų jėginės schemos 32
    3.1. Sparnų jėginių schemų palyginimas 43
4. Svarbiausi sparno konstrukcijos elementai 45
    4.1. Lonžeronai 47
    4.2. Išilginės sienelės 55
    4.3. Stringeriai 55
    4.4. Nerviūros 57
    4.5. Apsiuva 63
5. Liemuo 68
    5.1. Bendrosios žinios 68
    5.2. Geometriniai liemens parametrai 76
    5.3. Liemenį veikiantys krūviai 78
6. Liemens konstrukcija 81
    6.1. Liemens konstrukcijų (jėginių schemų) tipai. Jų panaudojimas, privalumai ir trūkumai. 81
    6.2. Liemens konstrukciniai elementai 93
    6.3. Liemens sekcijų jungimas tarpusavyje 102
7. Važiuoklė 104
    7.1. Važiuoklės paskirtis ir svarbiausi jai keliami reikalavimai 104
    7.2. Važiuoklę veikiantys krūviai 105
    7.3. Važiuoklių schemos 106
    7.4. Važiuoklių tipai 113
    7.5. Konstrukcinės važiuoklių schemos 121

8. Svarbiausi važiuoklės konstrukcijos elementai 133
8.1. Ratai 133
8.1.1. Stebulės 133
8.1.2. Padangos 135
8.2. Stabdžiai 137
8.3. Amortizatoriai 141
Literatūra 145

ĮVADAS

Šioje mokomojoje knygoje bandoma trumpai apžvelgti ir išnagrinėti lėktuvų konstrukcijas. Knyga skirta VGTU Aviacijos instituto studentams, studijuojantiems orlaivių konstrukcijas.

Labai svarbu, kad prieš pradėdami nagrinėti orlaivių konstrukcijas studentai jau būtų susipažinę su aerodinamikos, medžiagų mechanikos ir orlaivių stiprumo mokslais. Būtent šių mokslų žinios leidžia studentams nesunkiai perprasti konstrukcijų logiką.

Knygos pradžioje trumpai aptariamos svarbiausios orlaivio dalys ir sistemos. Tai būtina, nes toliau studijuojant orlaivių konstrukcijas svarbu vartoti vienodus terminus, į tuos terminus įdėti tą pačią prasmę.

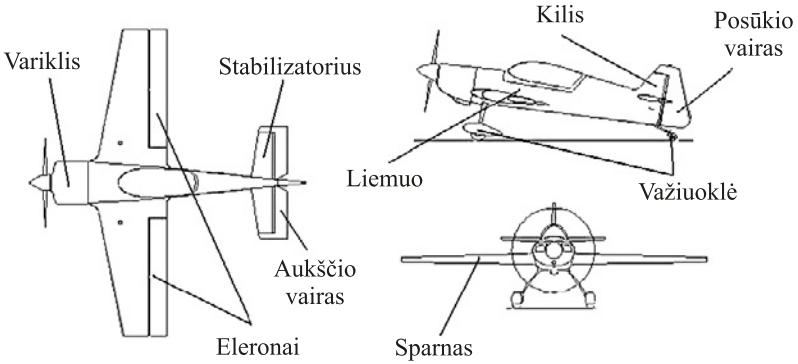
Pati orlaivių konstrukcija nagrinėjama kaip atskirų jų dalių konstrukcijos. Toks konstrukcijos studijų būdas pasirinktas neatsitiktinai, nes ne visų orlaivio dalių konstrukcijos vienodos, kiekviena jų turi savo ypatybių.

Nagrinėjant konstrukcijas ypatingas dėmesys skiriamas studento supratimui, kodėl naudojamos vienokios ar kitokios konstrukcijos, ugdyti.

1. SVARBIAUSIOS LĖKTUVO DALYS IR SISTEMOS

Lėktuvas sudarytas iš atskirų elementų, kurie dar vadinami agregatais. Svarbiausi lėktuvą sudarantys agregatai yra šie:

1. Liemuo.
2. Sparnas.
3. Stabilizatorius.
4. Kilis.
5. Vairai (aukštumos ir posūkio vairai, eleronai).
6. Važiuoklė.
7. Variklis (varikliai).



1 pav. Svarbiausios lėktuvo dalys

Kiekviename lėktuve yra įvairių sistemų:

1. Valdymo sistema.
2. Elektros sistema.
3. Oro sistema.
4. Hidraulinė sistema.
5. Degalų sistema.
6. Gyvybės palaikymo ir avarinio gelbėjimo sistemos.
7. Gaisro gesinimo sistema.
8. Pagalbinė jėgainė.
9. Priešledinė sistema.
10. Ginkluotės sistema (ši sistema yra tik kariniuose lėktuvuose).

Liemuo reikalingas tam, kad jame būtų galima sudėti krovinius, įkurdinti ekipažą, laikyti degalus, įtaisyti dalį sistemų. Kai kurie lėktuvai neturi aiškiai išreikšto liemens. Tai vadinamosios „skraidančio sparno schemos“ lėktuvai.

2 pav. JAV strateginis bombonešis B-2. Tai skraidančio sparno schemos lėktuvas, neturintis aiškiai išreikšto liemens

Visada stengiamasi, kad liemuo būtų kuo lengvesnis ir aptakesnis. Tačiau yra ir lėktuvų su atvirais, ferminės konstrukcijos liemenimis. Tai lėtai skraidantys lėktuvai, kuriems ypač svarbi maža liemens masė, jo konstrukcijos paprastumas, o aerodinaminis pasipriešinimas nėra toks svarbus.

Sparnas. Jis sukelia skridimui reikalingą keliamąją jėgą. Dažnai sparne dar laikomi degalai, yra važiuoklė, kitos sistemos. Lėktuvų varikliai taip pat gali būti tvirtinami prie sparno. Vieną sparną turintis lėktuvas vadinamas monoplanu. Yra lėktuvų, turinčių du sparnus. Jie vadinami biplanais.

3 pav. Biplanas

Prie liemens pritvirtintas sparnas, neparemtas jokiais kitais agregatais, vadinamas laisvai nešančiu. Paremtas jėginiais spyriais sparnas vadinamas spyriniu.

4 pav. Lėktuvas monoplanas su spyriniu sparnu

Sparnai dar klasifikuojami pagal daugelį požymių. Svarbiausi iš jų:

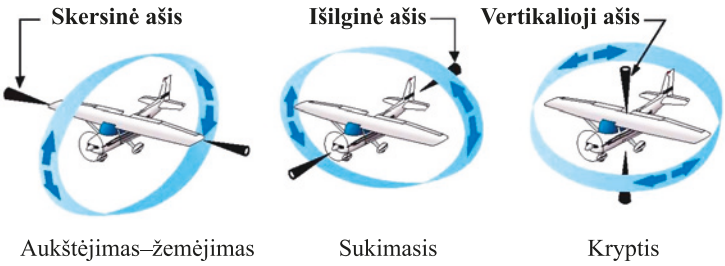
a. Sparnų kiekis;
b. Sparno forma plane;
c. Strėliškumas ir galimybė jį keisti;
d. Jėginė schema.

Stabilizatorius. Juo lėktuvas balansuojamas horizontalioje plokštumoje. Prie stabilizatoriaus tvirtinamas aukštumos vairas. Kartais lankstomas visas stabilizatorius. Tuomet jis atlieka ir aukščio vairo funkcijas. Skraidančio sparno ir beuodegės schemų lėktuvai stabilizatoriaus neturi. Daugumos viršgarsinių lėktuvų stabilizatoriai naudojami lėktuvui valdyti apie išilginę ašį. Ši funkcija įjungiama, kai lėktuvas pasiekia viršgarsinį greitį. Eleronai tuomet automatiškai blokuojami, o toks stabilizatorius vadinamas diferencialiniu.

Kilis. Kilis – tai vertikali plokštuma, suteikianti lėktuvui krypties pastovumą. Prie kilio tvirtinamas posūkio vairas. Manevriniams lėktuvams skrendant dideliais atakos kampais, kilis patenka į liemens aerodinaminį šešėlį ir nebegali atlikti savo funkcijų. To išvengiama pastačius du kilius liemens kraštuose.

5 pav. Lėktuvas F-18 su dviem kiliais

Kad lėktuvo judėjimo nagrinėjimas būtų aiškesnis, įvedama su juo susieta koordinačių sistema. Jos pradžia eina per lėktuvo masės centrą. Sistema sudaryta iš trijų ašių: skersinės, išilginės ir vertikaliosios.



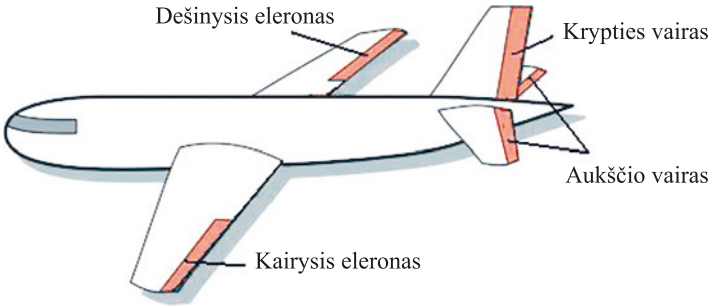
6 pav. Ašys, apie kurias sukasi lėktuvas

Skersinė ašis eina horizontaliai. Normalaus (be slydimo) skrydžio metu ši ašis yra statmena skridimo krypčiai. Sukant lėktuvą apie šią ašį, galima keisti jo skridimo aukštį.

Išilginė ašis eina išilgai lėktuvo. Normalaus skridimo metu ji sutampa su skridimo kryptimi. Lėktuvui sukantis apie šią ašį, kinta jo poskyris.

Vertikalioji ašis eina vertikaliai per lėktuvo masės centrą. Sukant lėktuvą apie šią ašį, keičiama jo skridimo kryptis.

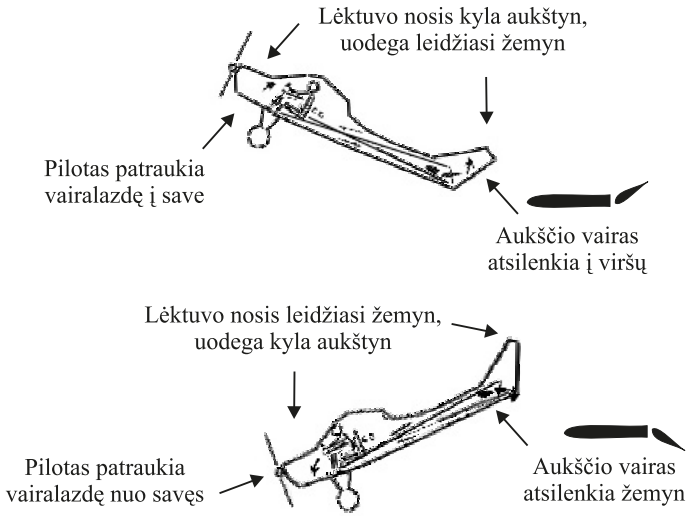
Vairai. Vairai – tai atlenkiamos plokštumos, kuriomis keičiama lėktuvo skrydžio trajektorija arba sukeliamas ir stabdomas jo sukimasis apie bet kurią ašį.



7 pav. Lėktuvo vairai

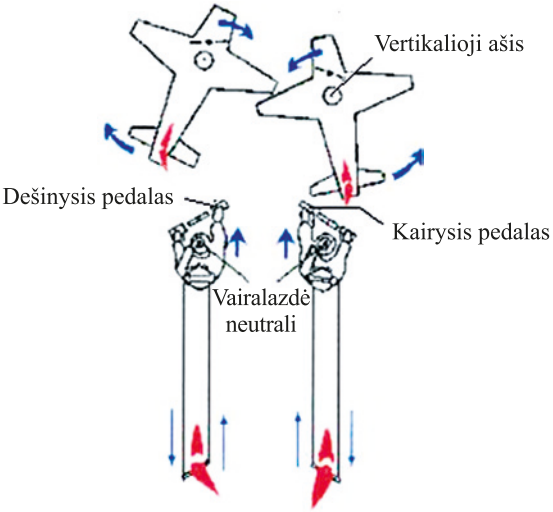
Lėktuvai turi šiuos vairus:

a. Aukščio vairą. Jis naudojamas lėktuvui valdyti ir balansuoti apie horizontalią skersinę ašį.



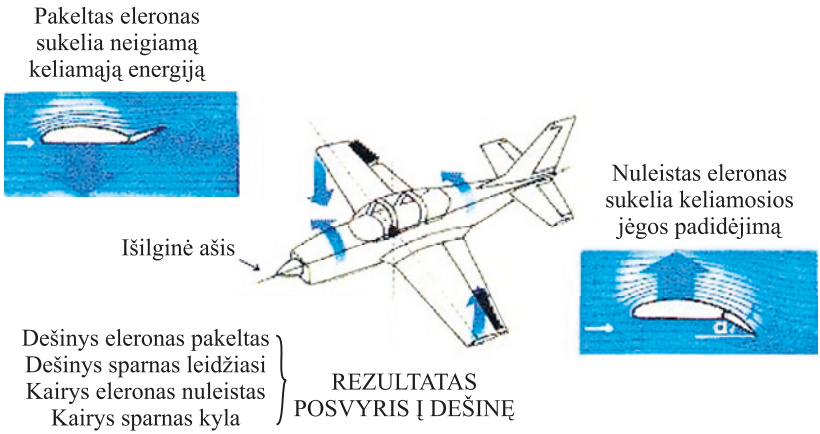
8 pav. Lėktuvo valdymas aukščio vairu

b. Krypties vairą. Šiuo vairu valdomas lėktuvo sukimasis apie vertikalią ašį.



9 pav. Lėktuvo valdymas krypties vairu

c. Eleronus. Jais lėktuvas valdomas apie išilginę ašį. Siekiant, kad eleronai veiktų veiksmingiau, jie išdėstomi sparno galuose.



10 pav. Lėktuvo posvyrio valdymas eleronais

Lėktuvuose taip pat instaliuojamos užsparnių, priešsparnių, spoilerių ir kitų aerodinaminių paviršių valdymo sistemos. Jos dar vadinamos pagalbinėmis (arba antrinėmis) valdymo sistemomis.

Važiuoklė. Reikalinga, kad lėktuvas galėtų judėti žeme, kilti ir leistis. Greitesni, skirti skristi didesniais greičiais bei nuotoliais, lėktuvai turi įtraukiamąją važiuoklę.

Variklis. Jis sukuria trauką, reikalingą oro pasipriešinimui nugalėti. Šiuolaikiniai lėktuvai turi nuo vieno iki aštuonių variklių.

Valdymo sistema. Ši sistema lakūno duodamas valdymo komandas perduoda vairams. Pati paprasčiausia – mechaninė valdymo sistema. Ji lakūno veikiamų valdymo rankenų judesį mechaniniais ryšiais perduoda vairams. Mechaninės valdymo sistemos naudojamos sąlyginai nedideliuose ir ne ypač dideliais greičiais skraidančiuose lėktuvuose. Didelių ar greitų lėktuvų vairams atlenkti žmogaus jėgos jau neužtenka, todėl juose naudojamos hidraulinės arba elektrinės valdymo sistemos. Naujausiems lėktuvams valdyti naudojamos skaitmeninės valdymo sistemos. Tuomet vairai lankstomi kompiuterio ap-

skaičiuotais kampais, atsižvelgiant į lakūno duodamas komandas ir skrydžio parametrus.

Elektros, oro ir hidraulinė sistemos – tai vadinamosios energetinės sistemos. Elektros sistema aprūpina visus vartotojus elektros energija. Suslėgtų skysčio ir dujų energija atitinkamai naudojamos hidraulinėje bei oro sistemose.

Degalų sistema aprūpina lėktuvo variklius degalais. Degalai saugomi bakuose, iš kurių vamzdynais patenka į variklius. Kad būtų galima šį degalų srautą valdyti, naudojami įvairūs vožtuvai, sklendės. Siurbliai pumpuoja degalus iš bakų į variklius. Aviaciniai varikliai jautrūs nešvarumams, todėl degalai filtruojami filtruose.

Šiuolaikiniai lėktuvai skraido itin aukštai. Ten nepalankios žmogui gyventi sąlygos (mažai deguonies, žemas slėgis, žema temperatūra). Gyvybės palaikymo sistema sukuria įgulai ir keleiviams patogias sąlygas. Dažnai ši sistema naudojama palankioms gyvybei sąlygoms palaikyti transportinių lėktuvų krovinių skyriuose, nes juose gali būti gabenami aplinkai jautrūs kroviniai, be to, įgulai dažnai reikia turėti sąlygas stebėti ir tikrinti krovinį. Avarinės gelbėjimo sistemos paskirtis – padėti įgulai saugiai palikti lėktuvą ištikus avarijai ore ir sugrąžinti ją į žemę. Keleivinių lėktuvų avarinė gelbėjimo sistema skirta greitai ir saugiai evakuoti keleivius ir įgulą iš žemėje esančio, avariją patyrusio lėktuvo.

Gaisro gesinimo sistema montuojama daugelyje lėktuvų. Ji turi nuslopinti ir užgesinti lėktuve kilusį gaisrą tiek ore, tiek žemėje.

Pagalbinė jėgainė aprūpina lėktuvą energija, reikalinga jo sistemų darbui, kai dėl kurių nors priežasčių neveikia pagrindinis lėktuvo variklis (varikliai), o prisijungti prie antžeminių energijos šaltinių neįmanoma.

Skrendant patekus į nepalankias meteorologines sąlygas, ant lėktuvo išorinių paviršių gali susidaryti ledo sluoksnis, keičiantis lėktuvo aerodinamines savybes, padidinantis jo masę. Priešledėjimo sistema padeda išvengti šio reiškinio, neleisdama susidaryti ledui ant lėktuvo paviršių arba pašalindama jau susidariusį ledą.

Kariniai lėktuvai turi įvairias ginkluotės sistemas, skirtas priešui pulti ir apsiginti nuo jo puolimo.

2. SPARNAS

2.1. Įvadas

Sparnas – viena svarbiausių lėktuvo dalių. Jis kuria keliamąją jėgą, būtiną atsverti sunkio jėgai ir inercinėms jėgoms, kai lėktuvas atlieka manevrus. Sparnas taip pat reikalingas lėktuvo skersiniam pastovumui ir pavaldumui palaikyti. Beuodegės schemos lėktuvuose sparnas taip pat palaiko išilginį pastovumą ir pavaldumą. Be to, prie sparno tvirtinami eleronai ir sparno mechanizacijos įrenginiai (užsparniai, priešsparniai, spoileriai, interceptoriai). Prie sparno gali būti tvirtinami varikliai, važiuoklė, ginkluotė. Vidiniai sparno tūriai naudojami degalams laikyti, kai kurioms sistemoms ir jų elementams įrengti.

Sparno masė gali sudaryti daugiau nei 20 % visos orlaivio sklandmens masės, o aerodinaminis pasipriešinimas – iki 50 % viso orlaivio pasipriešinimo.

Sparno forma ir konstrukcija turi tenkinti įvairius specifinius reikalavimus. Juos galima suskirstyti į keletą grupių:

A. Aerodinaminiai reikalavimai:

1. Sparnas turi kurti didelę keliamąją jėgą su mažiausiu pasipriešinimu (mažiausias pasipriešinimas ypač svarbus kreiseriniams skrydžio režimams).
2. Jis turi būti itin kokybiškas kreiseriniais režimais.
3. Sparnas turi leisti pasiekti reikiamas pastovumo ir pavaldumo charakteristikas.

B. Konstrukciniai reikalavimai:

1. Pakankamas sparno standumas ir stiprumas, esant mažiausiai masei.
2. Krūviai iki eksploatacinių dydžių neturi sukelti liekamųjų deformacijų.
3. Sparno deformacijos turi kuo mažiau veikti jo ir viso lėktuvo aerodinamines charakteristikas.
4. Turi būti tinkamas jėginis ryšys tarp sparno ir kitų orlaivio agregatų (liemens, uodegos, važiuoklės, variklių).

5. Sparno konstrukcija turi turėti geras pasipriešinimo nuovargiui charakteristikas.
6. Sparne turi būti pakankamai laisvų ertmių degalams laikyti, įrangai ar agregatams (varikliams, važiuoklei) įtaisyti.

C. Technologiniai reikalavimai:

1. Sparną turi būti nesunku pagaminti. Gamybos darbo imlumas turi būti mažiausias.
2. Turi būti numatyta galimybė plačiai panaudoti unifikuotus ir standartinius konstrukcijos elementus.
3. Sparno viduje esantys agregatai, mazgai ir sistemos turi būti patogiai montuojami.

D. Eksploataciniai reikalavimai:

1. Visus sparne esančius agregatus ir įrenginius turi būti patogu tikrinti, prižiūrėti ir remontuoti. Šis reikalavimas galioja ir paties sparno konstrukcijos elementams.
2. Turi būti pasiektas kuo aukštesnis sparno elementų pakeičiamumo laipsnis.
3. Sparno konstrukcija turi būti gyvybinga, esant tam tikram reglamentuotam pažeidimų laipsniui.

Atidžiau paanalizavę šiuos reikalavimus, pamatytume, kad didžioji jų dalis yra tarpusavyje prieštaraujantys. Pavyzdžiui, dauguma reikalavimų prieštarauja mažiausios masės siekiui. Todėl šių reikalavimų tarpusavio suderinimas labai priklauso nuo konkretaus orlaivio tipo.

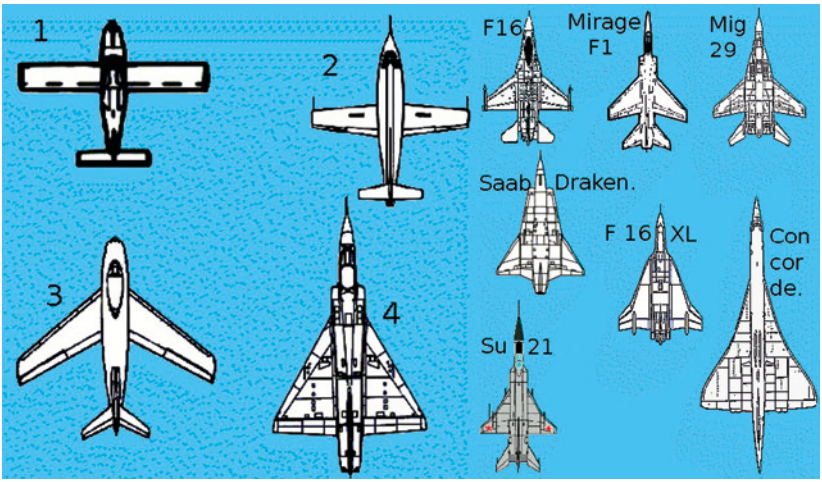
2.2. Sparno išorės forma

Ji suprantama kaip sparno forma žiūrint iš viršaus (plano forma) ir iš priekio bei kaip pjūvio, lygiagretaus sparno simetrijos ašiai forma. Ji vadinama sparno profiliu.

Sparno forma žiūrint iš viršaus būna labai įvairi. Tačiau galima paminėti keletą paprasčiausių formų. Tai stačiakampis, elipsės formos, trapecinis, trikampis.

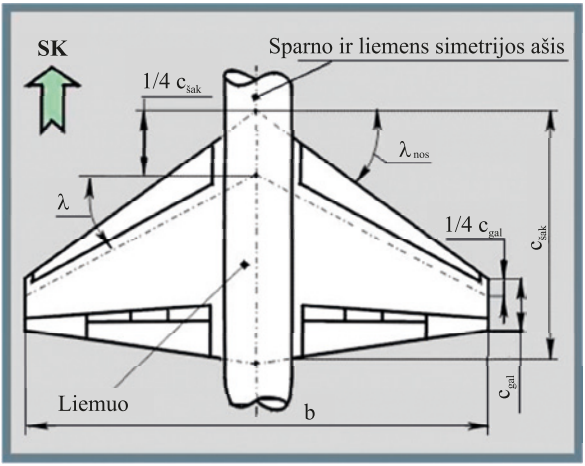
11 pav. Pagrindinės sparno formos žvelgiant iš viršaus

Visos kitos sparno formos žiūrint iš viršaus sudarytos iš pagrindinių formų kombinacijų.



12 pav. Sparnų formų pavyzdžiai

Sparno formą žvelgiant iš viršaus apibūdina jo proilgis A, susiaurėjimas λ, strėliškumo kampas Λ, mojis b, plotas S. Šie parametrai vadinami geometriniais sparno parametrais.



13 pav. Sparno geometriniai parametrai

1. Sparno mojis b. Tai atstumas tarp sparno galų, išmatuotas statmenai sparno simetrijos ašiai.

2. Sparno proilgis A. Tai sparno mojo kvadrato ir sparno ploto S santykis:

$$A=b^2/S$$

3. Sparno susiaurėjimas „λ“. Tai jo šaknies stygos $b_{šak}$ santykis su galo styga b_{gal}.

$$\lambda= c_{šak} / c_{gal}$$

Stačiakampio sparno susiaurėjimas λ=1.

4. Sparno strėliškumas. Jis apibrėžiamas kampu „Λ“. Strėliškumo kampas aerodinamikoje paprastai suvokiamas kaip kampas tarp statmens sparno simetrijos plokštumai ir linijos, jungiančios taškus, esančius ketvirtyje stygos (0,25 c). Stačiakampio sparno strėliškumas visuomet bus lygus nuliui, t. y. šis sparnas nestrėliškas. Kartais sparno strėliškumas nurodomas matuojant kampą tarp jo priekinės briaunos ir statmens simetrijos ašiai arba tarp jo galinės briaunos ir statmens simetrijos ašiai. Tokiu atveju papildomai nurodoma, kad strėliškumas matuotas pagal priekinę ar galinę briaunas. Sparno strėliškumas gali būti tiek teigiamas (kartais dar vadinamas tiesioginiu strėliškumu), tiek neigiamas. Pastaruoju atveju sakoma, kad sparnas turi atvirkščią strėliškumą. Siekiant praplėsti greičių diapazoną, kuriame sparnas dirba veiksmingiausiai, naudojamas kintamas strėliškumas.

Dauguma lėktuvų sparnų žiūrint iš priekio turi kampą, kuris vadinamas sparno skersinio V kampu. Tai kampas tarp sparno stygų ir horizontalios plokštumų.

14 pav. Sparno V kampo atskaita

Šis kampas laikomas teigiamu, kai sparno galai pakelti aukštyn horizontalios plokštumos atžvilgiu. Esant žemyn nuleistiems sparno galams, kampas laikomas neigiamu.

15 pav. Lėktuvas „Lockheed F-104 Starfighter“. Šio lėktuvo sparnas turi neigiamą V kampą

Jei sparno V kampas nulinis, tai reiškia, kad sparno stygų plokštuma lygiagreti horizontaliai plokštumai. Nuo V kampo priklauso lėktuvo pastovumas ir pavaldumas išilginės ašies atžvilgiu. Jei sparno stygų plokštuma žvelgiant iš priekio sudaro tiesę, jis vadinamas sparnu, kurio V kampas lygus nuliui. Kai kuriuose orlaiviuose naudojami vadinamieji žuvėdros formos sparnai. Tai sparnai, kurių kiekviena pusė žvelgiant iš priekio turi lūžį. Kai sparno lūžis nukreiptas į viršų, jo forma laikoma „tiesiogine žuvėdros forma“. Į apačią nukreiptas lūžis reiškia „atvirkščios žuvėdros formą“.

16 pav. Lėktuvai amfibijos BE-12 (Rusija). Tai aukštasparniai laisvai nešantieji monoplanai, turintys tiesioginės žuvėdros formos sparnus žvelgiant iš priekio

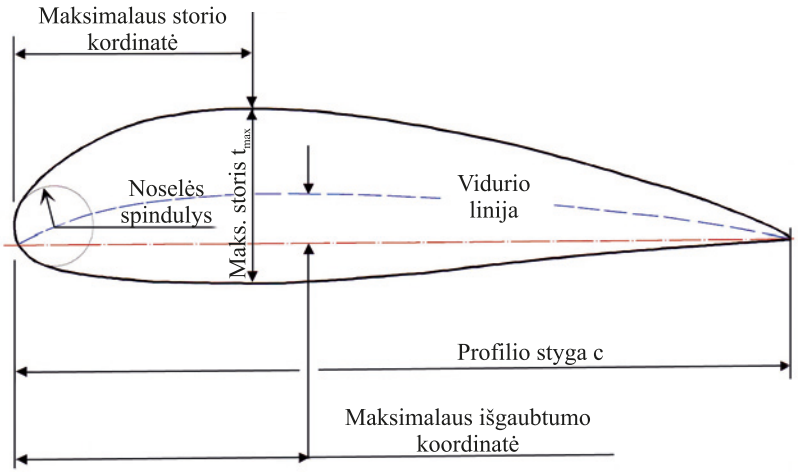
Apskritai lėktuvų sparnų formos žvelgiant iš priekio gali būti gana įvairios. Pavyzdžiui, projektuojamo lėktuvo „Stavatti SM-74“ sparnas žiūrint iš priekio turi lanko formos lūžį.

17 pav. „Stavatti SM-74“

Yra sukurta lėktuvų, kurių sparnas žiūrint iš priekio sudaro uždarą elipsę. Kuriant tokios formos sparną, siekta išvengti oro srauto pertekėjimo per jo galus nuostolių. Tokio tipo sparnus tyrinėjo daugelio šalių aerodinamikos specialistai, buvo sukurta ir skraidė keletas lėktuvų.

18 pav. Arkadijaus Nanuševičiaus iš Minsko (Baltarusija) sukurtas lėktuvas su elipsės formos sparnu žiūrint iš priekio

Sparno profilis – tai jo skerspjūvio forma, gauta kertant sparną jo stygų plokštumai statmena plokštuma, lygiagrečia sparno simetrijos ašiai.



19 pav. Profilio geometrinės charakteristikos

Profilius apibūdina šios geometrinės charakteristikos:

1. Styga. Tai tiesės atkarpa, jungianti du vienas nuo kito labiausiai nutolusius profilio taškus. Dažniausiai styga žymima raide „c“.

2. Profilio storis. Jis dažniausiai žymimas raide „t“. Parodo didžiausią profilio storį. Aerodinamikai labai svarbi santykinio profilio storio sąvoka, kuri suprantama kaip didžiausio storio santykis su styga:

$$t_{sant}=t_{max}/c$$

Kai profilio santykinis storis išreiškiamas procentais nuo stygos ilgio:

$$t_{sant}=(t_{max}/c)\ 100\ \%$$

Nuo profilio storio labai priklauso sparno pasipriešinimas. Mažinant storį, pasipriešinimas mažėja, tačiau kartu mažėja ir keliamoji jėga. Šiuolaikinių ikigarsinių lėktuvų sparnams naudojami profiliai, kurių t_{sant} = (10÷20) %. Viršgarsiniams lėktuvams naudojamų profilių t_{sant} = (2÷5) %.

3. Profilio gaubtumas. Tai didžiausias atstumas tarp jo vidurio linijos ir stygos. Žymimas raide „f“. Santykinis gaubtumas:

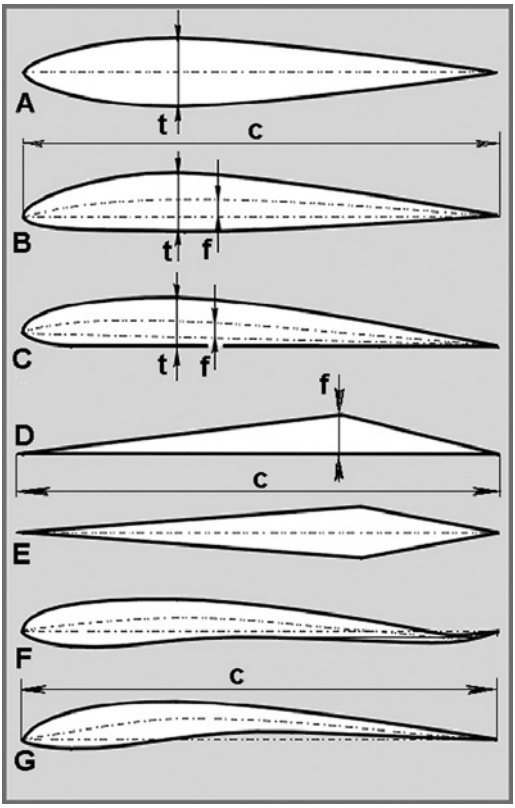
$$f_{sant}=f_{max}/c$$

Kai santykinį gaubtumą reikia išreikšti procentais:

$$f_{sant}=(f_{max}/c)\ 100\ \%$$

Nuo profilio gaubtumo priklauso didžiausio jo keliamosios jėgos koeficientas.

4. Profilio vidurio linija. Tai kreivė, gauta sujungus taškus, vienodai nutolusius nuo viršutinio ir apatinio profilio kontūro linijų.



20 pav. Sparnų profilių formos

2.3. Sparnų kiekis

Orlaivis gali turėti tiek vieną, tiek keletą sparnų. Vieną sparną turintis lėktuvas vadinamas monoplanu, du – biplanu, tris – triplanu, keturis – ketursparniu ir t. t.

21 pav. Ore biplanai R.A.F.SE5

22 pav. Triplanas „Fokker DR-1“

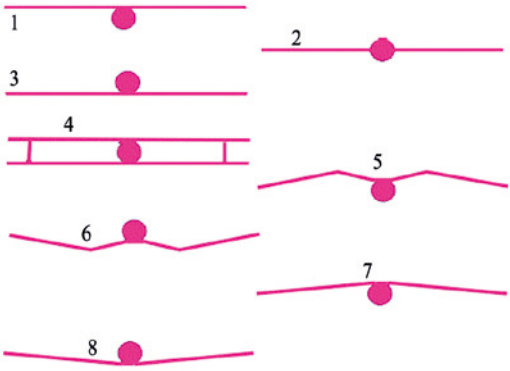
Daugiau kaip vieną sparną turintis lėktuvas yra kompaktiškesnis nes, esant vienodam sparno plotui ir stygai, monoplano sparnas, palyginti su biplanu, bus ilgesnis (jo mojis bus didesnis). Naudojant erdvinio

rėmo konstrukciją, biplano ar triplano sparno masė bendruoju atveju bus mažesnė nei tokį pat krūvį išlaikančio monoplano masė. Tačiau dėl neigiamos aerodinaminės sparnų tarpusavio įtakos biplano keliamoji jėga bus mažesnė nei tokio pat ploto monoplano sparno. Neigiamą sparnų įtaką vienas kitam galima šiek tiek sumažinti didinant atstumą tarp sparnų ir pastumiant vieną sparną kito atžvilgiu (naudingiausia viršuje esantį sparną pastumti į priekį apatinio atžvilgiu).

Be to, biplano tipo sparnas turi keturis galus. Kadangi sparno galas sukelia aerodinaminius nuostolius dėl aukštesnio slėgio oro pratekėjimo į žemesnio slėgio zoną (pertekėjimas iš sparno apačios į viršų), jo nuostoliai dėl tokio pratekėjimo bus dvigubai didesni nei monoplano.

Taigi apibendrinant galima teigti, kad konstrukcijos masės atžvilgiu didesnis sparnų kiekis gali būti naudingas, tačiau aerodinaminiu požiūriu jis visuomet bus blogesnis nei vienas (monoplano tipo) sparnas.

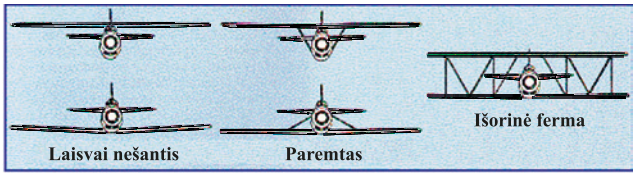
Sparnas gali būti tvirtinamas liemens viršuje, viduryje ar apačioje. Atitinkamai lėktuvas vadinsis aukštasparnis, vidursparnis ar žemasparnis.



23 pav. Sparnų formos žvelgiant iš priekio:
1 – aukštasparnis tiesaus sparno monoplanas;
2 – vidursparnis tiesaus sparno monoplanas;
3 – žemasparnis tiesaus sparno monoplanas;
4 – biplanas, abu sparnai tiesūs;
5 – aukštasparnis tiesioginės žuvėdros formos monoplanas;
6 – žemasparnis atvirkščios žuvėdros formos monoplanas;
7 – aukštasparnis atvirkščios V formos monoplanas;
8 – žemasparnis teigiamosV formos monoplanas.

Prie liemens sparnas dažniausiai tvirtinamas su pradiniu kampu. Jis vadinamas sparno pastatymo kampu. Jis suprantamas kaip kampas tarp sparno centrinės stygos ir bazinės liemens ašies. Liemens bazinė ašis vadinama liemens statybine horizontale, nes ji labai svarbi tiek nustatant liemens geometriją, tiek bazuojant liemenį (ir visą lėktuvą) gamybos ir eksploatacijos metu.

Sparnas, pritvirtintas prie liemens nenaudojant jokių spyrių, vadinamas laisvai nešančiu.



24 pav. Laisvai nešančiojo ir paremto sparnų pavyzdžiai

Kai tvirtinant prie liemens sparnas paremiamas spyriais, jis vadinamas paremtu. Spyriais sparną paremti galima tiek iš viršaus, tiek iš apačios. Biplanų ir kitų lėktuvų, turinčių daugiau nei vieną sparną, sparnai dažniausiai tvirtinami naudojant išorinį rėmą (fermą). Šis tvirtinimo būdas dar vadinamas biplanine dėžute.

2.4. Kintamos geometrijos sparnai

Šiuolaikiniai lėktuvai skraido ir dideliais, ir mažais greičiais. Problema ta, jog lėktuvo, skraidančio dideliais viršgarsiniais greičiais, sparnas turi būti kitoks nei sąlyginai lėtai skrendančio lėktuvo. Dėl to viršgarsiniam skrydžiui suprojektuotą sparną turinčio lėktuvo sparnas tūpimo ir kilimo režimu dirba neveiksmingai ir jo kilimo bei tūpimo greičiai yra dideli, blogos pastovumo pavaldumo charakteristikos. Viena iš išeičių – sparno geometriją pritaikyti pagal lėktuvo skrydžio režimą. Yra keli būdai tai padaryti:

A. Keisti sparno profilį;

B. Keisti sparno plotą;

C. Keisti sparno strėliškumą;

D. Derinti kelis ar visus aukščiau išvardytus sparno geometrijos keitimo būdus.

A. Sparno profilio keitimas

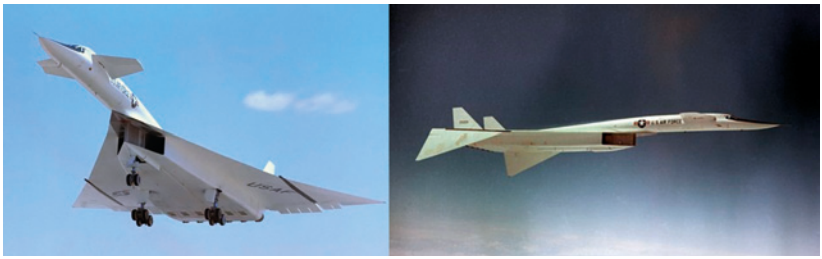
Skrendant viršgarsiniais greičiais tinkamiausias kampuotas labai plonas sparno profilis. Tokį prifilį turintis sparnas pasižymi nedideliu banginiu pasipriešinimu. Tačiau skrendant ikigarsiniais greičiais reikalingas visiškai kitos profilis be aštrių briaunų. Mažiems ikigarsiniams greičiams labiausiai tinka santykinai storas, dideliu spinduliu užapvalinta priekine briauna profilis. Toks profilis netinkamas, kai reikia pasiekti didelius ikigarsinius greičius. Todėl aviacijos istorijoje žinoma keletas bandymų sukurti sparną su adaptyviniu (prisitaikančiu prie skrydžio režimo) profiliu. NASA (JAV) praėjusio amžiaus 7-ajame dešimtmetyje tokio sparno sukūrimo galimybes ir problemas nagrinėjo naudodama specialią skraidančiąją laboratoriją, sukurtą panaudojant lėktuvą F-111. Bandymų kintamo profilio sparną įdiegti serijiniuose lėktuvuose nebuvo.

B. Sparno ploto keitimas

Kadangi sparno kuriama keliamoji jėga tiesiog proporcinga skridimo greičio kvadratui, norint pasiekti mažą tūpimo ir kilimo greitį, reikalingas didelio ploto sparnas, tuo tarpu skrendant dideliu greičiu toks sparnas turi ploto perteklių (pastarasis sukelia tik nereikalingą didelį pasipriešinimą). Todėl aviacijos istorijoje buvo bandymų sparno plotą keisti atsižvelgiant į skrydžio greitį. Buvo sukurta keletas lėktuvų, kurių sparno galas teleskopiškai įtraukiamas į centrinę sparno dalį. Įtraukimo laipsnis keisdavosi pagal tai, koks buvo skrydžio greitis. Tačiau tokia konstrukcija pasirodė neracionali.

Taip pat bandyta, pasiekus didesnius skrydžio greičius, dalį sparno atlenkti aukštyn ar žemyn. Šiuo atveju svarbiausias ne sparno ploto, o jo proilgio sumažinimas bei galimybė pakeisti sparno vidutinės aerodinaminės stygos padėtį. Toks sparno ploto keitimo būdas naudotas JAV eksperimentiniame strateginiame bombonešyje „XB-70 Valkyrie“. Žemyn atlenkus šio bombonešio trikampio sparno galus, sumažėja sparno plotas, o vidutinė aerodinaminė styga sutrumpėja ir pasislenka į priekį. Kadangi pasiekus viršgarsinį greitį sparno slėgio centras šuoliu pasislenka atgal, tai toks vidutinės aerodinaminės stygos ilgio ir padėties pokytis kompensuoja šio poslinkio sukeltą pikiravimo momento pokytį. Be to, žemyn atlenkus sparno galus, sumažėja

lėktuvo pokrypio pastovumas, kuris skrendant dideliais greičiais taip pat būna per didelis.

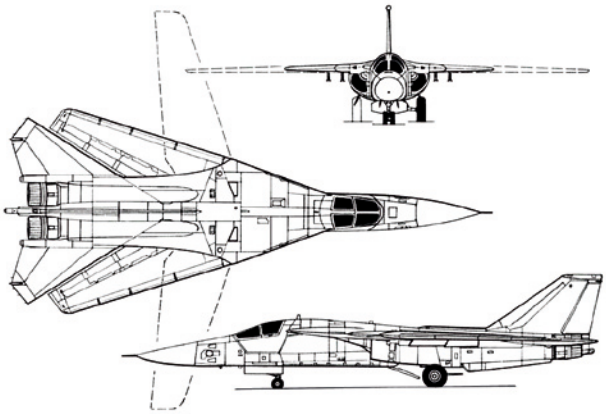


a. b.

25 pav. Eksperimentinis strateginis bombonešis „North American XB-70 Valkyrie“ esant tūpimo konfigūracijai (a.), kai jo sparno galai horizontalūs, ir esant viršgarsinio skrydžio konfigūracijai (b.). Tuomet jo sparno galai nulenkiami žemyn

C. Sparno strėliškumo keitimas

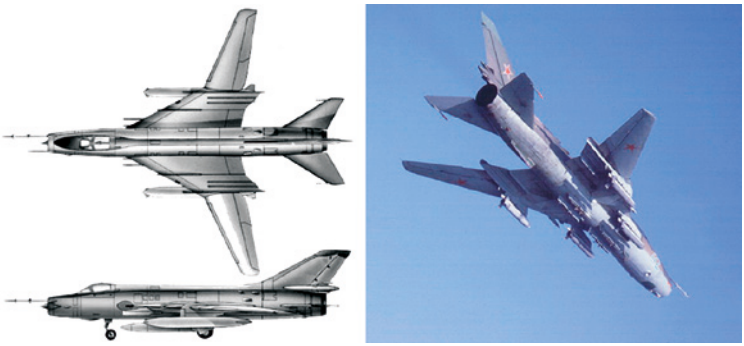
Tai labiausiai paplitęs sparno geometrijos keitimo būdas. Pirmasis serijinis lėktuvas su kintamo strėliškumo sparnu buvo JAV sukurtas „General Dynamics F-111“. Pirmasis jo skrydis įvyko 1964 m. gruodį ir tik 2010 m. pradėta jo atsisakyti tarnyboje KOP.



26 pav. Lėktuvo „General Dynamics F-111“ schema. Žvelgiant iš viršaus punktyrine linija parodyta sparno padėtis, esant kilimo ir tūpimo bei skrydžio mažais greičiais konfigūracijai

Mažo strėliškumo sparnas leidžia pasiekti geras charakteristikas skrendant nedideliais greičiais. Didėjant skrydžio greičiui palaipsniui didinamas ir lėktuvo sparno strėliškumas. Didelio strėliškumo sparnas tinkamiausias skrendant dideliais viršgarsiniais greičiais.

Galima keisti ne tik didžiosios sparno dalies strėliškumą, kaip tai daroma F-111, bet lankstyti tik sparno galus, kaip tai daroma atakos lėktuve SU-17 (Rusija).



a. b.

27 pav. Lėktuvas SU-17 (Rusija), esant kilimo ir tūpimo konfigūracijai (a.) bei didelio greičio konfigūracijai (b.). Šio lėktuvo sparno centrinės dalies strėliškumas nekeičiamas. Pasukami tik sąlyginai nedideli sparno galai

Tokio sparno strėliškumo keitimo būdo privalumas – lengvesnėmis sąlygomis dirbantis sparno pasukimo mazgas. Jis veikiamas mažesnių krūvių.

Įdomus sparno strėliškumo keitimo būdas panaudotas NASA sukurtame eksperimentiniame lėktuve AD-1. Jame pritaikytas ištisinis pasukamas sparnas.

a. b.

28 pav. NASA eksperimentinis lėktuvas AD-1 skrenda su tiesiu sparnu (a.) ir tas pats lėktuvas skrydžio metu su pasuktu sparnu (b.)

Skrendant mažu greičiu sparnas stovi statmenai išilginei lėktuvo ašiai. Skrydžio greičiui didėjant, sparnas sukamas apie jo centre esantį pasukimo mazgą. Vienos sparno pusės strėliškumas didėja į teigiamą pusę, kitos – į neigiamą. Naudojant tokią schemą, paties sparno konstrukcija būna gana paprasta, išvengiama balansavimo apie skersinę ašį problemų, tačiau paties pasukimo mazgo konstrukcija gana sudėtinga, oro srautas lėktuvą apteka nesimetriškai, iškyla problemų balansuojant lėktuvą manevrų metu. Būtent siekiant išsiaiškinti iškylančias problemas ir jų sprendimo būdus vykdyta lėktuvo AD-1 kūrimo bei bandymų programa.

Bendruoju atveju galima teigti, jog keičiamo strėliškumo sparno panaudojimas tikslingas tik tuomet, kai dėl tokio konstrukcinio sprendimo pasiektas lėktuvo charakteristikų pagerėjimas kompensuoja jo konstrukcijos masės prieaugį, sudėtingesnę konstrukciją ir eksploataciją.

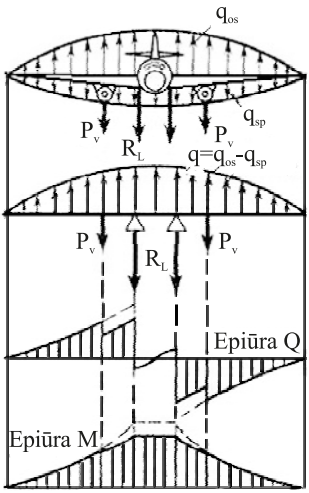
D. Įvairių sparno geometrijos keitimo būdų derinimas

Iš principo įmanoma sparno geometriją iškart keisti keliais iš išvardytų būdų. Kol kas serijiniuose lėktuvuose toks sparno geometrijos keitimo būdas netaikomas, tačiau teoriškai nagrinėjamos jo galimybės, privalumai ir trūkumai.

2.5. Sparną ir jo jėginius elementus veikiantys krūviai

Skrydžio metu sparną veikia aerodinaminės ir masinės inercinės jėgos. Aerodinaminės jėgos kyla oro srautui aptekant sparną. Masinės inercinės jėgos – tai paties sparno ir jame sumontuotų bei prie jo pritvirtintų elementų masės ir inercinės jėgos, kylančios nuo tų masių lėktuvui judant su pagreičiu. Jei važiuoklė tvirtinama prie sparno, judėjimo žeme, kilimo ir tūpimo metu jį veikia žemės reakcijos jėgos.

Išnagrinėsime laisvai nešantį monoplano tipo sparną veikiančius krūvius. Prie šio sparno tvirtinami varikliai.



29 pav. Laisvai nešantį sparną, prie kurio prikabinti du varikliai, veikiantys krūviai ir jų sukeltų reakcijų epiūros

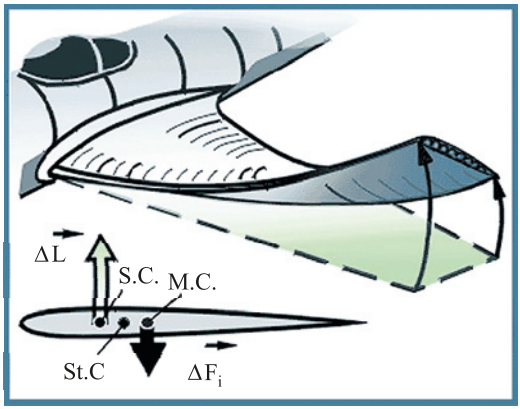
Aerodinaminiai krūviai. Aerodinaminės jėgos pasiskirsčiusios po visą sparno paviršių (tiek viršutinį, tiek apatinį).Išskirstytą po visus paviršius aerodinaminę jėgą galima įsivaizduoti kaip aerodinaminių jėgų atstojamųjų pasiskirstymą per visą sparno mojį. Savo ruožtu aerodinaminė jėga gali būti išskirstyta į dvi dedamąsias: pasipriešinimo ir keliamosios jėgų. Kadangi didžiausią įtaką sparno stiprumui turi keliamoji jėga, tai nagrinėsime tik jos įtaką sparną veikiančioms jėgoms. Aerodinaminį krūvį galima įsivaizduoti kaip išskirstytą krūvį q_{os}.

Masiniai inerciniai krūviai q_{sp} irgi pasiskirstę tolygiai proporcingai sparno elementų masėms ir skrydžio metu veikiančioms perkrovoms. Krūvių q_{os} ir q_{sp} algebrinė suma ir sudarys tolygiai išskirstytą sparno apkrovą q. Be jos, variklių pakabinimo vietose sparną veikia jų reakcijos jėgos P_v, lygios variklių masei, padaugintai iš tuo metu veikiančios perkrovos.

Sparno ir liemens tarpusavio sąveikos sukeltos reakcijos jėgos pažymėtos R_L.

Iliustracijos apačioje parodytos skersinės jėgos Q, sukeliančios sparno kirpimą ir lenkimo momento M pasiskirstymų epiūros tokio tipo sparnui.

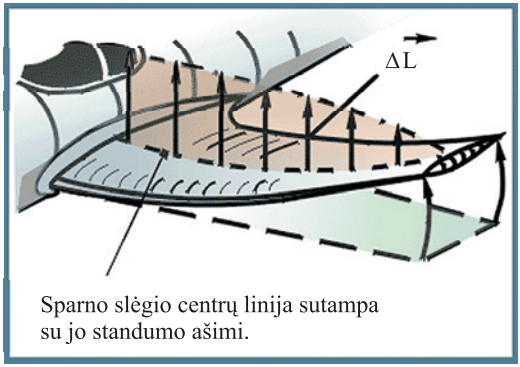
Priklausomai nuo sparną veikiančių aerodinaminių jėgų pridėjimo taško (slėgio centro arba sutrumpintai – S.C.), sparno standumo centro (sutrumpintai – St.C) ir jo masės centro (sutrumpintai – M.C.) tarpusavio padėties keisis jo deformacijos vertikalioje plokštumoje. Išnagrinėsime atvejį, kai slėgio centras standumo centro atžvilgiu bus pasislinkęs arčiau noselės, masės centras – už standumo centro uodegėlės link. Lėktuvas skrenda su teigiama perkrova. Aerodinaminės keliamosios jėgos L veikiamas sparnas ims linkti į viršų. Kadangi slėgio centras nesutampa su standumo centru, sparnas susisuks. Nagrinėjamu atveju sparno susukimas bus pagal laikrodžio rodyklę (žiūrint nuo kairiojo sparno galo liemens link) ir sukels atakos kampo padidėjimą. Atakos kampo prieaugis sukels keliamosios jėgos prieaugį ΔL, dėl to sparno išlinkimas bei susukimas dar padidės. Be to, sparnui deformuojantis ir pradėjus linkti aukštyn, inercijos jėga, pridėta jo masės centre, veiks priešinga pagreičiui kryptimi.



30 pav. Sparno lenkimo ir sukimo susidarymas

Ši jėga sparno standumo centro atžvilgiu taip pat suks jį atakos kampo didėjimo kryptimi. Procesas sustos tik tuomet, kai deformacijos sukeltos sparną veikiančios tamprumo jėgos taps lygios aerodinaminių ir masių – inercinių jėgų sumai.

Kai sparną veikiančių aerodinaminių jėgų slėgio centrų linija sutampa su jo standumo ašimi, atliekant manevrą su teigiamu keliamosios jėgos prieaugiu ΔL, sparnas tik išlinks, bet nesusisuks. Tačiau dėl to jog keliamosios jėgos pridėjimo taškas (slėgio centras) priklauso ne tik nuo skrydžio greičio, bet ir nuo atakos kampo. Tampa akivaizdu, jog visuomet bus tokie skrydžio režimai, kurie sukels ne tik sparno lenkimą, bet ir sukimą.



31 pav. Sparno deformacija, kai jį sudarančių profilių slėgio centrų linija sutampa su jo standumo ašimi

3. SPARNŲ JĖGINĖS SCHEMOS

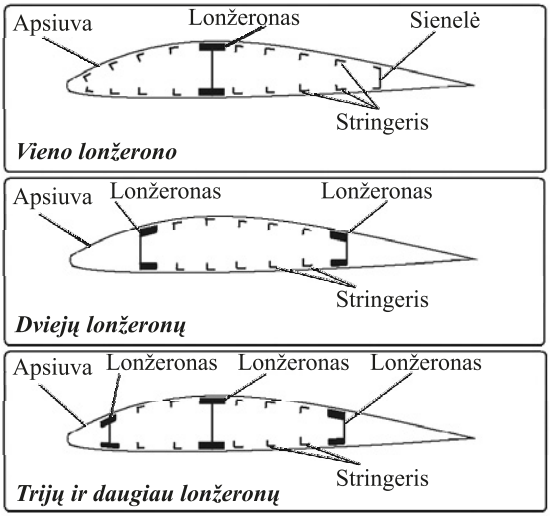
Sparno jėginė schema parodo, kokie jo konstrukcijos elementai priima sparną veikiančius krūvius. Kaip konstrukcijos elementai šiuo atveju suprantami lonžeronai, stringeriai, sienelės, nerviūros ir apsiuva (kiti elementai: įvairūs aptakai, pilonai ir t. t., į jėginę schemą neįtraukiami). Jėginė schema taip pat lemia ir kiekvieno iš šių elementų dalyvavimo priimant krūvius laipsnį. Nuo to priklauso sparno skaičiavimo metodika. Ypač svarbus jėginės schemos požymis: kaip sparno lenkimo momentą priima tam tikri elementai.

Itin svarbus sparno konstrukcijos elementas yra apsiuva. Ji gali būti lanksti ar standi. Lanksti sparno apsiuva lengvesnė nei standi, tačiau ji neleidžia pasiekti aerodinamikos požiūriu aukštos paviršių kokybės. Didėjant skrydžio greičiui, veikiama dinaminio slėgio lanksti apsiuva deformuojasi, didindama oro pasipriešinimą ir mažindama keliamąją jėgą. Todėl sparnai su lanksčiomis apsiuvomis naudojami palyginti lėtai skraidančiuose lėktuvuose. Lanksčia apsiuva aptraukto sparno išorinis paviršius nėra tikslus ir glotnus. Dėl to neįmanoma tiksliai išlaikyti sparno profilio, o santykinai šiurkštus paviršius yra dar ir aerodinaminio pasipriešinimo šaltinis. Bėgant laikui lanksti apsiuva keičia savo savybes – senėja, ji turi būti periodiškai keičiama. Lanksti apsiuva jautri lokalių krūvių poveikiui (įvairiems prakirtimams, prapjovimams) ir gana lengvai pažeidžiama orlaivio eksploatacijos metu. Visų šių trūkumų neturi standi apsiuva. Tačiau ja aptrauktas sparnas dažniausiai būna sunkesnis, jo gamyba ir remontas sudėtingesni bei brangesni.

Standi apsiuva leidžia išgauti tikslesnį ir glotnesnį išorinį sparno paviršių. Veikiama aerodinaminių krūvių ji mažiau deformuojasi, aišku, jei pakankamai paremta nerviūromis ir stringeriais. Standžią apsiuvą galima įtraukti į sparno darbą priimant veikiančius krūvius, todėl sparnas su standžia apsiuva yra standesnis ir stipresnis.

Sparno konstrukcijų tipus patogu skirstyti pagal tai, kas priima didesnę dalį jį veikiančio lenkimo momento. Jei didžioji dalis lenkimo priimama lonžerono, tai toks sparnas vadinamas karkasiniu. Karkasinis

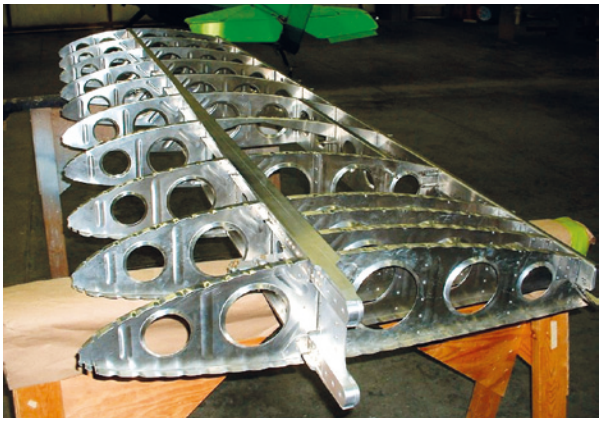
sparnas gali turėti tiek lanksčią, tiek standžią apsiuvą. Tačiau karkasinio sparno su lanksčia apsiuva konstrukcijoje turi būti numatytas konstrukcinis elementas su uždaru kontūru, būtinas tam, kad sparnas galėtų suktis. Tai gali būti noselė, iki lonžerono aptraukta standžia apsiuva, ar uždaro kontūro lonžeronas (pavyzdžiui, vamzdžio skerspjūvio). Išskirtinis karkasinio sparno konstrukcijos bruožas – santykinai plona standi apsiuva. Tačiau lonžeronas (arba lonžeronai) gana galingas.



32 pav. Karkasinių sparnų pjūvių schemos

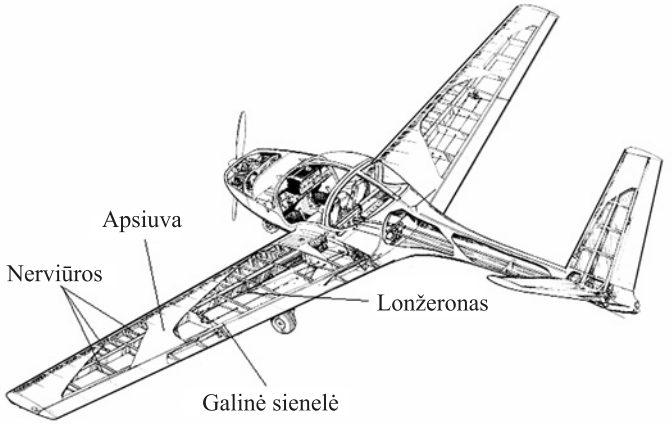
32 pav. parodyti galimi karkasinio sparno pjūviai. Šio tipo sparnai klasifikuojami pagal lonžeronų skaičių.

Karkasinis sparnas gali turėti vieną (33 pav.) arba daugiau lonžeronų. Lonžeronų skaičius parenkamas atsižvelgiant į sparną veikiančių krūvių dydį ir jo gyvybingumui keliamus reikalavimus. Kai karkasinį sparną veikia dideli krūviai, kurių priimti vienas lonžeronas nepajėgus – lonžeronų skaičius didinamas. Jei sparno pažeidimo tikimybė gana didelė (pvz., kariniuose lėktuvuose), irgi tikslinga naudoti daugiau nei vieno lonžerono karkasinį sparną. Tuomet, pažeidus vieną lonžeroną, kiti dar galės priimti nors ir sumažėjusius krūvius. Padidės tikimybė sėkmingai baigti skrydį.



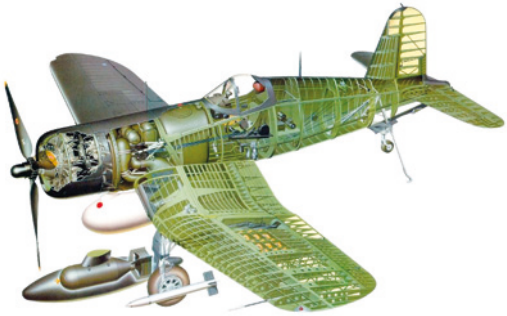
33 pav. Lėktuvo „Rans S-19“ sparno karkasas. Šio lėktuvo sparnas karkasinis su vienu lonžeronu ir galine sienele bei standžia (aliuminio lydinio) apsiuva. Sparno konstrukcijoje nenaudojami stringeriai. Gana tankiai išdėstytos nerviūros pakankamai sustandina apsiuvą

Vieno lonžerono schemos karkasinio sparno lonžeronas paprastai statomas maksimalaus profilio storio vietoje ar arti jos. Jei naudojama dviejų lonžeronų schema, priekinis lonžeronas statomas (0,08÷0,2) c nuo noselės (čia c – profilio styga), o galinis – apie (0,65÷0,8) c. Nerviūrų žingsnis paprastai svyruoja nuo 120 mm iki 500 mm.



34 pav. Lengvo lėktuvo („Robin ATL“) sparno sandara. Tai tipiškas karkasinis vieno lonžerono sparnas su standžia apsiuva

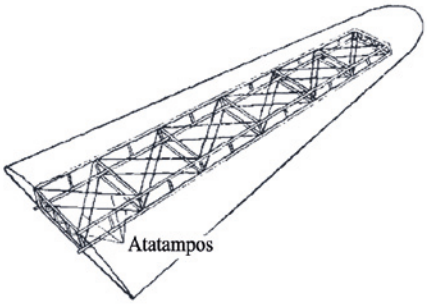
Lėktuvo „Robin ATL“ (34 pav.) sparno noselėje iki lonžerono nerviūros išdėstytos gana tankiai, nes noselę veikia didesni aerodinaminiai krūviai. Mažiau apkrautoje galinėje sparno dalyje nerviūrų išdėstymo žingsnis daug didesnis. Dėl santykinai nedidelių krūvių apsiuva neturi jokio sustiprinimo stringeriais.



35 pav. Lėktuvo „F4U Corsair“ sandara. Šio lėktuvo sparnas karkasinės dviejų lonžeronų konstrukcijos

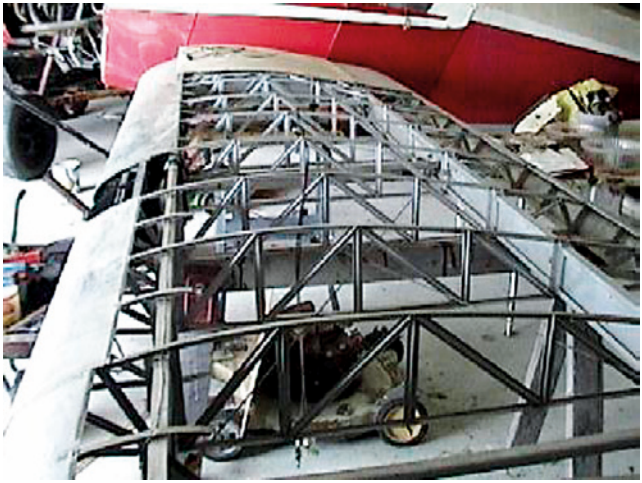
Antrojo pasaulinio karo laikų lėktuvo F4U (35 pav.) sparnas taip pat karkasinės dviejų lonžeronų konstrukcijos. Noselėje nerviūros išdėstytos tankiau nei tarpe tarp lonžeronų. Sparnas aptrauktas standžia apsiuva, pagaminta iš aliuminio lakšto. Apsiuva sustiprinta stringeriais.

Atskiras karkasinio sparno tipas – dviejų lonžeronų schemos karkasinis sparnas su vidiniu erdviniu rėmu (36 pav.). Šis rėmas suformuojamas iš sukryžiuotų atatampų.



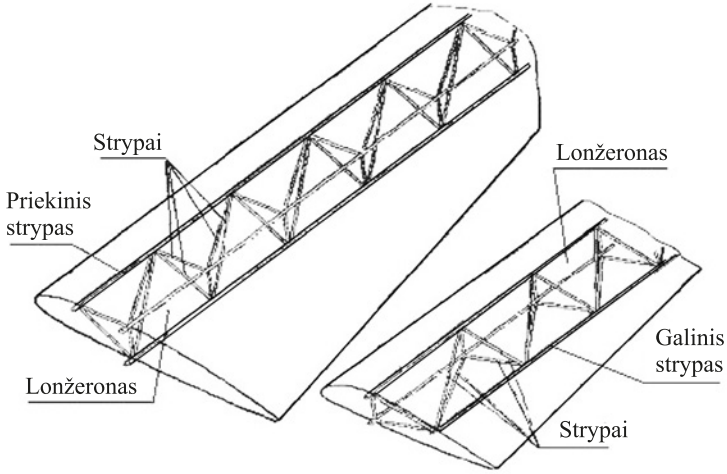
36 pav. Karkasinio sparno su vidiniu erdviniu rėmu schema

Tarp lonžeronų kryžmai išdėstytos atatampos sudaro erdvinį rėmą, galintį priimti sparno lenkimą ir sukimą. Tokia sparno konstrukcija masės požiūriu tikslinga lengviems orlaiviams, kurių sparnai nėra veikiami dideliais krūviais. Erdvinis rėmas leidžia naudoti silpnus lonžeronus, kurie taip pat yra šio rėmo struktūrinė dalis.



37 pav. Tipiškas karkasinis rėminis sparnas su vidiniu erdviniu rėmu ir atatampomis

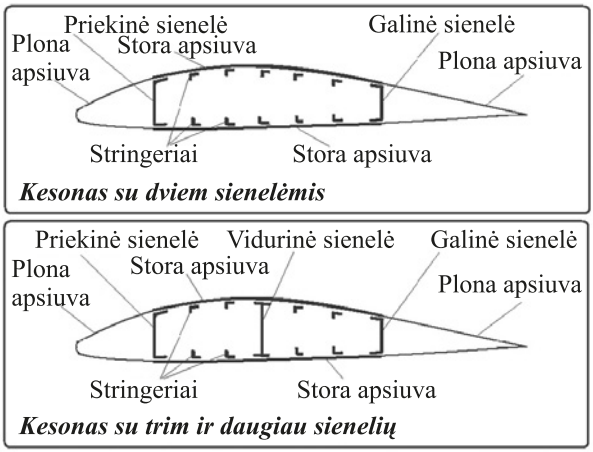
Kai kuriuose lengvuosiuose lėktuvuose naudojami sparnai su vidiniais Stingerio standžiaisiais rėmais. Tokių sparnų schemos parodytos 38 pav. Jie taip pat priskiriami prie karkasinių sparnų tipo. Šių sparnų konstrukcija panaši į sparnų su vidiniu erdviniu rėmu konstrukciją. Skirtumas tik tas, kad Stingerio rėmai lygiagrečiame nerviūroms skerspjūvyje sudaro trikampio formą. Be to, jie privalo turėti normalų, lenkimą priimantį lonžeroną. Lonžeronas gali būti sudarytas iš vamzdžio formos lentynų, tarpusavyje sujungtų taip pat vamzdiniais spyriais.



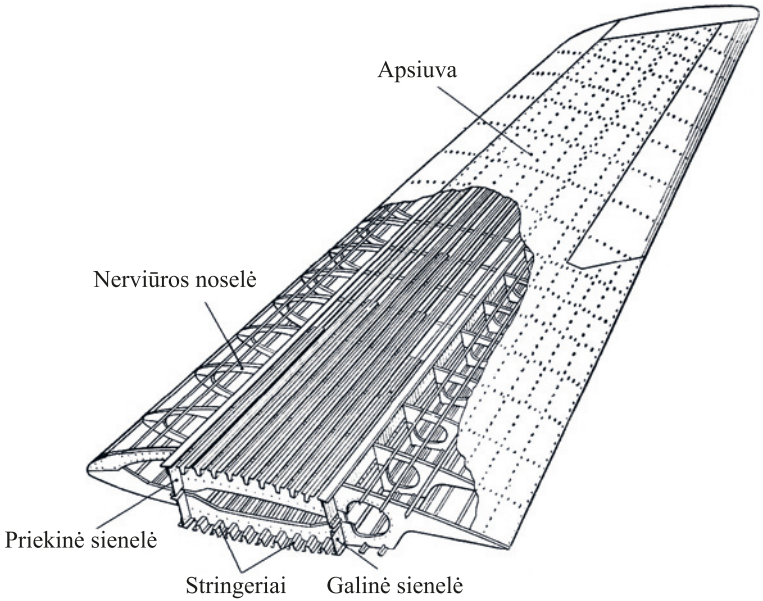
38 pav. Sparno su vidiniu Stingerio standžiuoju rėmu schema

Stingerio standusis rėmas priima sparno sukimą ir lenkimą horizontaliojoje plokštumoje. Panašiai kaip ir karkasinis rėminis sparnas, sparnas su Stingerio standžiuoju rėmu naudotinas lengvųjų ir ultralengvųjų lėktuvų konstrukcijose.

Didėjant skrydžio greičiams griežtėjo reikalavimai sprano išorinio paviršiaus kokybei. Be to, tokį sparną veikia kur kas didesni krūviai, todėl jis turi būti standesnis sukimui ir lenkimui. Taigi reikėjo storinti apsiuvą, standinti ją tankiai išdėstytais stringeriais. Taip atsirado monokoko tipo sparnai. Monokoko tipo sparnų konstrukcijose dar skiriamas kesonas. Kesonas – tai tas pats monokokas, tik jo noselė bei uodegėlė, atskirtos sienelėmis, praktiškai nedalyvauja priimant sparno lenkimą, sukimą ir kirpimą.



39 pav. Kesono tipo jėginę schemą turinčių sparnų pjūviai



40 pav. Kesoninio dviejų sienelių sparno sandara. Visą lenkimą priima tarp dviejų sienelių esantis kesonas. Sienelių lentynos mažo skerspjūvio. Kesono apsiuva itin tankiai sustiprinta stringeriais

Viršutinę ir apatinę kesoninio sparno apsiuvas technologiškai patogu gaminti kaip atskiras plokštes. Kesono plokštės būna:

- surenkamos, su stora apsiuva ir stipriais stringeriais;
- monolitinės, pagamintos frezuojant, štampuojant;
- trisluoksnės (sumuštinio tipo);
- klijuotos ir kompozitinės.

41 pav. Lėktuvo B787 kesoninio sparno plokštės, gaminamos iš anglies pluoštu armuoto plastiko

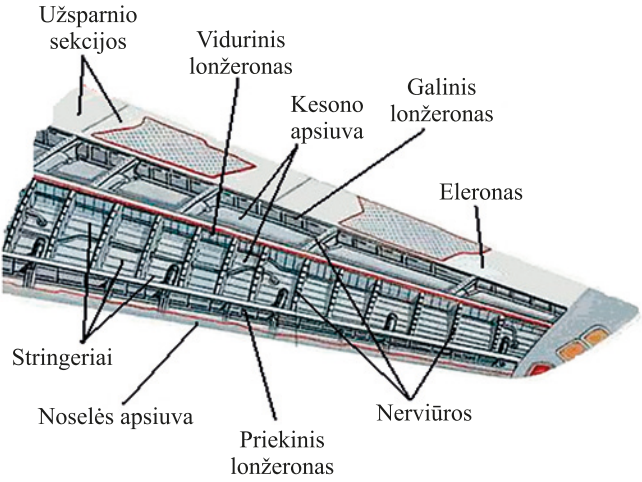
Vienas svarbiausių monokoko tipo sparno konstrukcijos elementų – apsiuva. Kartu su palyginti didelio skerspjūvio stringeriais arba standumo briaunomis (kai naudojamos monolitinės plokštės) apsiuva priima visą sparną veikiantį lenkimo momentą. Todėl ji apkraunama tempimo ir gniuždymo įtempiais. Sienelėmis apriboti apsiuvos kontūrai priima spar-

ną veikiantį sukimo momentą. Šie kontūrai apkraunami šlyties įtempiais. Kirpimą priima sienelės. Dėl to jose kyla kirpimo įtempiai.

Priekinė kesono sienelė stovi apie (0,1÷0,3) c, galinė – apie (0,6÷0,8) c. Sienelių išdėstymo vietos parenkamos atsižvelgiant į:

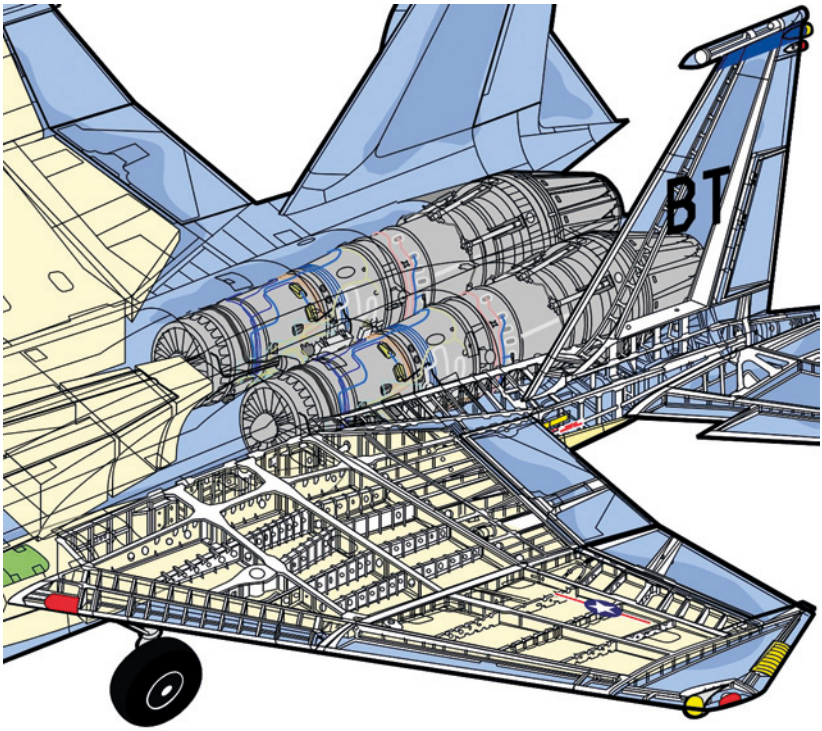
1. Būtinybę gauti kuo didesnį kesono kontūrą;
2. Sparno tvirtinimo mazgų išdėstymo galimybes;
3. Sparno priekinės bei galinės briaunų mechanizacijos ir jos valdymo elementų tvirtinimo poreikį.

Kesono tipo sparnai labai dažnai naudojami šiuolaikiniuose civiliniuose ir kariniuose lėktuvuose. Tūris tarp pirmosios ir galinės sienelių gali būti hermetizuojamas ir panaudojamas kaip degalų bakas (42 pav.).



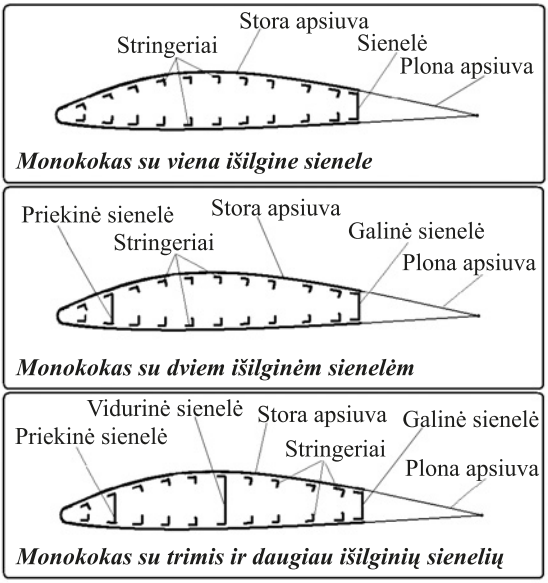
42 pav. Lėktuvo (F-14) sparno sandara. Šis sparnas kesoninis. Ertmė tarp priekinio ir viduriniojo lonžeronų išnaudojama kaip degalų bakas

Kesono tipo sparnų noselės paprastai lengvai nuimamos. Prie kesono jos tvirtinamos sraigtais. Noselės nedalyvauja sparno jėginėje schemoje ir užtikrina tik aerodinamines jo savybes, taip pat naudojamos kai kurioms sistemoms įrengti (priekinės briaunos mechanizacijai, kovai su apledėjimu ore).



43 pav. Lėktuvo F-15 „Eagle“ sparno sandara

43 pav. parodyta atakos lėktuvo F-15 sparno sandara. Šio lėktuvo sparnas kesono tipo. Šakninė sparno dalis sudaryta iš penkių sienelių. Trys vidurinės iš jų turi gana gerai išvystytas lentynas todėl savo funkcijomis jos labiau lonžeronai. Sparno galas – kesonas su trimis sienelėnis. Kadangi sparnas plonas, o jį veikiantys krūviai labai dideli, naudojama stora apsiuva, priimanti didžiąją dalį lenkimo momento. Apsiuva monolitinė, sustiprinta išilginėmis standumo briaunomis, atliekančiomis stringerių funkcijas. Didelis sienelių (lonžeronų) kiekis leidžia pasiekti geresnį sparno gyvybingumą kovinių pažeidimų atveju.



44 pav. Monokoko tipo jėginių schemų sparnų pjūviai

Monokoko tipo sparne (44 pav.) kūvius priimant dalyvauja praktiškai visas jo kontūras. Toks sparnas neturi išilginių lonžeronų, tik sieneles. Apsiuva gali būti sustiprinta stringeriais. Labai dažnai naudojamos monolitinės arba trisluoksnės apsiuvos. Kadangi uodegėlės kontūrą išnaudoti krūviams priimti nėra labai racionalu, jis gali turėti gana ploną apsiuvą ir priimant krūvius nedalyvauti. Kaip ir kesono atveju, monokoko tipo sparnų vidiniai tūriai labai dažnai naudojami kaip degalų talpyklos.

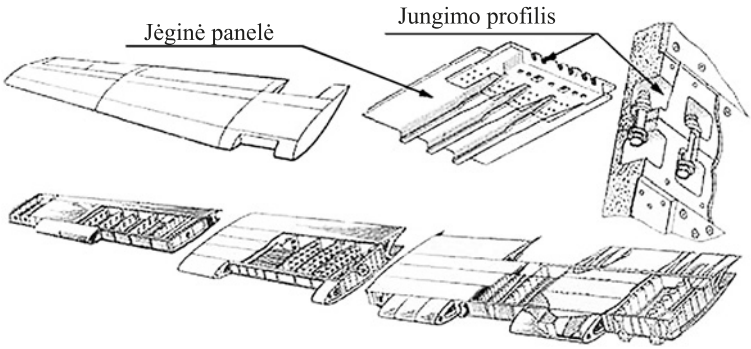
Kesono ar monokoko tipų sparnuose nerviūros išdėstomos 250÷500 mm žingsniu. Tačiau juose nerviūrų gali ir išvis nebūti. Monokoko tipo sparnų sienelių išdėstymas paremtas tais pačiais principais kaip ir kesoninių.

Monokoko tipo sparnai naudojami, kai juos veikia itin dideli krūviai, o apsiuvai keliami aukšti tikslumo ir standumo reikalavimai.

Sparno jėginė schema išilgai jo gali kisti. Pavyzdžiui, šakninėje dalyje, kur veikiantys krūviai didžiausi, galima naudoti monokoko

tipo sparną. Toliau sparno galo link, mažėjant krūviams, monokokas gali pereiti į kesoną. Pats galas gali būti, pavyzdžiui, karkasinės konstrukcijos.

Kai sparnas technologiškai suskaidytas į kelias dalis, tai tos dalys tvirtinamos prie atsakomųjų liemens ar centroplano dalių. Tikslesniuose stiprumo skaičiavimuose privalu įvertinti poslinkius jungtyse, tačiau projektiniuose skaičiavimuose jungtys gali būti laikomos absoliučiai standžiomis.



45 pav. Iš trijų dalių sudarytas kesoninis sparnas. Jo dalys visu kontūru tarpusavyje sujungtos fitingais

3.1. Sparnų jėginių schemų palyginimas

Pasirenkant vieną ar kitą sparno jėginės schemos tipą, svarbu atsižvelgti į jo masę, standumą, komponavimo ir aptarnavimo bei gamybos patogumą, gyvybingumą ir kitus veiksnius.

Jei sparną veikia didelės jėgos, sparne naudojamas mažo santykinio storio profilis, lonžeronų lentynos, veikiamos labai didelių krūvių, tampa labai storos, jų medžiaga, nedaug nutolusi nuo neutralios ašies, veikia neefektyviai. Tokiu atveju lengvesnis bus kesoninis arba monokokinis sparnas. Kai sparno profilis santykinai storas (jo santykinis storis arti 20 ar daugiau procentų), lėktuvas skraido nedideliais greičiais, atitinkamai sparnas veikiamas santykinai nedidelių krūvių, masės požiūriu tinkamiausias karkasinis sparnas.

Tiek kesoninio, tiek monokokinio sparnų apsiuva santykinai stora ir standi. Todėl šių tipų sparnai pasižymės geresnėmis aerodinaminėmis savybėmis. Šių tipų sparnai visuomet bus standesni lenkiant ir ypač sukant, turės didesnį vietinį apsiuvos standumą.

Karkasinis sparnas lengviau jungiamas su liemeniu, nes jungimas atliekamas taškais. Jo apsiuvoje galima daryti daug ir didelių išpjovimų įvairiems liukams, važiuoklei įtraukti, bakams montuoti ir t. t. Angos uždengiamos lengvais, paprastai tvrtinamais dangteliais ar durelėmis. Dažniausiai karkasinį sparną patogiau montuoti ir prižiūrėti (daug liukelių, mažai sujungimo mazgų). Tačiau karkasinio sparno gyvybingumas mažesnis. Jo lonžerono suirimas sukels katastrofiškas pasekmes. Tačiau pažeista lonžeroninio sparno apsiuva konstrukcijos jėginį darbą mažai veikia.

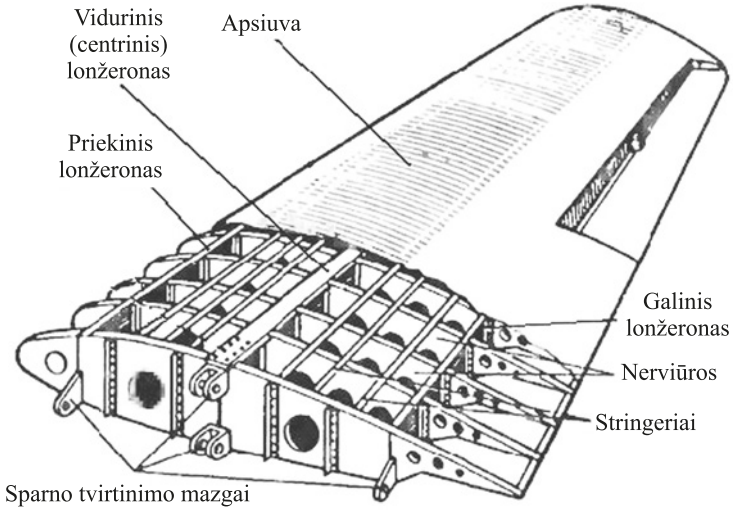
Kesoniniai ir monokokiniai sparnai geriau toleruoja nedidelius pažeidimus, bet juos sudėtingiau jungti su liemeniu ar jų dalis tarpusavyje (pavyzdžiui, kai jungiamas monokoko tipo centroplanas su tokio pat tipo konsole), nes tokiu atveju optimalus sujungimas visu kontūru.

4. SVARBIAUSI SPARNO KONSTRUKCIJOS ELEMENTAI

Orlaivių sparnų konstrukcijos labai įvairios. Tačiau jie visuomet turi būti pakankamai stiprūs ir standūs, turėdami kuo mažesnę masę.

Sparnams būdinga tai, jog jie statybinės mechanikos požiūriu yra plokščios, plonasienės sijos, pasižyminčios dideliu standumu stygų plokštumoje. Dėl to aerodinaminių pasipriešinimo jėgų poveikis sparnui paprastai yra gana nesunkiai priimamas.Perduodamas liemeniui keliamąją jėgą, sparnas deformuojasi išlinkdamas ir susisukdamas.

Šie lenkimo bei sukimo poveikius ir turi priimti tiek sparno konstrukcijos elementai, tiek sparno ir liemens tarpusavio tvirtinimo mazgai. Todėl dauguma sparnų konstrukcijų sudarytos iš tipinių elementų, dalyvaujančių priimant krūvius ir sudarančių sparno konstrukcinę schemą. Apskritai paėmus, sparnas beveik visuomet yra plonasienė konstrukcija, kurios vidus pripildytas išilginių ir skersinių elementų.



46 pav. Svarbiausi tipiniai sparno konstrukcijos elementai

Keliamoji aerodinaminė jėga, be sparno lenkimo, sukelia dar ir jo kirpimą. Todėl sparno konstrukcijoje būtini elementai, priimantys šį poveikį.

Tipinis sparnas sudarytas iš šių konstrukcijos elementų:

– lonžeronų,
– išilginių sienelių,
– stringerių,
– nerviūrų,
– skersinių sienelių,
– apsiuvos,
– tvirtinimo mazgų.

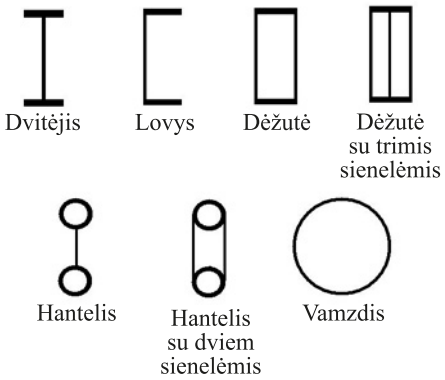
Lonžeronai, išilginės sienelės ir stringeriai dar vadinami išilginiais konstrukcijos elementais. Nerviūros ir skersinės sienelės sudaro skersinių sparno konstrukcijos elementų grupę. Išilginių ir skersinių sienelių sparno konstrukcijoje gali ir nebūti. Paprastai šie elementai naudojami tvirtinant kitus orlaivio konstrukcijos elementus sparno viduje ar išorėje, kai tvirtinimo vietose nėra kitų konstrukcijos elementų. Sparnas visuomet turi tvirtinimo mazgus, kuriais jis tvirtinamas prie liemens.

Sparno konstrukcijos elementai jėgas perduoda taip pat kaip ir bet kokios kitos plonasienės sijos, kurios kevalų tipo sienelės sustiprintos išilginių ir skersinių elementų karkasu, elementai. Aerodinaminiai krūviai, pasireiškiantys kaip oro išretėjimas ir suslėgimas, tiesiogiai veikia apsiuvą. Apsiuva šiuos krūvius perduoda stringeriams ir nerviūroms. Stringeriai paprastai tvirtinami ne tik prie apsiuvos, bet ir prie nerviūrų, todėl kiekviena nerviūra tarytum „surenka“ paskirstytą aerodinaminį krūvį nuo „savo“ apsiuvos ir stringerių. Apkrovos nerviūras stengiasi paslinkti ir pasukti jų pačių plokštumose. Nerviūros krūvius perduoda lonžeronams, kurie savo ruožtu per tvirtinimo mazgus perduoda juos liemeniui. Tačiau toks darbas būdingas tik karkasiniams sparnams. Kitų jėginių tipų sparnų elementų funkcijos gali šiek tiek skirtis.

Aptarsime kiekvieno sparno elemento paskirtį ir konstrukcijos ypatybes.

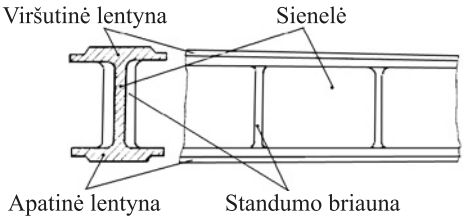
4.1. Lonžeronai

Lonžeronai – vieni svarbiausių jėginių sparno konstrukcijos elementų. Pagal tai, kokio yra tipo, sparnas gali turėti vieną ar keletą lonžeronų. Monokoko tipo sparnuose lonžeronų nėra, jų vietas užma ir kai kurias jų funkcijas atlieka sienelės. Lonžeronų skerspjūviai gali būti labai įvairūs. Pasirenkant skerspjūvio formą, svarbu atsižvelgti į tai, kad lonžeronas kuo geriau veiktų, jį būtų patogu pagaminti.



47 pav. Pagrindinės galimos lonžeronų skerspjūvių formos

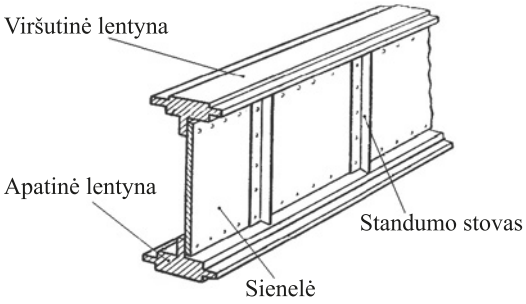
Sparnų konstrukcijose naudojami lonžeronai skirstomi į sijos ir rėmo tipus. Sijos tipo lonžeronas sudarytas iš viršutinės ir apatinės lentynų, tarpusavyje sujungtų viena ar keliomis sienelėmis. 48 pav. parodytas monolitinis sijos tipo lonžeronas. Jis visas pagamintas iš vieno tos pačios medžiagos ruošinio. Šio lonžerono skerspjūvis dvitėjo profilio.



48 pav. Monolitinis sijos tipo dvitėjo profilio lonžerono konstrukcijos fragmentas

Sienelės kritiniams pastovumo praradimo įtempiams padidinti suformuotos vertikalios standumo briaunos.

49 pav. parodyta surenkamo sijos tipo lonžerono fragmento sandara. Jo viršutinė bei apatinė lentynos ir sienelė su standinančiais stovais yra atskiros detalės, tarpusavyje sujungiamos surenkant lonžeroną.



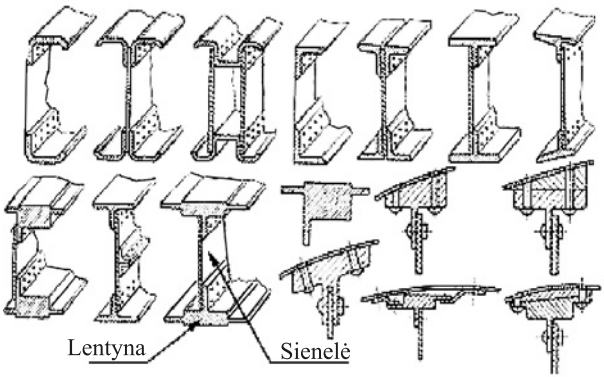
49 pav. Surenkamo sijos tipo dvitėjo profilio lonžerono konstrukcijos fragmentas

Vienas iš kriterijų, charakterizuojančių lonžeroną, yra profilio statybinio aukščio išnaudojimo koeficientas k. Jis suprantamas kaip atstumo tarp lonžerono lentynų masių centrų h ir sparno storio lonžerono montavimo vietoje H santykis:

$$k = h/H$$

Išilgai lonžerono jo skerspjūvio forma taip pat gali kisti. Pavyzdžiui, šaknyje dėžutės skerspjūvį turintis lonžeronas toliau gali pereiti į lovio formą.

Vamzdžio forma lonžerono skerspjūviui nėra tinkamiausia. Tačiau tokios formos lonžeronai kartais naudojami lengvų ir ultralengvų orlaivių sparnuose kartu su lanksčia apsiuva. Tuomet lonžeronas, be lenkimo ir kirpimo, priima dar ir sparno sukimą. Sparno sukimą gali priimti ir bet kokio, uždarą kontūrą turinčio skerspjūvio lonžeronas. Tačiau neaišku, ar tai būtų tikslinga.

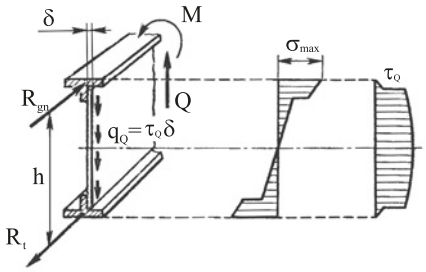


50 pav. Įvairių metalinių lonžeronų skerspjūvių konstrukcijos pavyzdžiai

Kai lonžeronų lentynos gaminamos iš lakšto, lenkiant jų kraštus galima atlenkti iš abiejų pusių. Viena atlenkta briauna panaudojama sienelei tvirtinti su lentyna, o kita briauna padidina lentynos kritinius pastovumo netekimo įtempius.

Stiprumo požiūriu lonžeronai – tai išilginės sijos, sudarytos iš lentynų ir sienelių. Lonžeronų masė gali sudaryti iki 50 % visos sparno konstrukcijos masės. Didžioji paties lonžerono masės dalis sutelkta lentynose, kuriose, momentui M lenkiant lonžeroną, kyla didžiausi normaliniai įtempiai, nes lentynos toliausiai nutolusios nuo lonžerono neutralios ašies.

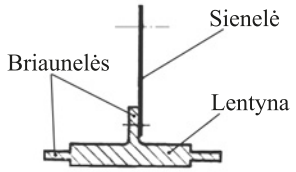
Sparną veikiantys krūviai lonžeroną lenkia (momentu M) ir kerpa (skersine jėga Q). Lenkimo momentą M priima lonžeronų lentynos, kuriose dėl to kyla didelės ašinės tempimo ir gniuždymo reakcijos (atitinkamai R_t ir R_{gn}). Praktiškai visą skersinę jėgą Q priima lonžeronų sienelės, apkrautos kirpimu (kirpimas sukelia šlyties reakciją q). Kartu su apsiuva sudarydamos uždarus kontūrus, lonžeronų sienelės priima sparno sukimą, taigi jos dirba ir šlyčiai.



51 pav. Lonžeroną veikiantys krūviai ir jo reguliariajame pjūvyje kylančios reakcijos bei įtempiai

Lenkimo momento M sukeltos reakcijos R_{gn} ir R_t sukuria normalinius tempimo ir gniuždymo įtempius σ, maksimalią reikšmę σ_{max} pasiekiančius labiausiai nuo lonžerono neutraliosios ašies nutolusiuose pjūviuose. Lonžerono sienelės storis δ parenkamas atsižvelgiant į maksimalią kirpimo įtempimų τ_Q reikšmę. Jei sienelei naudojama mažesnį standumo modulį turinti medžiaga, tai tempimo ir gniuždyno įtempiai ties sienelės jungimu su lentynomis turės charakteringą šuolį.

Skersinės jėgos Q sukelti kirpimo įtempiai τ_Q didžiausi sienelėje. Jei sienelė pastovaus storio δ, kirpimo įtempiai per sienelės aukštį kinta palyginti nedaug, ir maksimumą pasiekia neutralioje ašyje. Labai svarbu kuo efektyviau išnaudoti lonžerono medžiagų savybes, taip gaunant minimalią masę. Lentyną jungiant su apsiuva ar sienele kniedėmis, joje gręžiamos kiaurymės, kurios susilpnina lentyną. To išvengiama lentynų šonuose apsiuvai tvirtinti suformavus specialias briauneles.



52 pav. Lonžerono lentynų briaunelių formavimas apsiuvai ir sienelei jungti

Įtempiai lonžeronų sienelėse dažnai būna santykinai nedideli, todėl pačios sienelės gali būti gana plonos. Siekiant padidinti kritinius tokių sienelių įtempius, jos gali turėti standumą padidinančius elementus (gofrą, standinančius stovelius). Sienelės standumą padidina ir jėginis ryšys su nerviūromis, nerviūras sujungiant su ja.

Sparną veikiančios jėgos kinta išilgai jo. Todėl racionalu keisti ir lonžerono skerspjūvį. Lentynų skerspjūviai keičiami didinant arba mažinant jų storį (prioritetas) ar plotį arba abu šiuos parametrus kartu. Pasirinkimą lemia sparno technologiniai ir konstrukciniai reikalavimai.

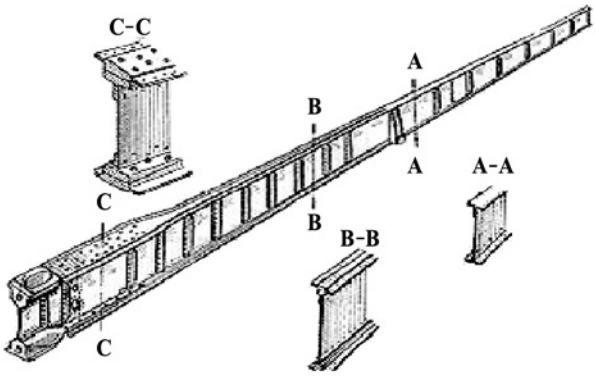
Lentynos su sienelėmis jungiamos kniedėmis virinant, klijuojant. Konkretaus sujungimo būdo pasirinkimas priklauso nuo lonžeronų konstrukcinių medžiagų, gaminant naudojamų technologijų, eksploatacijos sąlygų ir daugelio kitų veiksnių.

Lonžeronų tipai:

A. Sijos. Šio tipo lonžeronai sudaryti iš ištisinių sienelių ir lentynų. Vamzdžio formos skerspjūvio lonžeronas irgi yra sijos tipo. Tokie lonžeronai naudotini, kai sparno profilio santykinis storis yra vidutinis ar mažas, o veikiantys krūviai palyginti dideli. Pati sija gali būti monolitinė ar surenkamoji.

Monolitiniai sijos tipo lonžeronai gaminami iš vientiso ruošinio. Jų sienelės ir lentynos yra pagamintos iš to paties monolito. Sujungimų tarp jų nėra. Monolitinių lonžeronų privalumai geriausiai atsiskleidžia, esant dideliems krūviams. Kartais, kai lonžerono gabaritai santykinai nedideli, būtent monolitinius lonžeronus technologiškai patogu gaminti.

Surenkamųjų sijos tipo lonžeronų gamyba technologiškai dažniausiai būna paprastesnė, ypač kai pats lonžeronas didelių matmenų. Be to, tokio tipo lonžerono elementus galima gaminti iš skirtingų medžiagų, taip kiek įmanoma išnaudojant jų galimybes.



53 pav. Lonžeronas – surenkamoji sija. Šakninėje dalyje yra mazgas, skirtas prijungti fitingu

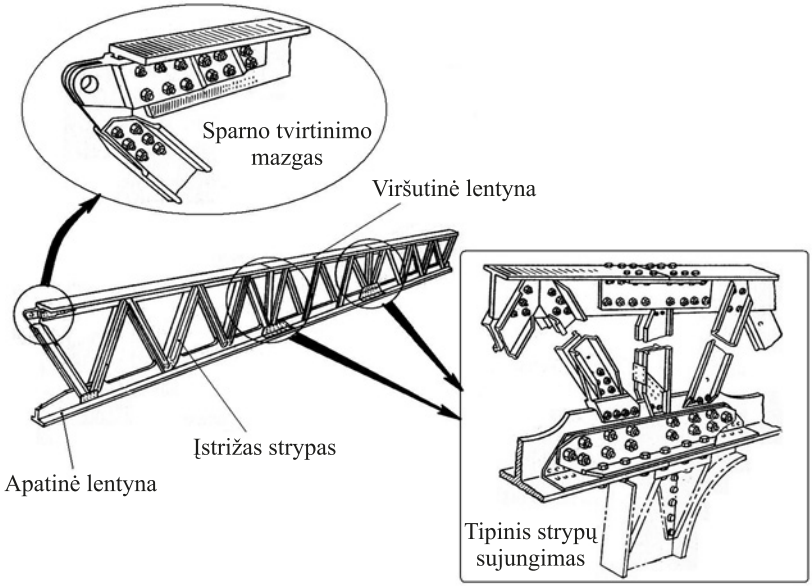
Siekiant sumažinti lonžeronų sienelių masę, jose gali būti daromos palengvinimo kiaurymės. Kiaurymės kartais daromos ir sparno surinkimui palengvinti, nes pasinaudojant šiomis kiaurymėmis galima pagerinti prieigą prie sujungimų vietų. Kiaurymių kraštai užlankstomi suformuojant bortelius, padidinančius išpjautų vietų standumą.

B. Rėmai. Tai lonžeronai, kurių sienelės yra plokšti ar erdviniai rėmai. Naudojami labai apkrautuose didelio statybinio aukščio sparnuose ar tuomet, kai lonžeroną veikiantys krūviai ir statybinis aukštis yra santykinai nedideli. Rėminė konstrukcija gana tankiai naudojama lengvųjų lėktuvų sparnų lonžeronų konstrukcijose. Kadangi rėminio lonžerono sienelė ne ištisa, tarpai tarp rėmo elementų palengvina tiek paties lonžerono, tiek viso sparno surinkimą, nes atsiranda galimybė per rėmo tarpus surenkant pasiekti sunkiau prieinamas jungčių vietas. Konstruojant rėmą stengiamasi, kad jo strypai kirstųsi viename taške. Priešingu atveju kyla papildomi vietiniai lenkimo krūviai, bloginantys viso rėmo ir atskirų jo strypų apkrovų sąlygas.

Vienas lengviausių ir paprasčiausių konstrukciniu požiūriu yra virintas rėmo tipo lonžeronas, pagamintas iš plieninių vamzdžių. Jo lentynų skerspjūvio pokytį per lonžerono ilgį galima išgauti, keičiant vamzdžių skersmenį ar sienelių storį. Tačiau pasiekti aukštą tokio lon-

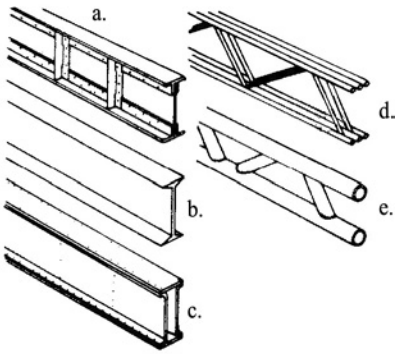
žerono suvirinimo kokybę gali būti gana sunku. Be to, toks lonžeronas būtinai turi būti termiškai apdorojamas, o po terminio apdorojimo atsiradę nuokrypiai turi būti ištaisyti. Tokį lonžeroną gana sudėtinga jungti su apsiuva kniedijant. Dėl šių priežasčių virinti rėminiai lonžeronai retai naudojami serijinės gamybos lėktuvų sparnuose.

Gana populiari rėminio lonžerono, sudaryto iš atviro profilio strypų, konstrukcija. Jos elementus nesunku tarpusavyje jungti kniedijant. Jeigu reikia, galima panaudoti plokštelių tipo antdėklus.



54 pav. Rėmo tipo lonžeronas surinktas iš atviro profilio įstrižų strypų, sujungtų varžtais

Tam tikrais atvejais lonžeronai gali būti štampuojami iš lakšto. Tačiau tokie lonžeronai labiau primena sieneles, jų stiprumo savybės gana žemos. Dėl to tokiu būdu dažniausiai gaminamos lonžeronų galinės dalys.



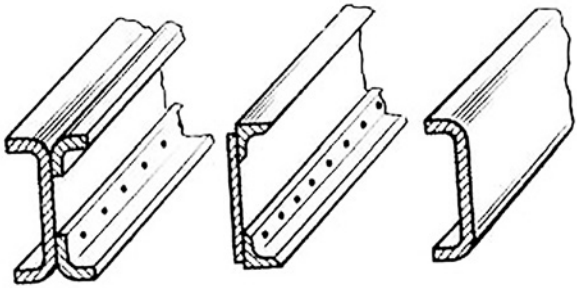
55 pav. Lonžeronų tipų ir skerspjūvio formų pavyzdžiai:
a) – surenkamoji dvitėjo formos sija; b) – monolitinė dvitėjo formos sija;
c) – surenkamoji dėžutės formos sija; d) – rėminis lonžeronas, kurio lentynos ir sienelės rėmas sudaryti iš tarpusavyje sujungtų vamzdelių;
e) – rėminė iš vamzdžių suvirinta sija.

Lonžeronai gaminami iš metalų ir plastikų. Istoriniuose ir kai kuriuose mėgėjiškos konstrukcijos lėktuvuose galima išvysti medinių lonžeronų. Labai apkrauti lonžerono elementai gaminami iš plieno, titano. Gali būti naudojami anglimi ar kevlaru armuoti plastikai. Mažesnių krūvių veikiamus lonžeronus dažniausiai tikslinga gaminti iš aliuminio lydinių, stiklu armuotų plastikų. Lonžeronų konstrukcinės medžiagos gali kisti, kintant jų ilgiui. Parenkant labai greitai skraidantiems lėktuvams skirtų lonžeronų gamybai tinkančias medžiagas, turi būti atsižvelgiama ir į konstrukcijos aerodinaminį įkaitimą.

Pagal tai, kokio tipo yra sparno konstrukcija, lonžeronų galuose gali būti montuojami mazgai, kuriais sparnas tvirtinamas prie liemens ar tarpusavyje jungiamos sparno sekcijos (pavyzdžiui, centroplanas su konsolėmis). Jungiant naudojami fitingai, auselės – šakutės tipo mazgai. Kai mazgais perduodami dideli krūviai ir kirpimo įtempiai yra dideli, galima jungiant naudoti daug auselių.

4.2. Išilginės sienelės

Konstrukciniu požiūriu sienelės – susilpninti lonžeronai, turintys silpnai išvystytas lentynėles. Tai kirpimo ir šlyties įtempius priimantys sparno konstrukcijos elementai. Lenkimo jos praktiškai nepriima. Naudojami kaip sparno kontūrą išilgai dalijantys ar jį uždarantys konstrukcijos elementai. Prie išilginių sienelių patogu tvirtinti kitus prie sparno jungiamus konstrukcinius elementus (pavyzdžiui, vairų pakabinimo mazgus).

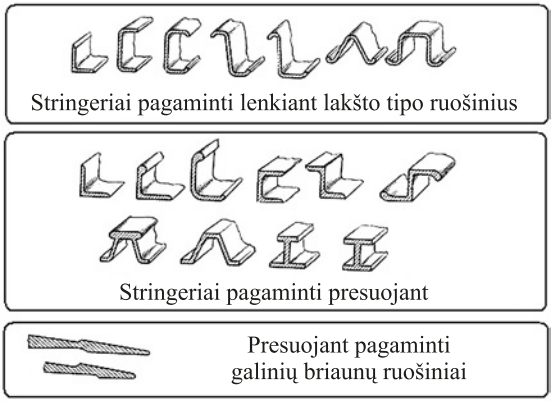


56 pav. Išilginių sienelių skerspjūvių pavyzdžiai

Kaip ir lonžeronai, išilginės sienelės gali būti monolitinės ir surenkamosios bei rėminės.

4.3. Stringeriai

Jie sudaro nuo 5 iki 20 procentų visos sparno konstrukcijos masės. Svarbiausia stringerių paskirtis – sustiprinti apsiuvą, padidinti jos kritinius įtempius gniuždymui ir šlyčiai. Tačiau monokoko ar kesono tipo sparnuose, kuriuose apsiuva priima lenkimą, stringeriai kartu su apsiuva gali dalyvauti priimant lenkimą. Kartu su apsiuva stringeriai dalyvauja perduodant aerodinaminius krūvius nerviūroms. Dėl to jie papildomai apkraunami lenkimu. Stringeriai naudojami tik standžią apsiuvą turinčiose sparno konstrukcijose. Tačiau iš principo stringeriais galima pagerinti ir lanksčia apsiuva aptrauktų sparnų aerodinaminę formą (sumažinant apsiuvos įdubimus tarp nerviūrų).



57 pav. Stringerių formos

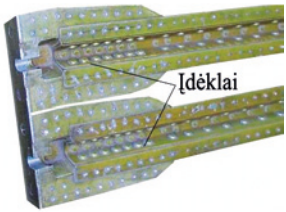
Jie gaminami iš lenktų, presuotų ar valcuotų profilių. Stringerių medžiaga, forma ir išdėstymo tankis (žingsnis) parenkami taip, kad jų vietinio ir bendrojo pastovumo praradimo kritiniai įtempiai dirbant kartu su apsiuva būtų kuo įmanoma didesni.

Presuotų stringerių kritiniai įtempiai bendruoju atveju aukštesni negu lenktų, todėl konstrukcijose, kuriose apsiuva dalyvauja priimant krūvius, tokie stringeriai naudojami dažniau. Taip pat tokio tipo stringerius stengiamasi naudoti plokštėse, dažniausiai apkraunamose dideliais gniuždančiais krūviais. Tačiau juos pagaminti sudėtingiau.

Stringeriai, sujungti su apsiuva ir sudarantys uždarus kontūrus, leidžia pasiekti didžiausius kritinius įtempius. Tačiau kiekvienas toks stringeris su apsiuva jungiamas dviem siūlėmis, o tai visuomet padidina gamybos darbo imlumą, jei naudojama kniedyta jungtis – dviejų eilių kniedžių kiaurymės susilpnina apsiuvą, padidina įtempių koncentratorių skaičių joje. Be to, susidarančios uždaros, prastai ventiliuojamos ertmės gali tapti papildomais korozijos židiniais.

Siekiant sukurti sparno konstrukciją, pasižyminčią vienodu stiprumu pagal mojį, ir sumažinti sparno konstrukcijos masę, naudojami sparno galo link mažėjančio skerspjūvio stringeriai. Tai galima pasiekti jungiant skirtingų skerspjūvių stringerių dalis ar apifrezuojant ištisinius stringerius taip, kad jų galinės dalys būtų plonesnės ar žemesnės.

Jei technologiškai sparnas sudarytas iš kelių dalių, tai tų dalių sujungimo vietose stringeriai jungiami naudojant fitingus.



58 pav. Stringerių sujungimo fitingų tipo mazgas

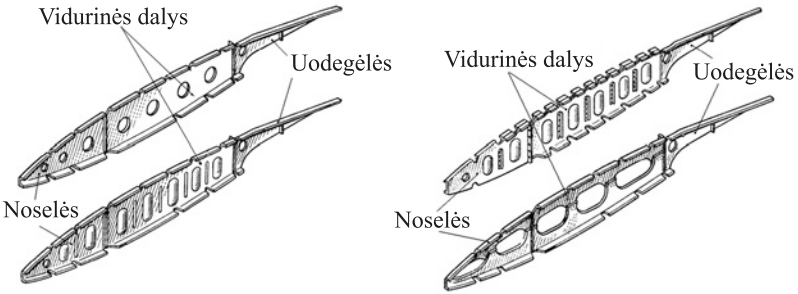
Kai reikia pagaminti standžias galines sparno ar vairų galines briaunas, naudojami presuoti stringeriai, suformuojantys tas briaunas.

Su apsiuva stringeriai jungiami kniedėmis, klijais, virinant, derinant kelis jungimo būdus (pvz., klijuojant ir virinant ar klijuojant ir kniedijant).

4.4. Nerviūros

Nerviūros – labai svarbūs sparno konstrukcijos elementai. Jos gali būti išdėstytos lygiagrečiai sparno simetrijos ašiai arba kampu jai. Tai lemia aerodinamikos, technologiniai ir stiprumo reikalavimai. Nerviūros palaiko sparno profilio formą ir perduoda vietinius aerodinaminius krūvius kitiems sparno konstrukcijos elementams. Sparnų su standžia apsiuva nerviūros taip pat prilaiko apsiuvą, taip padidindamos jos kritinius įtempius. Pagal buvimo vietą nerviūros skirstomos į eilines, šaknines ir galines. Šaknine vadinama sparno dalies nerviūra, esanti arčiausiai sparno simetrijos ašies, Toliausiai nuo sparno simetrijos ašies nutolusi sparno dalies nerviūra vadinama galine. Ne visos nerviūros vienodai apkraunamos krūviais. Nerviūros, veikiamos didesniais krūviais nei dauguma kitų, vadinamos jėginėmis. Jėginės (arba sustiprintos) nerviūros, be tų pačių funkcijų, kurias atlieka ir visos kitos nerviūros, skirtos priimti koncentruotus krūvius, kylančius kitų agregatų ar lėktuvo dalių tvirtinimo vietose (pvz., variklių, važiuoklės, vairų tvirtinimo vietose) ar ten, kur smarkiai persiskirsto krūviai (pavyzdžiui, didelių technologinių liukų, važiuoklės įtraukimo nišų, sparno dalių jungimo vietose).

Sparnų konstrukcijose naudojamos sijos arba rėmo tipų nerviūros. Pati nerviūra gali būti vientisa arba sudaryta iš kelių dalių.



Sijos tipo nerviūros pagamintos štampuojant iš lakšto

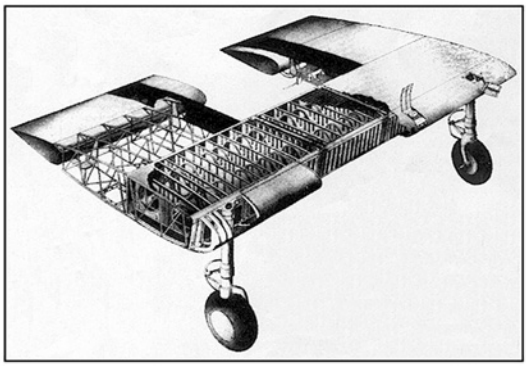
Surenkamos sijos tipo nerviūros pagamintos štampuojant iš lakšto

59 pav. Sijos tipo nerviūros, pagamintos štampuojant iš lakšto. Kiekviena iš šių nerviūrų sudaryta iš trijų dalių: noselės, centrinės dalies bei uodegėlės

Jei nerviūra sudaryta iš vienos dalies, ji vadinama monolotine. Tokių nerviūrų šiuolaikinių sparnų konstrukcijose nedaug. Kur kas dažnesnės iš kelių dalių surenkamos nerviūros. 59 pav. parodytos sijos tipo nerviūros, sudarytos iš trijų dalių. Kiekvienos iš dalių kontūras užlenktas ir sudaro sustandinantį bortelį, kuriuo nerviūros jungiamos su apsiuva bei lonžeronais ar sienelėmis. Noselėse ir vidurinėse dalyse pramuštos palengvinimo kiaurymės, kurių kraštuose štampavimo būdu suformuotos standinimo briaunos. Kiaurymės taip pat dažnai naudojamos valdymo bei kitų sistemų elementams nutiesti, sparno surinkimui palengvinti. Sienelėse gali būti įštampuoti įgilinimai, kurie sustandina, padidina vietinio ir bendrojo pastovumo įtempius.

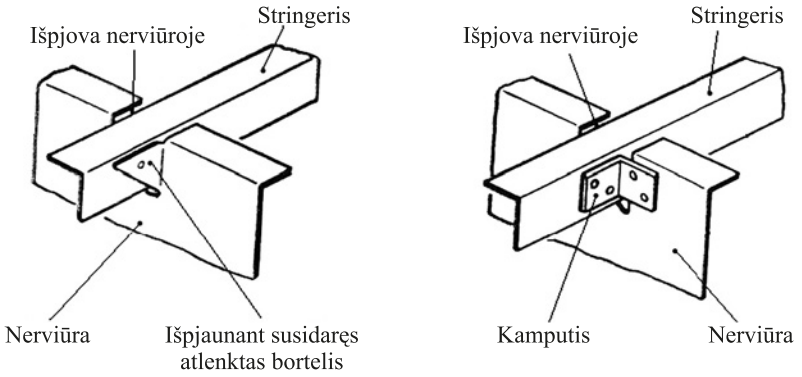
Sustiprintos nerviūros gaminamos iš storesnio ruošinio. Perimetru jos gali būti apjuostos lentynėlėmis. Sustiprintų nerviūrų sienelės paprastai storesnės. Be to, jos gali būti sustiprintos papildomomis standumo briaunomis, stoveliais.

Sijos tipo nerviūros technologiškos, išorinis kontūras gana tikslus, tačiau jų gamybai reikalinga brangi speciali įranga (presformos, štampai arba sudėtingų paviršių frezavimo įranga).



60 pav. Sparno centroplano sandara.
Jo konstrukcijoje panaudotos rėminės nerviūros

Sparno konstrukcijoje naudojamiems stringeriams pereiti nerviūros perimetru išpjaunamos išpjovos. Nerviūros su stringeriais jungiamos naudojantis papildomais kampučiais arba išpjovos vietoje susidariusiu borteliu.



Nerviūros jungimas su stringeriu per atlenktą išpjovos bortelį

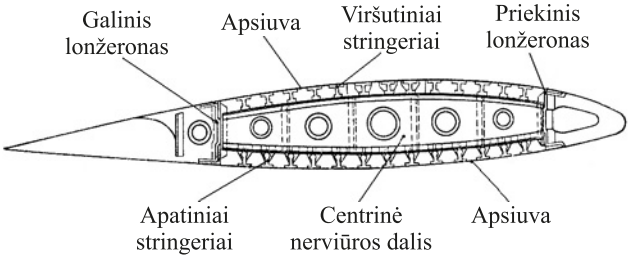
Nerviūros jungimas su stringeriu papildomu kampučiu

61 pav. Nerviūros jungimas su stringeriu

Pastaruoju metu metalinėse sparnų konstrukcijose nerviūros dažnai tiesiogiai nejungiamos su stringeriais. Kai, surenkant sparną, ap-

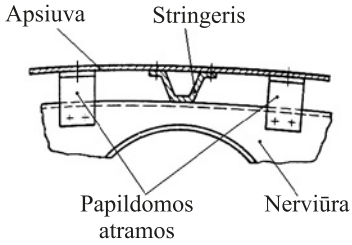
siuva iš anksto sujungiama su stringeriais (tokia technologija leidžia panaudoti našią kniedijimo presuojant iškart daug kniedžių įrangą), nerviūros gali būti jungiamos tik su apsiuva.

Kesono ar monokoko tipų sparnų konstrukcijose stringeriai išdėstomi nedideliu žingsniu, jie patys turi gana didelį skerspjūvio plotą, todėl yra standūs ir stiprūs. Todėl tokiose konstrukcijose stringeriai gali būti sujungti su nerviūromis ir su apsiuva, bet pati apsiuva tiesioginio jėginio ryšio su nerviūromis gali ir neturėti (apsiuva su nerviūromis surišama tik per stringerius). Šiuo atveju apsiuvą veikiantys krūviai nerviūroms perduodami per stringerius. Tokios konstrukcijos privalumas – nerviūrose nereikia formuoti išpjovų stringeriams pereiti.



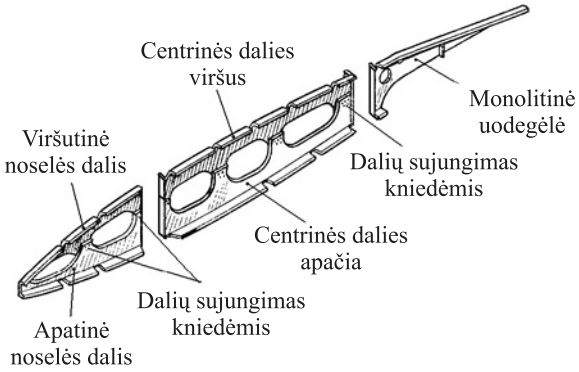
62 pav. Kesono tipo sparno skersinis pjūvis. Šio sparno apsiuva su nerviūromis jungiama per standžius, didelio skerspjūvio, tankiai išdėstytus stringerius

Kai stringeriai išdėstyti nepakankamai dažnai, kad tinkamai prilaikytų apsiuvą, o nerviūroje nenorima daryti išpjovų jiems pereiti, tarp stringerių galima sudėti papildomas kampučio formos atramas, sujungiančias apsiuvą su nerviūra.



63 pav. Apsiuvos jungimas su nerviūra per stringerius ir papildomas atramas

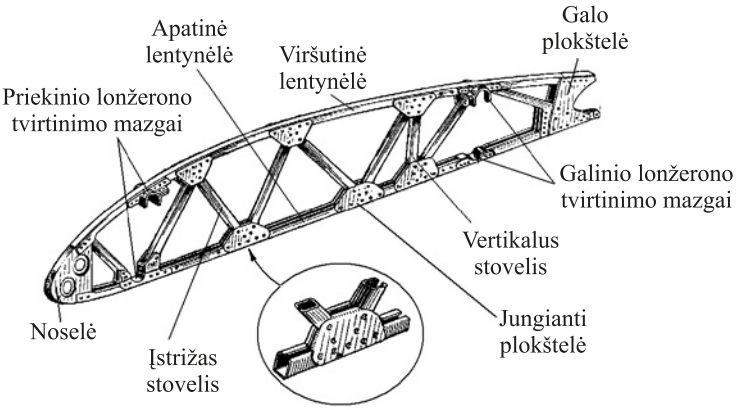
Šiuolaikinių lėktuvų sparnų išorinei geometrijai keliami itin aukšti reikalavimai. Atitinkamai itin tiksliai turi būti pagamintos ir tokių sparnų nerviūros. Tačiau gaminti tikslios geometrijos nerviūras ne visuomet ekonomiškai tikslinga ar neįmanoma technologiškai. Išeitis – skelti nerviūrą į dvi dalis išilgai. Tuomet nerviūrų viršutinės dalys sujungiamos su viršutine sparno apsiuva ir stringeriais, apatinės – su atitinkamais apačios elementais. Surenkant visą sparną, apatinės ir viršutinės sparno dalys tiksliai išdėstomos įrangoje, o apatinės ir viršutinės nerviūrų dalys sujungiamos tarpusavyje (kniedėmis, virinant, klijais), tokiu būdu pašalinami gaminant detales atsiradusius netikslumus.



64 pav. Sijos tipo nerviūra iš trijų dalių. Noselė ir centrinė dalis technologiškai perskeltos į viršų ir apačią

Šiek tiek lengvesnei masės požiūriu ir mažiau įrangos reikalingai rėminei nerviūrai būtinas didesnis darbo imlumas surenkant. Be to, sunkiau gauti tikslų jos išorinį kontūrą, o nuo jo priklauso viso sparno profilio tikslumas. Žemiau parodyta tipinė rėminės konstrukcijos sparno nerviūra.

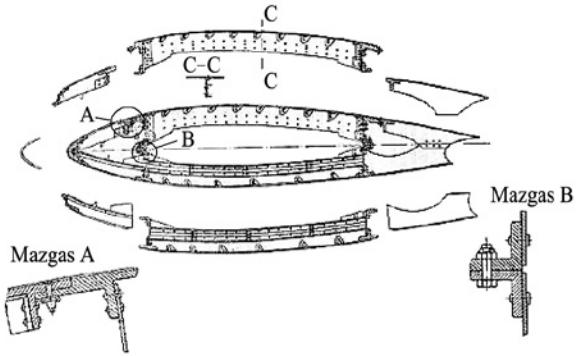
Naudojant rėmines nerviūras, galima sumažinti storo, didelių krūvių veikiamo sparno masę. Siekiant sumažinti darbo imlumą, gaminamos štampuotos rėminės nerviūros. Jos primena štampuotas sijos tipo nerviūras, tačiau savo konstrukcija yra monolitiniai rėmai.



65 pav. Rėminės sparno nerviūros sandara

Rėminę nerviūrą iš vienos arba abiejų pusių galima apsiūti danga. Tokia nerviūra turės sijos ir rėminio tipų nerviūrų bruožų. Šis sprendimas dažnai taikomas sustiprinant rėminio tipo nerviūras. Rėmines nerviūras patogu gaminti iš medžio. Būtent todėl daugumos medinius sparnus turėjusių lėktuvų ir sklandytuvų nerviūros buvo būtent rėminės.

Kai kurių šiuolaikinių lėktuvų sparnų konstrukcijose naudojamos surenkamosios rėminės metalinės nerviūros, neturinčios sienelių ir įstrižųjų stovelių.



66 pav. Surenkamosios rėminės nerviūros konstrukcija

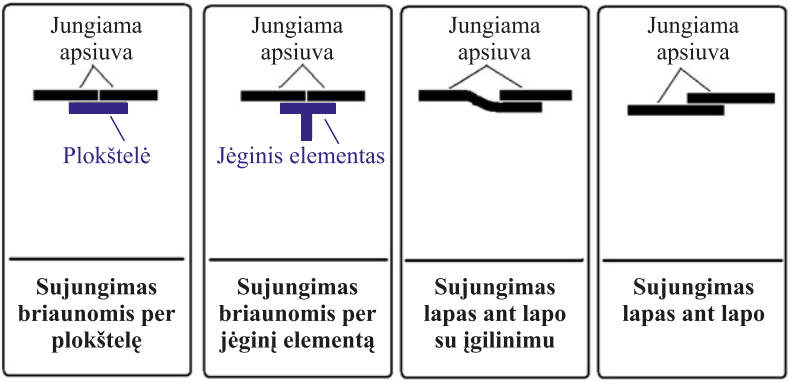
Tokias nerviūras patogu naudoti, kai sparnas technologiškai dalijamas į viršutinę ir apatinę plokštes. Plokštės surenkamos atskiruose stapeliuose, o vėliau, surenkant sparną, nerviūros sujungiamos varžtais, kniedėmis, virinant arba klijais.

Nerviūrų skaičius bei išdėstymo tankis priklauso nuo apsiuvos tipo, aerodinaminių krūvių intensyvumo, apsiuvos standumo (arba sistemos „apsiuva + stringeriai“ standumo), išorinės sparno geometrijos tikslumo reikalavimų. Be to, nerviūros montuojamos koncentruotų krūvių poveikio vietose, jei ten nėra kitų šiuos krūvius galinčių priimti konstrukcijos elementų.

4.5. Apsiuva

Ji sudaro išorinį sparno paviršių. Apsiuvos masė sparno konstrukcijoje gali sudaryti 30 ir daugiau procentų. Išorinis sparno apsiuvos paviršius turi būti lygus ir nešiurkštus. Veikiama eksploatacinių krūvių apsiuva turi deformuotis tiek, kad tai neturėtų neigiamos įtakos lėktuvo aerodinamikai, pastovumui ir pavaldumui. Kadangi apsiuva gali sudaryti gana memažą sparno konstrukcijos masės dalį, ją stengiamasi įtraukti į sparno darbą, priimant sukimą ir lenkimą. Aišku, tai galioja tik kalbant apie standžią apsiuvą. Lanksti apsiuva priima tik lokalius aerodinaminius krūvius ir palaiko jo profilio formą. Tačiau naudojant lankstaus tipo apsiuvą, sparno sukimui priimti turi būti suformuotas uždaras kontūras, aptrauktas standžia apsiuva ar naudojamas pakankamo skerspjūvio uždaro kontūro lonžeronas (pavyzdžiui, vamzdžio tipo). Siekiant suformuoti sukimui priimti tinkamą kontūrą, labiausiai paplitęs konstrukcinis sprendimas standžia apsiuva aptraukti sparno noselę iki lonžerono. Toliau, uodegėlės link, naudojama lanksti apsiuva. Tokiu būdu be sparno sukimui priimti reikalingo kontūro gaunamas geresnis noselės, turinčios didžiausią įtaką profilio aerodinamikai, paviršius.

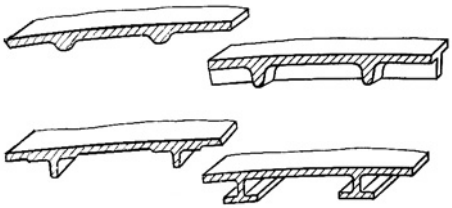
Standi apsiuva būdinga visiems didesniais greičiais skraidančių lėktuvų sparnams. Jos storis gali svyruoti nuo 0,5 iki 10 mm ir daugiau. Dažniausiai, ypač esant storesnei standžiai apsiuvai, jos storis mažėja artėjant į sparno galą. Jei standi apsiuva sudaryta iš atskirų lapų, jie jungiami vienu iš iliustracijoje parodytų būdų.



67 pav. Apsiuvos lapų jungimo būdai

Apsiuvos lapai jungiami „lapas ant lapo“ būdu tik tuomet, jei apsiuvos storis neviršija 0,6 mm. Storesni apsiuvos lapai paprastai jungiami kitais būdais, nesudarančiais laiptelių.

Apsiuvą gali sudaryti ir monolitinės plokštės. Tuomet jos būna arba trisluoksnės (vadinamosios sumuštinio tipo) arba frezuotos, štampuotos, lietos ar valcuotos su standumo elementais.



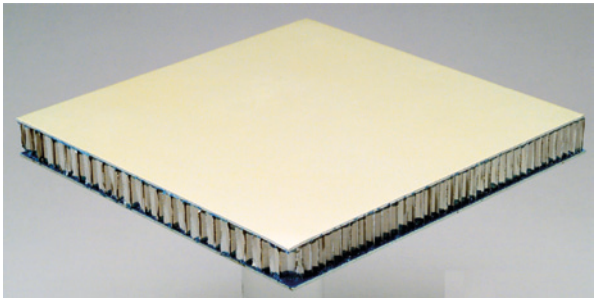
68 pav. Monolitinių plokščių su standumo briaunomis pjūviai

Frezuotų metalinių monolitinių plokščių ruošiniai gaminami valcuojant ar kalant. Sudėtingos geometrinės konfigūracijos plokštės frezuojamos kopijuojančiomis ar skaitmeninėmis programinėmis frezavimo staklėmis. Mažiau sudėtingas plokštes galima gaminti metalą frezuojant chemiškai. Tačiau frezuojant, iki 90 % ruošinio tiesiog paverčiama drožlėmis. Be to frezuotų plokščių mechaninės charakteristikos šiek tiek blogesnės nei pagamintų štampuojant ar presuojant.

Presuojant galima pagaminti tik plokštes, kurių skerspjūvis išilgai nekinta. Presuojant suformuojami ir išilginiai sustandinimo elementai, savotiški stringeriai. Presavimas neleidžia pasiekti pakankamo geometrinio tikslumo, todėl presuotos plokštės dar apdorojamos mechaniškai, formuojamos kalant.

Standi apsiuva gaminama iš metalų, plastikų, įvairių jų tarpusavio kombinacijų. Lanksčios apsiuvos pagrindą sudaro sintetinis audinys (paprastai tai lavsano audinys), dengtas keliais sluoksniais medžiagų, atliekančių apsaugos nuo ultravioletinių spindulių, grunto ir dekoratyvinę funkcijas. Istoriniuose lėktuvuose, siekiant išsaugoti autentiškumą, dar naudojamos ir drobės pagrindo lanksčios apsiuvos. Tačiau jos daug mažiau atsparios atmosferos, saulės spindulių poveikiams.

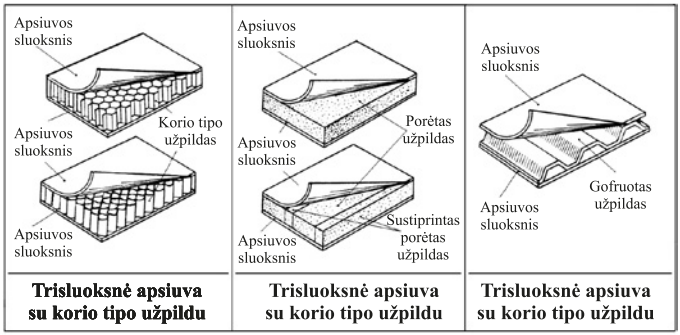
Šiuolaikiniuose lėktuvuose plačiai naudojamos standžios trisluoksnės apsiuvos, sudarytos iš išorinių, krūvius priimančių sluoksnių ir lengvo užpildo tarp jų. Tokios apsiuvos kartais dar vadinamos sumuštinio tipo apsiuvomis (vertimas iš angliško termino „sandwitch“).



69 pav. Trisluoksnės apsiuvos su korio tipo užpildu fragmentas

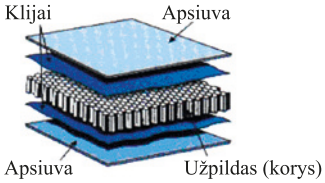
Trisluoksnė apsiuva sudaryta iš apsiuvos sluoksnių, tarp kurių yra užpildo sluoksnis. Apsiuvos sluoksniai gali būti metaliniai, kompozicininiai, plastmasiniai. Užpildas turi būti lengva medžiaga. Aviacijoje naudojami korio tipo, porėti ar gofruoti užpildai. Koriai ar gofrai gaminami iš metalo folijos, plono metalo lakšto, kompozicinių medžiagų, netgi specialiai armuoto popieriaus.

Porėtos medžiagos irgi gali būti įvairios. Visais atvejais svarbu, kad jos būtų pakankamai lengvos.



70 pav. Trisluoksnių apsiuvų su įvairių tipų užpildais sandara

Šiuolaikinėse konstrukcijose apsiuvos sluoksniai su užpildu dažniausiai suklijuojami, bet gali būti virinami ar lituojami. Būna konstrukcijų, kurias tam tikra prasme galima vadinti trisluoksnėmis, su prikniedytu prie apsiuvų užpildu.

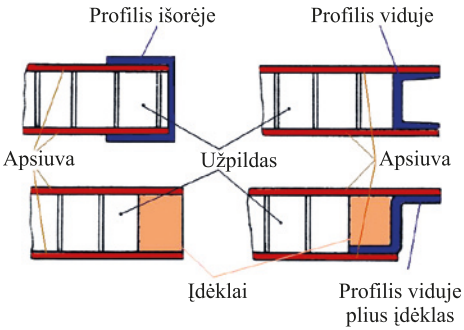


71 pav. Trisluoksnės apsiuvos sandara

Lengvas užpildas puikiai sustandina apsiuvos sluoksnius. Tokio „sumuštinio“ standumas, palyginti su vienų apsiuvų standumu, padidėja iki 100 kartų ar net daugiau. Standi trisluoksnė apsiuva leidžia gauti aerodinamiškai „švarius“ ir tikslius išorinius paviršius, sumažėja jos masė, pagerėja termoizoliacinės bei akustinės izoliacinės savybės. Todėl sparnų konstrukcijose galima sumažinti stringerių skaičių (ar net visai jų atsisakyti), rečiau išdėstyti nerviūras.

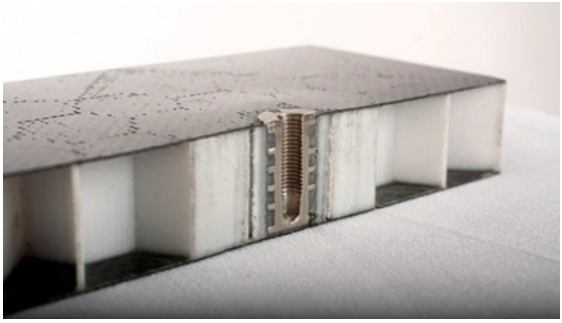
Aišku, trisluoksnės konstrukcijos pasižymi ir įvairiais trūkumais. Sudėtinga kontroliuoti apsiuvų jungčių su užpildais kokybę tiek gaminant, tiek eksploatuojant orlaivius. Be to, sudėtinga kokybiškai užbaigti apsiuvų kraštus, atskiras apsiuvų plokštes jungti tarpusavyje ar su kitais konstrukcijos elementais. Tokių apsiuvų kraštai sustiprinami

įvairiais profiliais. Taip pat, dalis pašalinto užpildo pakeičiama stipresnės medžiagos įdėklais.



72 pav. Trisluoksnių apsiuvų briaunų užbaigimo pavyzdžiai

Dažniausia trisluoksnes konstrukcijas jungiant su kitais elementais kontakto vietoje būtina sustiprinti užpildą ar bent jau apsiuvas. Tai padaryti technologiškai gali būti sudėtinga, ypač tuomet, jei būtina išlaikyti apsiuvų sluoksnių vientisumą, o tos vietos yra ne trisluoksnės plokštės kraštuose. Apskritai koncentruotų krūvių priėmimas ir perdavimas yra silpnoji trisluoksnių konstrukcijų vieta.



73 pav. Tvirtinimo elementas (hermetiška veržlė), įmontuotas į trisluoksnę apsiuvos plokštę

Taip pat trisluoksnėse konstrukcijose sudėtinga įtvirtinti įvairias veržles, įvores ar kitus konstrukcinius jungčių elementus. Dažnai sunku užtikrinti ir kontroliuoti tokių tvirtinimų kokybę.

5. LIEMUO

5.1. Bendrosios žinios

Liemenyje dirba lėktuvo įgula, gabenamas naudingas krovinys, veikia didžioji dalis sistemų. Be to, jame gali būti degalų talpyklos, važiuoklė, varikliai. Liemuo dažniausiai yra visas lėktuvo dalis jungianti grandis, nes prie jo tvirtinamas sparnas, uodega.

Liemuo – tai tūris, kuriame gabenamas krovinys. Krovinį (juo gali būti laikomi ir keleiviai) turi būti patogu greitai pakrauti ir iškrauti. Dažniausiai liemuo skrydžio metu turi saugoti krovinį nuo kenksmingų aplinkos veiksnių (žemos temperatūros ir slėgių, didelio oro srauto greičio) poveikio.

Liemuo (dažniausiai jo priekinė dalis) yra gera vieta įgulai įkurdinti.

Liemeniui keliami reikalavimai:

1. Mažiausias paties liemens ir jo interferencijos su kitais lėktuvo agregatais aerodinaminis pasipriešinimas.
2. Įgulai turi būti užtikrinta reikiama apžvalga visais skrydžio etapais.
3. Kroviniai ir lėktuvo dalys turi būti optimaliai išdėlioti, kad būtų galima palaikyti svorio centro padėtį, laikantis leistinų ribų.
4. Turi būti patogu pakrauti ir iškrauti krovinius, įlipti ir išlipti įgulai bei keleiviams. Keleivių ir įgulos evakuacija avarinėse situacijose turi atitikti keliamus reikalavimus.
5. Turi būti patogu gaminti, prižiūrėti ir remontuoti visas sistemas bei agregatus, esančius liemenyje.
6. Liemens jėginė schema turi būti racionali, leidžianti gauti minimalią jo masę.
7. Sudaryti būtinas komforto sąlygas įgulai ir keleiviams bei kroviniams visų skrydžio etapų metu.
8. Liemuo turi būti pakankamai patikimas ir gyvybingas visu eksploatacijos metu.

Šiuolaikiniuose lėktuvuose naudojamos šios liemenų schemos:

A. Normali vieno liemens

74 pav. Normalios schemos liemenį turintys „Airbus A30X“ serijos perspektyviniai lėktuvai. Tokia schema būdinga daugumai šiuolaikinių transportinių lėktuvų

Dėl komponavimo patogumo, minimalios masės ir minimalaus aerodinaminio pasipriešinimo – tai plačiausiai naudojama šiuolaikinių lėktuvų liemens schema. Tačiau kai kuriais atvejais ši schema nėra patogi komponuoti.

B. Dviejų sijų

75 pav. Lėktuvas „Northrop P-61 BLACK WIDOW“, kurio liemuo yra dviejų sijų su centrine dalimi schemos

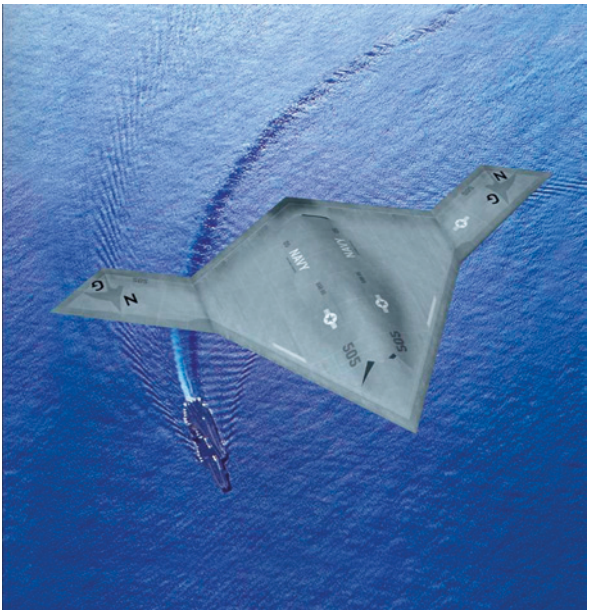
Ši liemens schema gali turėti kelis variantus: dviejų sijų su centrine dalimi, dviejų sijų (liemenų), įvairios nesimetrinės liemens schemos. Apskritai paėmus, tokios schemos liemuo šiek tiek sunkesnis ir turi didesnį pasipriešinimą nei vienas liemuo. Tačiau šioje schemoje kartais lengviau įkomponuoti reaktyvinį variklį, stumiantį propelerį, didelį krovinių pakrovimo liuką gale.

76 pav. „PZL Mieliec M-15“ tipo lėktuvas. Jo liemuo sudarytas iš trijų dalių

Pavyzdžiu gali būti Lenkijoje sukurtas ir pagamintas lėktuvas „PZL Mieliec M-15“ (76 pav.). Tai specializuotas žemės ūkio lėktuvas, kurio liemuo sudarytas iš trijų dalių. Dvi išorinės dalys yra chemikalų bakai. Jos baigiasi sijomis, prie kurių pritvirtinti kiliai ir stabilizatorius. Centrinė liemens dalis yra įgulos kabina, degalų bakas ir reaktyvinio variklio tvirtinimo vieta. Aukštai iškeltas ir liemens užstojamas variklio oro ėmiklis gerai apsaugotas nuo pašalinių kūnų įsiurbimo. Tai itin svarbu, nes šio tipo lėktuvai eksploatuojami mažai parengtose lauko aikštelėse.

C. Beliemenė (skraidantis sparnas)

Būdinga tai, jog beliemenės schemos lėktuvas neturi aiškiai išreikšto liemens (77 pav.). Liemens funkcijas atlieka vidiniai sparno tūriai. Sunki komponuotės požiūriu liemens schema. Tačiau paties liemens pasipriešinimo šiuo atveju arba visai nėra, arba jis mažas.



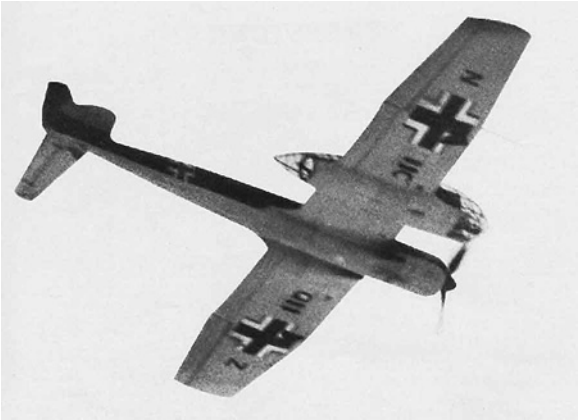
77 pav. Beliemenės schemos bepilotis lėktuvas X-47B

D. Skraidanti valtis

Dėl išorės formos ypatybių kartais vieno liemens schemą turintys hidrolėktuvai arba amfibijos išskiriami į atskirą schemą – skraidančias valtis (78 pav.).

78 pav. Skraidančios valties schemos liemenį turinti amfibija „Dornier S-Ray 007“

Gali būti ir įvairių kitų schemų liemenų. Pavyzdžiui, Antrojo pasaulinio karo metais Vokietijoje buvo sukurtas ir naudojamas nesimetriškas lėktuvas „Blohm und Voss B.V. 141“ (79 pav.). Schema naudota, siekiant pagerinti įgulai apžvalgą (tai žvalgybai iš oro skirtas lėktuvas) ir išplėsti ginantis nuo naikintuvų apšaudomą zoną. Beje, nepaisant daug triūso, įdėto tobulinant šia konstrukciją, lėktuvas skraidė prastai ir vėliau jo teko atsisakyti.



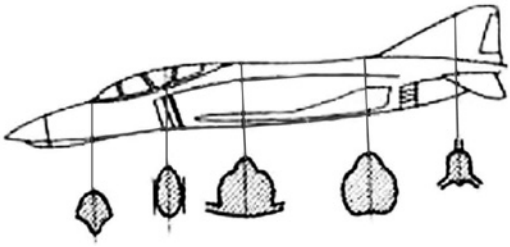
79 pav. Antrojo pasaulinio karo laikų Vokietijoje sukurtas nesimetriškas lėktuvas „Blohm und Voss B.V. 141“

80 pav. NASA kurti X serijos eksperimentiniai lėktuvai. Jie turi liemenis, tačiau yra be aiškiai išreikštų sparnų. Liemuo šiais atvejais atlieka ir sparno funkcijas

81 pav. Egzotiškos formos liemenį turintis „Aerodyne Lippsch“. Šis lėktuvas turi ne tik neįprastos formos liemenį, bet ir yra besparnis

Liemens išorinė forma labai svarbi. Aerodinaminiu požiūriu geriausias toks liemuo, kurio išorinė forma yra simetriškas sukimosi kūnas, su nuožulniai siurėjančiomis priekine ir galine dalimis. Tokia forma leidžia gauti minimalų paviršiaus, apibrėžto apie reikiamų gabaritų kūną, plotą. Savo ruožtu tai reiškia ir mažiausius: apsiuvos plotą (drauge ir mažiausią apsiuvos masę), išorinio paviršiaus plotą (kartu ir išorinio paviršiaus pasipriešinimą). Sukimosi kūnas dažnai būna tinkamiausias masės požiūriu, gerai dirba veikiamas vidinio slėgio. Jungiant sparną ir tokios formos liemenį, gaunamas mažiausias tarpusavio sąveikos pasipriešinimo (interferencijos) dydis. Tačiau dėl įvairių sumetimų ne visuomet įmanoma išlaikyti tokią idealią formą. Pavyzdžiui, įgulos kabinos gaubtai ir langai, oro ėmikliai, radiolokatorių antenos turi būti išdėstyti taip, kad tenka aukoti idealią liemens formą. Dėl to didėja jo pasipriešinimas, masė. Tokią pačią įtaką turi ir liemens uodeginės dalies forma, kai tam įtaką daro krovinių pakrovimo ir iškrovimo patogumas ar kiti veiksniai.

Liemens skerspjūvio formą diktuoja krovinių, keleivių salonų, variklių ir kitų lėktuvo agregatų komponavimas.

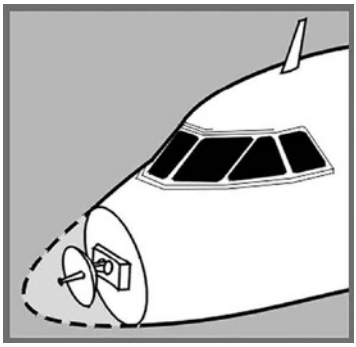


82 pav. Lėktuvo „F-4 Phantom“ liemens skerspjūviai įvairiose vietose

Tai labai akivaizdžiai matyti iš 82 pav. parodytų lėktuvo „F-4 Phantom“ liemens skerspjūvių formų. Kadangi šio lėktuvo ne visas liemuo hermetiškas (hermetiška tiktai įgulos kabinos vieta), siekiant gauti kuo mažesnį liemens skerspjūvio plotą, jis suprojektuotas gana sudėtingos, išilgai kintančios formos.

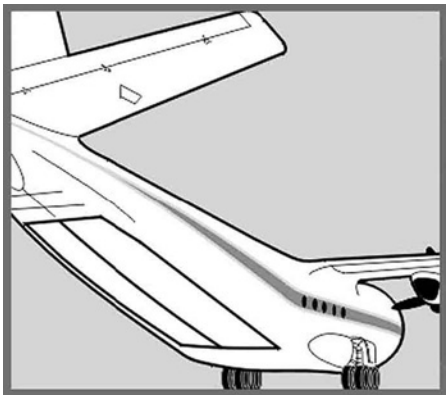
Stačiakampio ar kvadrato skerspjūvio liemenį paprasčiau gaminti, tikslingiau išnaudojami jo vidiniai tūriai. Tačiau tokio skerspjūvio liemuo neracionalus, kai jame turi būti palaikomas vidinis slėgis.

Liemens priekinėje dalyje paprastai yra įgulos kabina. Vienviečų ar dviviečių lėktuvų kabinos viršutinė dalis gali būti daroma kaip atskiras permatomas gaubtas. Transportiniuose lėktuvuose įgulos kabinos langai sudaro laiptuotą konstrukciją. Visais atvejais svarbiausia, kad įgula turėtų reikiamą regėjimo lauką, o visa konstrukcija minimaliai padidintų liemens pasipriešinimą.



83 pav. Tipiška šiuolaikinio komercinio lėktuvo liemens priekinės dalies forma. Po punktyrine linija apibrėžtu gaubto kontūru matyti radaro antena

Daugelio lėktuvų liemens priekyje montuojamas radaras. Jo antena uždengiama radijo bangoms laidžiu gaubtu. Būtent radaro ir įgulos kabinos komponavimo reikalavimai kartu su aerodinaminiais reikalavimais lemia tokių lėktuvų priekinės dalies formą.



84 pav. Krovinius transportuoti pritaikyto lėktuvo liemens galo forma

Šiuolaikinių krovininių lėktuvų liemens gale daromas didelis pakrovimo ir iškrovimo liukas. Skrendant jis būna uždarytas, o pakraunant ir iškraunant krovinius jo dalis sudaro šias operacijas palengvinantį trapą. Daugumos krovininių lėktuvų galiniai krovinių liukai gali atsidaryti skrydžio metu parašiutininkams arba kroviniams išmesti.

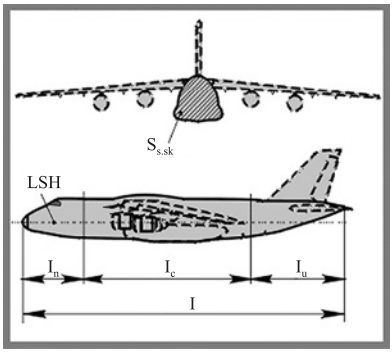
85 pav. Krovininio lėktuvo „C-130 Hercules“ liemens galas su atidarytu pakrovimo ir iškrovimo liuku. Apačioje matyti į žemę atremtas trapas

5.2. Geometriniai liemens parametrai

Liemuo apibūdinamas šiais geometriniais parametrais:

a. Ilgiu l. Savo ruožtu liemens ilgis l suprantamas kaip nosies ilgio l_n, centrinės dalies ilgio l_c ir uodeginės dalies ilgio l_u suma:

$$l = l_n + l_c + l_u$$



86 pav. Liemens geometriniai parametrai
Čia LSH – liemens statybinė horizontalė

Liemens ilgis priklauso nuo stabilizatoriaus ir kilio peties, orlaivio centruotės ir komponuotės ypatybių.

b. Skersinio skerspjūvio plotu $S_{s.sk}$. Šis plotas gaunamas perkirtus liemenį plokštuma, statmena jo LSH (LSH – liemens statybinė horizontalė) toje vietoje, kurioje šis skerspjūvio plotas didžiausias. Visuomet stengiamasi kad šis plotas būtų minimalus. Nedidelių lėktuvų liemens skerspjūvio plotą lemia arba kabinos, arba variklio (variklių) gabaritai. Didesniems lėktuvams svarbiausia įkomponuoti krovinius, liemenyje esančią įrangą.

c. Liemens skersmeniu d_l. Liemens skersmuo tai jo skerspjūvio skersmuo. Ne cilindro formos liemeniui taikoma efektyviojo skersmens d_{el} sąvoka ir tuomet:

$$d_{el} = 2(S_{s.sk}/\pi)^{1/2}$$

c. Liemens proilgiu A_l. Apvalaus skerspjūvio liemens proilgis:

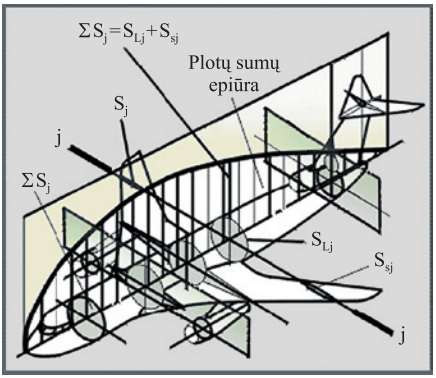
$$A_l = l/d_l$$

Bet kokio kitokio skerspjūvio liemens proilgis:

$$A_l = l/d_{el}$$

Nuo proilgio labai priklauso liemens aerodinaminio pasipriešinimo dydis. Bet kokios formos liemens aerodinaminis pasipriešinimas susideda iš trijų dedamųjų: trinties, slėgio ir banginio pasipriešinimų. Skrendant ikigarsiniais greičiais, didžiausią dalį sudaro trinties pasipriešinimas. Jo dydis tiesiog proporcingas liemens paviršiaus plotui. Todėl ilgio didinimas, esant nekintančiam skerspjūvio plotui, sukelia aerodinaminio pasipriešinimo didėjimą. Mažiausias ikigarsinio lėktuvo liemens pasipriešinimas pasiekiamas, kai $A_l = 4 \div 8$. Lėktuvams, skraidantiems didesniais nei M_{KR} (M_{KR} – kritinis Macho skaičius, kurį pasiekus liemenį aptekančiame sraute atsiranda viršgarsinis aptekėjimo greitis) greičiais, aerodinaminio pasipriešinimo minimumo požiūriu optimali A_l reikšmė svyruoja nuo 10 iki 12.

Žiūrint iš viršaus liemuo paprastai yra simetriškas lėktuvo išilginės ašies atžvilgiu. Lėktuvų, skraidančių dideliais ikigarsiniais ir viršgarsiniais greičiais, liemenys sparno ir liemens sujungimo vietoje dažnai būna „suspausti“. Tai plotų taisyklės pritaikymo pasėkmė. Laikantis plotų taisyklės, sumažinamas liemens aerodinaminis pasipriešinimas. Plotų taisyklė skelbia, kad visų lėktuvo dalių skerspjūvių plotų, gautų kertant lėktuvą plokštuma, statmena jo išilginei ašiai, sumų epiūra turi sklandžiai, be šuolių ir staigių pokyčių, kisti išilgai lėktuvo išilginės ašies.



87 pav. Liemens plotų taisyklės iliustracija

Iliustracijoje parodyta plotų taisyklės grafinė išraiška. Lėktuvą kertant bet kuria statmena jo išilginei ašiai plokštuma j, gauname liemens skerspjūvio plotą S_{Lj} ir du sparno skerspjūvių plotus S_{Sj} (bendruoju atveju tai gali būti bet kurių patenkančių į kertančiąją plokštumą agregatų plotai). Jų suma

j-ajame skerspjūvyje bus:

$$\Sigma S_j = S_{Lj}+2S_{Sj}$$

Kiekviename skerspjūvyje išilgai lėktuvo ašies atidėję suminio ploto ΣS_j dydį, gausime jo pasiskirstymą. Šis pasiskirstymas neturi turėti staigių šuolių. Geriausia, kai jo pokytis labai sklandus. Kuo didesnis orlaivio skrydžio greitis, tuo didesnę įtaką pasipriešinimui turi plotų taisyklės laikymasis. Todėl sparno ir liemens, kitų agregatų prijungimų vietose liemens skerspjūvio plotas sklandžiai mažinamas.

5.3. Liemenį veikiantys krūviai

Kaip ir visus lėktuvo agregatus, liemenį veikia aerodinaminiai, masiniai inerciniai bei giroskopiniai krūviai. Liemeniui taip pat perduodami krūviai, veikiantys per prie jo pritvirtintus agregatus.

Išnagrinėsime tiesiai ir tolygiai skrendančio dviejų variklių lėktuvo liemenį veikiančius krūvius. Du lėktuvo varikliai pritvirtinti liemens gale. Kilis su viršuje esančiu stabilizatoriumi taip pat yra liemens gale. Nagrinėsime vertikaliojoje ir horizontaliojoje plokštumose veikiančius krūvius. Plokštumos apibrėžiamos koordinačių sistemomis: x ir y bei x ir z. Koordinačių sistemų pradžia sutampa su lėktuvo masės centru. Braižant epiūrą liemuo laikomas sija, standžiai įtvirtinta sparno tvirtinimo mazgo vietoje.

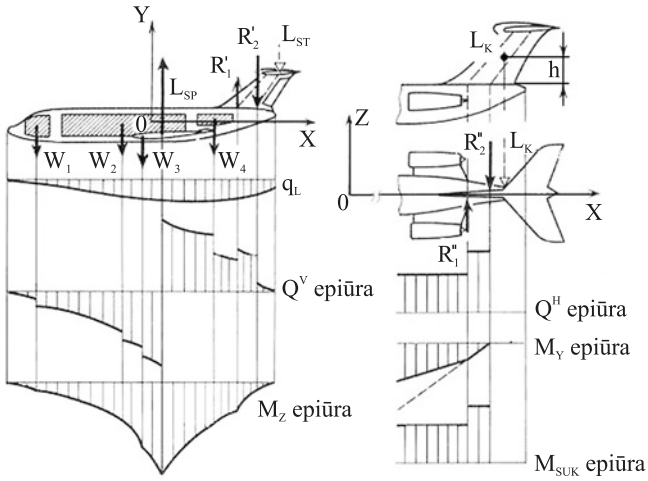
Vertikalioje plokštumoje liemenį veikiančios jėgos:

Skrendantį lėktuvą veikia sparno keliamoji jėga L_{SP}, pridėta sparno slėgio centre. Liemenį veikianti sparno keliamoji jėga L_{SP} pridedama sparno tvirtinimo prie liemens taške. Stabilizatoriaus keliamoji jėga L_{ST} pridėta jo slėgio centre. Ji nukreipta žemyn. Ji į liemenį persiduoda kaip reakcijų R'_1 ir R'_2, kylančių kilio tvirtinimo taškuose, pora. Įgulos kabinos prietaisų, lėktuvo įrangos ir pačios įgulos masė

W_1 pridedama kaip koncentruotas krūvis. Lygiai taip pat pavaizduoti krovinio krūvis W_2 ir degalų liemenyje krūvis W_3. Krūvis W_4 atitinka variklių masinį inercinį krūvį. Paskirstyta liemens masė pavaizduota kaip jo masinių inercinių krūvių epiūra q_L.

Vertikalioje plokštumoje liemenį kerpančiųjų jėgų epiūra Q_V koncentruotų krūvių pridėjimo vietose turi charakteringus šuolius.

Lenkimo momentų vertikalioje plokštumoje epiūra M_Z šiuose taškuose pasižymi lūžiais.



88 pav. Liemenį veikiantys krūviai ir jų epiūros

Horizontalioje plokštumoje liemenį veikiančios jėgos:

Skrendant atlenkus krypties vairą susidaro kilį veikianti aerodinaminė jėga L_K, pridėta kilio slėgio centre. Tarkime, kad jis atstumu h nutolęs nuo liemens viršaus. Veikiant šiai jėgai kilio ir liemens sujungimo mazguose kyla priešingų krypčių horizontalios reakcijos R''_1 ir R''_2. Jų sukelta kirpimo krūvių horizontalioje plokštumoje epiūra Q_H. Ši epiūra turi būdingus šuolius jėgų R''_1 ir R''_2 pridėjimo taškuose. Toliau epiūra nekinta iki pat sparno tvirtinimo taško.

Jėgos R''_1 ir R''_2 taip pat sukelia liemens lenkimą horizontalioje plokštumoje. Kadangi reakcija R''_1 nukreipta priešinga kryptimi nei reakcija R''_2, jos pridėjimo taške atsiranda lenkimo momento lūžis

mažėjimo kryptimi. Toliau lenkimo momentas tiesiškai didėja iki pat sparno tvirtinimo taško.

Tos pašios jėgos sukelia ir liemens sukimą aplink jo standumo ašį. Sukimo momento epiūra M_{SUK} parodyta 88 pav. dešinės pusės apačioje. Ši epiūra pasižymi šuoliais reakcijų $R^{//}_1$ ir $R^{//}_2$ pridėjimo taškuose. Už $R^{//}_1$ pridėjimo taško einant sparno tvirtinimo taško link, sukimo momentas išilgai liemens išlieka pastovus.

Be išnagrinėtų krūvių, hermetiškus liemenis dar veikia vidinis slėgis. Kadangi šiuolaikiniai lėktuvai skraido itin aukštai, slėgių skirtumas tarp liemens vidaus ir išorės yra nemažas. Įvertinus tai, kad vidinis slėgis veikia didelį paviršių, gaunami labai dideli vidinio slėgio poveikiai.

Papildomais aerodinaminiais krūviais liemuo gali būti apkraunamas ir nuo jo viduje esančių oro ėmiklių kanalų. Tokie krūviai būdingi daugumai šiuolaikinių naikintuvų ir atakos lėktuvų liemenims.

6. LIEMENS KONSTRUKCIJA

6.1. Liemens konstrukcijų (jėginių schemų) tipai. Jų panaudojimas, privalumai ir trūkumai.

Kaip ir sparno, liemens konstrukcijos tipas parodo, iš kokių konstrukcinių elementų sudarytas liemuo, kurie elementai priima kokius krūvius. Taip pat jėginė schema parodo, kaip tie krūviai pasiskirsto tarp atskirų elementų.

Liemens konstrukcija gali būti vieno iš šių konstrukcijų tipų:

1. Karkasinis:

1. a) Rėminis.

1. b) Lonžeroninis.

2. Pusiau monokokas.

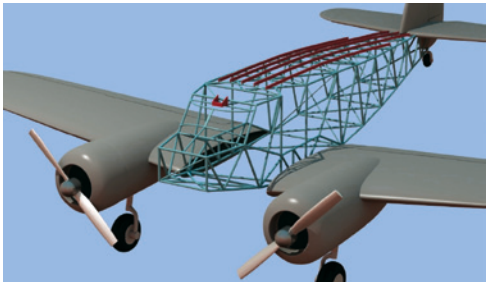
3. Monokokas.

Dalis liemens gali turėti vieną jėginę schemą, kita dalis – kitą. Pavyzdžiui, priekinė liemens dalis gali būti pusiau monokokas, o galinė – lonžeroninė.

1. Karkasinis liemuo

1.a) Karkasinis rėminis liemuo

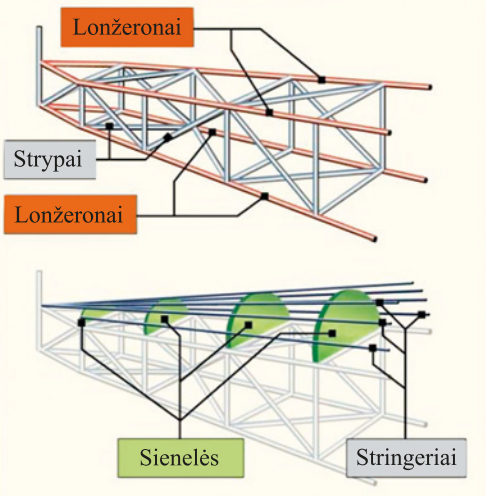
Jis sudarytas iš erdvinio rėmo – karkaso, aptraukto lanksčia arba standžia apsiuva. Visus krūvius šio tipo liemenyje priima karkasas (išskyrus vidinį slėgį). Apsiuva reikalinga tik reikiamai formai palaikyti. Pats rėmas susideda iš strypų.



89 pav. Dviejų variklių lėktuvo, turinčio tipišką karkasinį rėminį liemenį, jėginis liemens karkasas. Šiam liemeniui panaudota erdvinio rėmo konstrukcija

89 pav. parodyto karkasinio rėminio liemens viršuje sumontuoti stringeriai. Jie sustiprina apsiuvą ir padeda sujungti ją su rėmu.

Konstruojant tokį rėmą svarbu, kad jis būtų sudarytas iš trikampių elementų. Išilginiai rėmo strypai vadinami lonžeronais. Vertikalūs ir horizontalūs strypai tarp lonžeronų dar vadinami statramsčiais o įstrižieji – įstrižainėmis. Jei rėmas sudarytas ne iš trikampių elementų, jis turi būti sutvirtintas įstrižai įtemptomis atatampomis (lynais arba lanksčiomis juostomis). Bendras principas toks: jei rėmo elementai tarpusavyje sujungti lankstiškai, turi būti pasiekta, kad nė vienoje plokštumoje rėmas nebūtų mechanizmas.

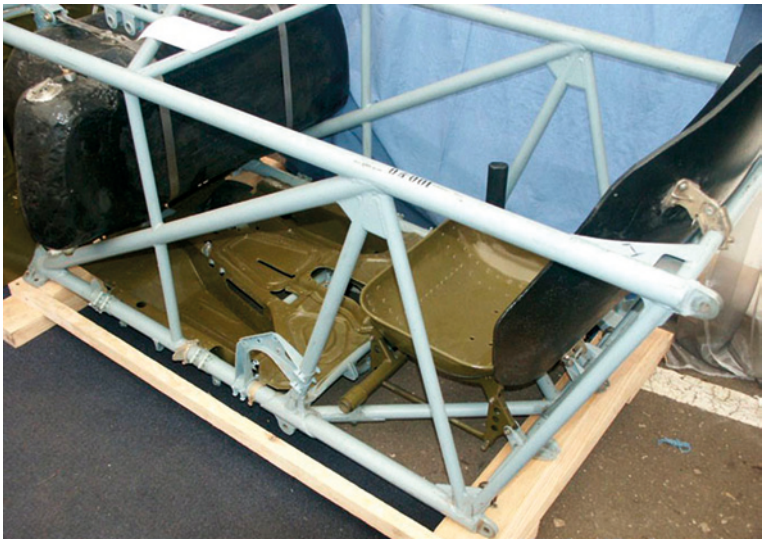


90 pav. Karkasinio rėminio liemens konstrukcijos elementai

Lonžeronai priima liemenį, veikiantį lenkimo momentą tiek horizontalioje, tiek vertikalioje plokštumose. Tokiame liemenyje turi būti bent trys lonžeronai. Liemens sukimą kartu priima visi rėmo elementai. Keturkampis rėmas nėra itin gera konstrukcija aerodinaminiu požiūriu. Todėl dažnai jo viršuje suformuojamas aptakas. Aptako formą lemia išilgai išdėstytos sienelės, ant kurių pritvirtinti stringeriai. Ši konstrukcija priima tik liemenį veikiančius aerodinaminius krūvius. Aerodinamikai pagerinti analogiškos konstrukcijos aptakai gali būti naudojami ir liemens apačioje bei šonuose.

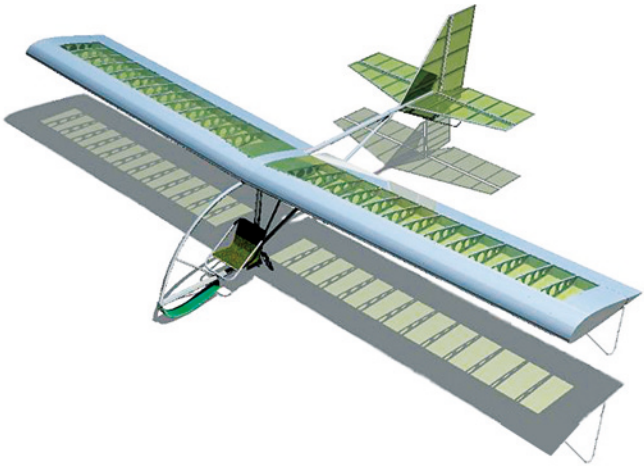
Rėmo strypai tarpusavyje jungiami suvirinant (91 pav.) kniedėmis ar varžtais. Mediniai ir plastmasiniai rėmo elementai gali būti klijuojami. Bendruoju atveju suvirinta jungtis yra lengvesnė nei jungtis varžtais ar kniedėmis. Tačiau suvirinto liemens geometriją dažniausiai tenka papildomai koreguoti. Be to, daugumą geros kokybės konstrukcinio plieno (o liemuo turi būti daromas būtent iš tokio plieno elementų) rūšių po suvirinimo reikia papildomai termiškai apdoroti. Kadangi netgi nedidelio lėktuvo liemens gabaritai gana dideli, terminis apdorojimas po suvirinimo dažnai technologiškai komplikuotas.

Stiprumo požiūriu rėminį liemenį tinkamiausia gaminti iš tuščiavidurių plonasienių vamzdžių. Tačiau juos sudėtingiau jungti vienas prie kito (būtina pritaikyti galus). Yra rėminių liemenų, pagamintų naudojant keturkampio skerspjūvio vamzdžius ar net atvirus profilius.



91 pav. Suvirinti rėminio liemens vamzdiniai elementai

Liemens konstrukcijai galima naudoti plokščią rėmą. Jis gerai priima krūvius, veikiančius vertikalioje plokštumoje, tačiau visiškai nedirba lenkimui horizontalioje plokštumoje ir sukimui.



92 pav. Mokomojo sklandytuvo sandara. Jo liemuo – plokščias rėmas

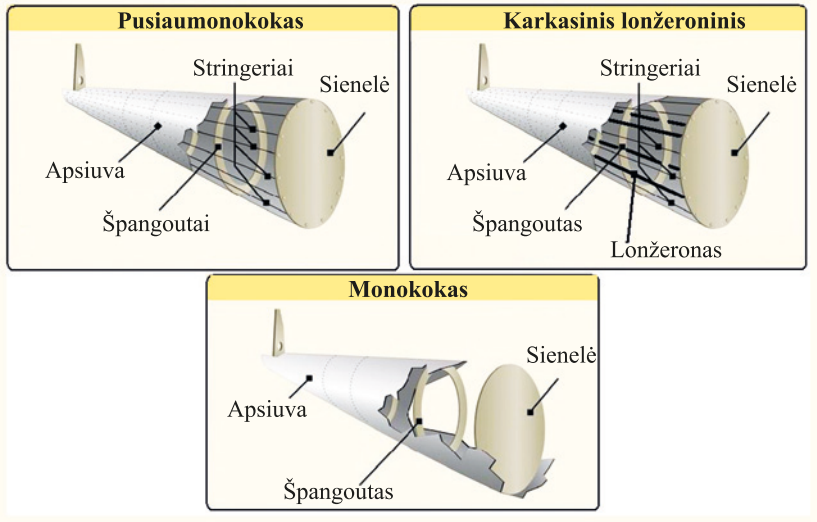
Todėl jei liemens konstrukcijai panaudotas plokščias rėmas, jis turi būti sutvirtintas atatampomis, kad galėtų priimti sukimą ir lenkimą horizontalioje plokštumoje.

Rėminis liemuo aptraukiamas lanksčia arba standžia apsiuva. Šio tipo liemenų apsiuva tik suteikia formą sumažindama aerodinaminį pasipriešinimą ir saugo įgulą, keleivius bei krovinius nuo išorinio poveikio. Schema nėra tinkama hermetiškam, aukštai skraidančio lėktuvo liemeniui. Rėminis liemuo naudojamas lėtai ir nedideliuose aukščiuose skraidančių lėktuvų konstrukcijose, kurias veikia sąlyginai nedideli krūviai. Konstrukcija nejautri apsiuvos pažeidimams, tačiau didesni strypų ar atatampų pažeidimai gali sukelti jos suirimą veikiant krūviams.

1.b) Karkasinis lonžeroninis liemuo

Didėjant skrydžio greičiams, lėktuvų liemenims tapo būtina suteikti formą, pasižyminčią mažu aerodinaminiu pasipriešinimu. Taip pat iškilo uždavinys sukurti lengvas konstrukcijas, priimančias didelius krūvius, pasižyminčius dideliu tiek vietiniu, tiek bendruoju standumu. Liemens viduje imta montuoti daug sistemų, iškilo būtinybė pervežti didelių gabaritų krovinius. Būtent tai paskatino karkasinio

lonžeroninio tipo liemens atsiradimą. Šio tipo liemens sandara parodyta 93 pav. viršuje dešinėje pusėje. Statybinės mechanikos požiūriu karkasinis lonžeroninis liemuo yra plonasienė sija, susidedanti iš lonžeronų, stringerių (šie elementai dar vadinami išilginiais), špantų (tai skersiniai liemens konstrukcijos elementai) ir apsiuvos. Liemens konstrukcijoje gali būti ir sienelės, dalijančios liemenį į atskiras dalis. Sienelės tuomet taip pat atlieka špantų funkcijas. Karkasinio lonžeroninio liemens apsiuva visuomet standi.



93 pav. Karkasinio lonžeroninio, pusiau monokoko ir monokoko tipų liemenų sandara

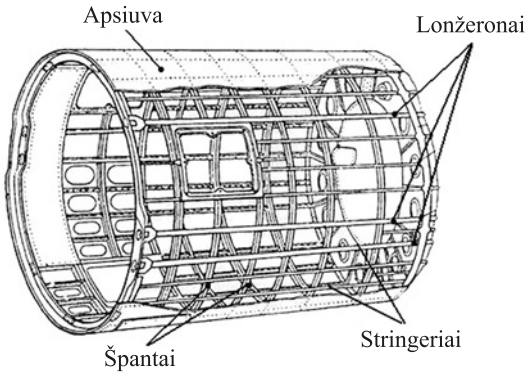
Praktiškai visas liemens lenkimas vertikaliojoje ir horizontaliojoje plokštumose priimamas stipriais lonžeronais. Dėl to jie apkraunami tempimo ir gniuždymo įtempiais.

Stringeriai, panašiai kaip ir sparno konstrukcijoje, sustiprina apsiuvą, padeda perduoti vietinius aerodinaminius ir kitokius krūvius špantams. Kartu su apsiuva priimdami nedidelę dalį lenkimo momento, jie yra veikiami tempimo ir gniuždymo įtempių. Šie įtempiai lonžeroninio liemens stringeriuose nedideli.

Špantai suteikia liemeniui skerspjūvio formą. Paremdami apsiuvą ir stringerius, špantai priima vietinius aerodinaminius krūvius bei koncentruotus prie jų pritvirtintų agregatų ir kitos įrangos krūvius. Špantai skirstomi į eilinius ir sustiprintus. Pastarieji statomi koncentruotų krūvių veikiamose vietose. Prie sustiprintų špantų tvirtinami kiti lėktuvo agregatai, įranga.

94 pav. Antrojo pasaulinio karo laikų naikintuvo „North American P-51 Mustang“, turinčio karkasinį lonžeroninį liemenį, sandara. Liemens šone matosi nuo variklio skyriaus priešgaisrinės sienelės iki pat galo einantys lonžeronai

Karkasinio lonžeroninio liemens apsiuva sudaro išorinį liemens paviršių, priima ir kitiems elementams perduoda aerodinaminius krūvius. Sudarydama liemens skerspjūvio kontūrą, apsiuva priima liemens sukimą, kirpimą ir nedidelę dalį lenkimo momento. Dėl to apsiuvoje kyla tangentiniai ir normaliniai įtempiai.



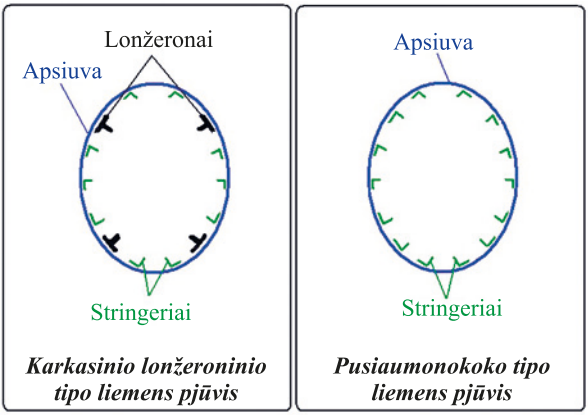
95 pav. Transportinio lėktuvo karkasinio lonžeroninio liemens sekcija

Karkasinio lonžeroninio tipo liemens konstrukcija tinka ten, kur dideliais krūviais apkrautame liemenyje būtina daryti dideles angas (kroviniams pakrauti ir iškrauti, įvairioms durims, bombų liukus). Tokio tipo konstrukcijas galima naudoti, kai liemuo hermetiškas ir yra apkraunamas vidinio slėgio krūviais.

Kai liemenį veikia dideli krūviai ir jame nėra didelių angų, karkasinė lonžeroninė schema tampa netikslinga. Ypač tai pasakytina apie vidinio slėgio veikiamus liemenis. Jiems naudojama gana stora apsiuva, mažai dalyvaujanti priimant liemens lenkimą. Tuomet nevisiškai išnaudojamos apsiuvos stiprumo savybės, netikslinga naudoti tik lenkimą priimančius lonžeronus. Karkasinis lonžeroninis liemuo jautrus lonžeronų pažeidimams. Į tai būtina atsižvelgti konstruojant karinių lėktuvų liemenis, nes šiems lėktuvams tokie pažeidimai gana tikėtini. Didesnis lonžeronų skaičus sumažina kovinio pažeidimo daromą žalą.

2. Pusiau monokoko schemos liemuo

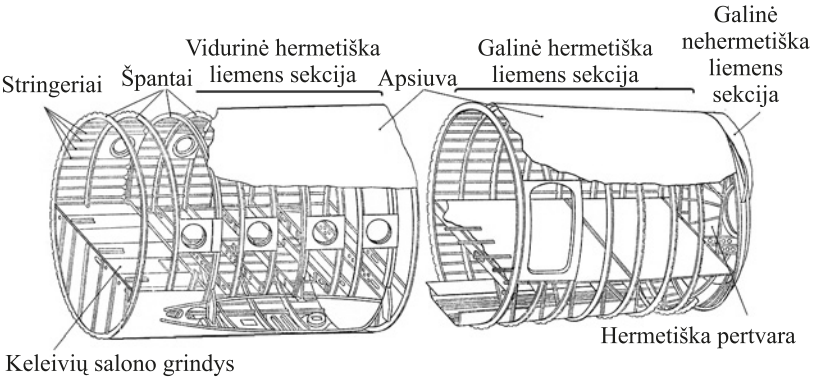
Tai liemuo, savo konstrukcija panašus į karkasinį lonžeroninį. Tačiau jis neturi lonžeronų. Tai akivaizdžiai matosi 96 pav. parodytoje iliustracijoje, kurioje pateikti karkasinio lonžeroninio ir pusiau monokoko tipų liemenų skerspjūviai.

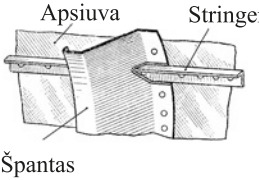


96 pav. Karkasinio lonžeroninio ir pusiau monokokinio liemenų skerspjūviai

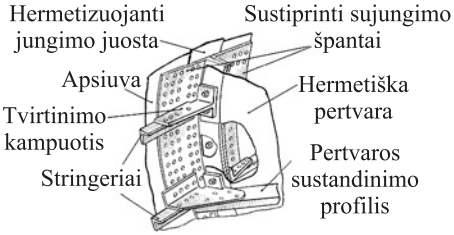
Liemuo sudarytas iš špantų, stringerių, standžios apsiuvos ir (kai kuriuose liemenyse) sienelių. Stringeriai yra išilginiai liemens konstrukcijos elementai o špantai ir sienelės – skersiniai.

Gana stora apsiuva kartu su ją sustiprinančiais stringeriais priima visą liemenį veikiantį lenkimą visose plokštumose. Apsiuvos priimama lenkimo dalis priklauso nuo jos storio ir stringerių išdėstymo tankumo bei stringerių skerspjūvių plotų. Kuo storesnė apsiuva ir kuo retesni stringeriai, tuo didesnę lenkimo dalį ji priima. Kartu su špantais apsiuva išlaiko liemens išorės formą. Ji priima aerodinaminius, vidinio slėgio, liemens sukimo ir kirpimo krūvius. Todėl pusiau monokoko konstrukcijos liemens apsiuvą veikia ne tik tempimo bei gniuždymo, bet ir šlyties įtempiai. Pusiau monokoko tipo liemenyse naudojama tik standi apsiuva.





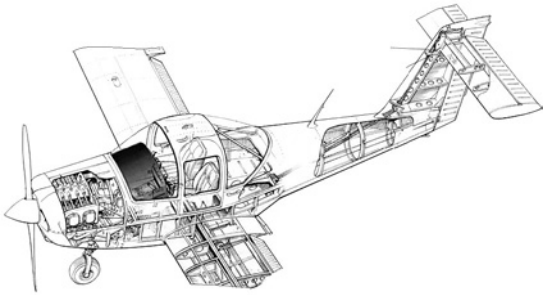
Tipinis apsiuvos stringerio ir španto sujungimas



Galinių hermetiškos ir nehemetiškos liemens sekcijų bei hermetiškos pertvaros sujungimas

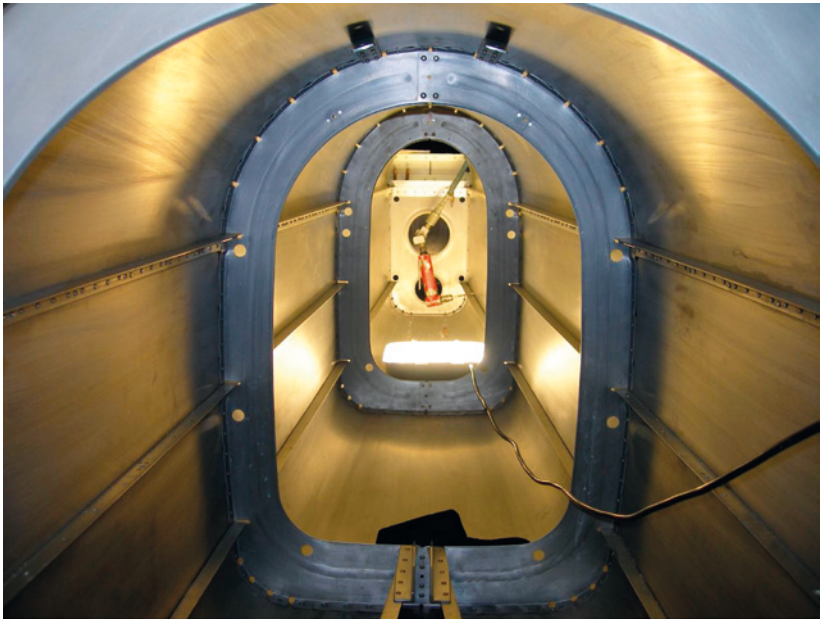
97 pav. Keleivinio lėktuvo pusiau monokokinio liemens sandara ir tipinių mazgų konstrukcija

Stringeriai prilaiko ir sustandina apsiuvą. Pusiau monokoko tipo liemenyje stringeriai išdėstomi apie 80÷300 mm atstumu vienas nuo kito.



98 pav. Lėktuvo „Piper PA-38 Tomahawk“ liemens sandara. Galinės liemens dalies konstrukcija – pusiau monokokas

Špantai suteikia apsiuvai formą. Prie jų tvirtinamos kitos lėktuvo dalys (sparnas ir t. t.). Kuo dažniau išdėstyti špantai, tuo geriau paremiama apsiuva ir stringeriai, padidėja jų kritiniai pastovumo netekimo įtempiai. Paprastai pusiau monokoko tipo liemenyje špantai išdėstomi dažniau nei karkasiniame lonžeroniniame.



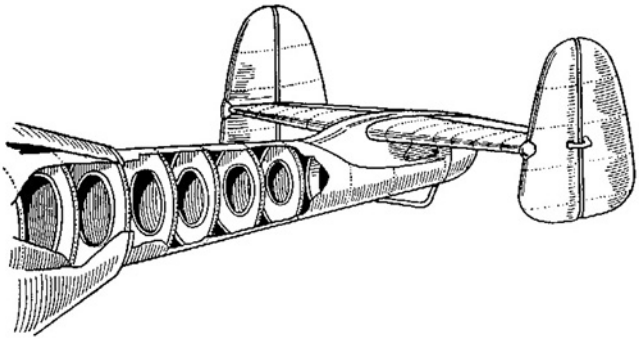
99 pav. Lengvo lėktuvo RV-8 pusiau monokokinės konstrukcijos liemens galinės dalies vaizdas iš vidaus

Pusiau monokoko tipo liemenyje daug jo konstrukciniais elementais neužimtos erdvės, kurią lengva išnaudoti. Konstrukcija gyvybinga, nejautri sąlyginai nedideliems pažeidimams. Tačiau durų, langų, eksploatacinių liukų angos suardo konstrukcijos vientisumą, ją susilpnina. Tokias vietas būtina sustiprinti apvadais, storesne apsiuva, didesnio skerspjūvio stringeriais ar lokaliose vietose išdėstytais lonžeronais (kai anga gana didelė).

3. Monokoko schemos liemuo

Monokoko tipo liemuo sudarytas iš storos apsiuvos (ji gali būti trisluoksnė, „sumuštinio“ tipo) ir špantų. Liemenį į atskiras dalis gali dalyti sienelės (pertvaros), taip pat atliekančios špantų funkcijas. Tam tikrose vietose ties durų, krovinių liukų angomis gali būti panaudoti lonžeronai ar stringeriai. Apsiuva priima visus išorinius ir vidinius liemenį veikiančius krūvius. Kitų lėktuvo dalių tvirtinimo mazgų vietose, kuriose veikia dideli lokalūs krūviai, visuomet montuojami špantai. Špantų funkcija yra paremti apsiuvą, palaikyti išorinę liemens formą.

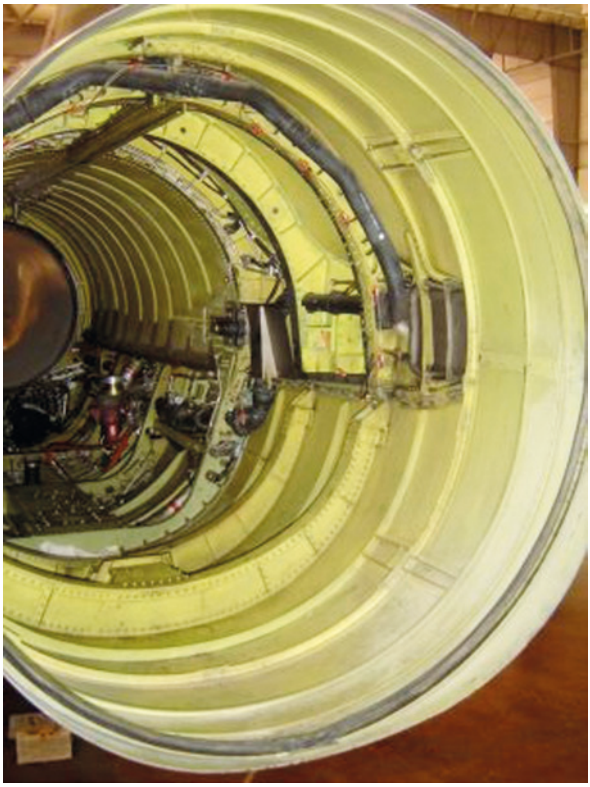
Svarbiausias monokokinio liemens konstrukcijos elementas – apsiuva. Ji priima visus liemenį veikiančius krūvius. Ji gana stora. Kai kurių lėktuvų monokoko tipo liemens apsiuvos storis siekia net 4÷6 mm.



100 pav. Monokoko tipo liemens sandaros pavyzdys

Monokoko tipo liemuo tikslingas, kai jį veikia labai dideli krūviai ir jame nėra didelių angų. Kartais tokio tipo konstrukcijos naudojamos nestipriai apkrautuose liemenyse. Pavyzdys gali būti daugumos šiuolaikinių sklandytuvų liemenų galinės dalys. Dažniausiai jos daromos monokokinės, nors tai nėra tinkamiausia konstrukcija atsižvelgiant į veikiančias jėgas. Šiais atvejais monokoko konstrukcija paprastesnė technologiškai (ypač naudojant kompozicines medžiagas). Be to, sklandytuvo išorinio paviršiaus geometrijos dideli tikslumo reikalavimai verčia naudoti itin standžią apsiuvą, o liukų ir kitų angų sklandytuvo liemenyje labai nedaug.

Visos liemenų jėginės schemos turi savo privalumų ir trūkumų. Todėl gana dažnai naudojami maišytos konstrukcijos liemenys. Pavyzdžiui, dalies naikintuvų liemenų priekinės dalys, jei jose nedaug eksploatacinių liukų, būna monokoko tipo. Vidurinėse dalyse montuojami varikliai turi daug įvairių liukų sistemoms ir ginkluotei. Todėl jas tikslinga daryti karkasinės lonžeroninės konstrukcijos tipo. Gale gali būti tikslinga pusiau monokoko schema.



101 pav. Vaizdas į lėktuvo F-16 liemens galinę dalį (variklis išmontuotas). Ši liemens dalis monokoko tipo. Matosi apsiuva, sustiprinta nedideliais špantais. Ties variklio tvirtinimo mazgais galingi jėginiai špantai

Lyginant išnagrinėtas jėgines schemas, galima teigti, kad mažiausios masės požiūriu tikslingiausia monokoko schema su kintamo sto-

rio apsiuva. Tokia konstrukcija labai gyvybinga (ne itin jautri pažeidimams), nedaug konstrukcinių elementų, užimančių vidinį tūrį. Tačiau apsiuvoje esančios angos ir būtinybė perduoti koncentruotus krūvius verčia daryti lokalius sustiprinimus (įvairius apvadus, apsiuvos pastorinimus). Kai angų daug, sustiprinimų masė didėja ir schema praranda savo privalumus, palyginti su pusiau monokoko arba karkasine lonžeronine.

Kai liemenyje daug didelių angų, optimaliausia karkasinė lonžeroninė liemens jėginė schema.

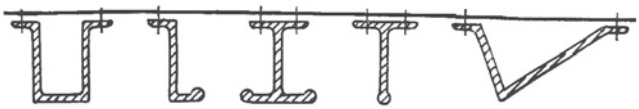
Jei liemenyje daug, tačiau ne itin didelių liukų, angų langams, nedidelių durų, geriausia naudoti pusiau monokoko jėginę schemą. Tankiai išdėstyti stringeriai sustiprina apsiuvą. Todėl ši schema gana dažnai naudojama šiuolaikinių keleivinių ir krovininių lėktuvų liemenyse.

6.2. Liemens konstrukciniai elementai

Liemens lonžeronai ir stringeriai gali būti monolitiniai (žiūrint pjūvį, jie bus sudaryti iš vieno elemento) ir surenkami. Pastarieji pagaminti tarpusavyje sujungiant kelis elementus. Tas pats lonžeronas arba stringeris vienoje vietoje gali būti monolitinis, o toliau pereiti į surenkamąjį. Surenkamųjų stringerių pasitaiko kur kas rečiau nei surenkamųjų lonžeronų.

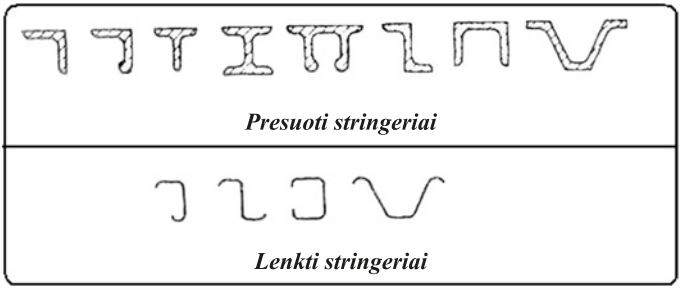
Lonžeronai ir stringeriai dažniausiai eina visu liemens ilgiu, išskyrus pagalbinius lonžeronus ar stringerius, montuojamus lokaliose liemens vietose. Jie sustiprina koncentruotų krūvių pridėjimo arba liukų, durų vietas.

Eiliniai lonžeronai ir stringeriai dažniausiai gaminami naudojant standartinių skerspjūvių presuotus arba lankstytus profilius.



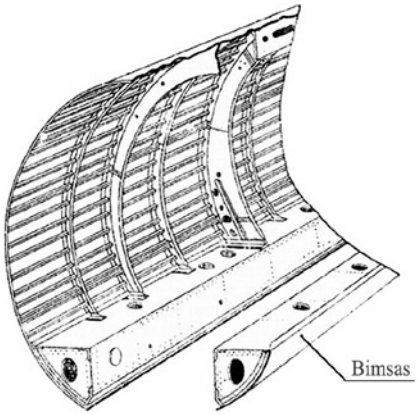
102 pav. Tipiniai presuotų monolitinių lonžeronų skerspjūviai

Siekiant sumažinti konstrukcijos masę, profilių skerspjūvis išilgai liemens gali kisti. Tai galima pasiekti, jungiant skirtingų skerspjūvių profilius arba mažiau apkrautose vietose naudojant apifrezuotus standartinius profilius.



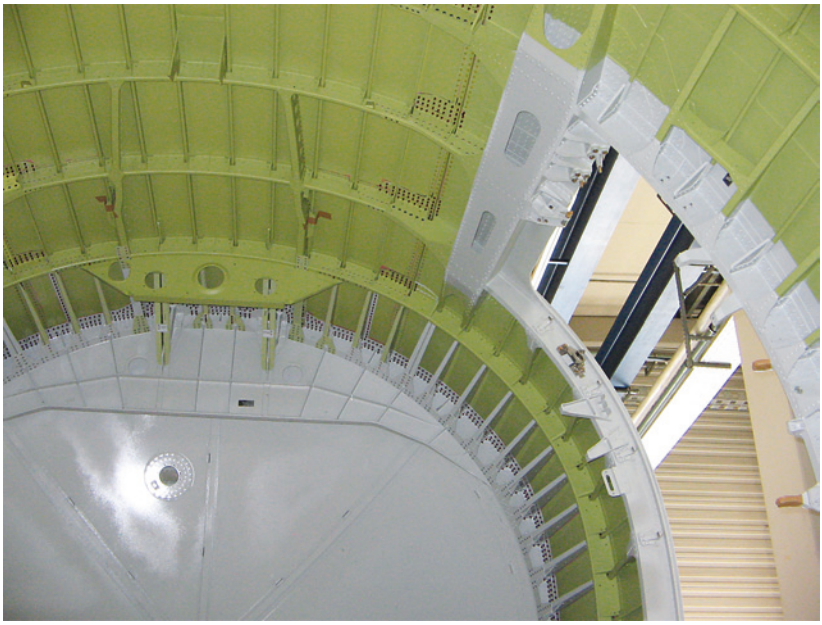
103 pav. Tipiniai presuotų ir lenktų monolitinių stringerių skerspjūviai

Liemenyje išpjautos didelės angos visu perimetru sustiprinamos sudėtingesnio skerspjūvio lonžeronais. Kartu su sustiprintais špantais lonžeronai kompensuoja konstrukcijos stiprumo sumažėjimą angos vietoje. Jie sudaro uždaro kontūro sijas ir dar vadinami bimsais. Bimsai dažniausiai būna surenkami. Monolitiniai bimsai naudojami retai, paprastai lengvų lėktuvų konstrukcijose, kai bimso užimamo skerspjūvio plotas nedidelis.



104 pav. Bimsas liemens konstrukcijoje. Čia jis sustiprina didelės angos bombonešio liemens apačioje kraštus

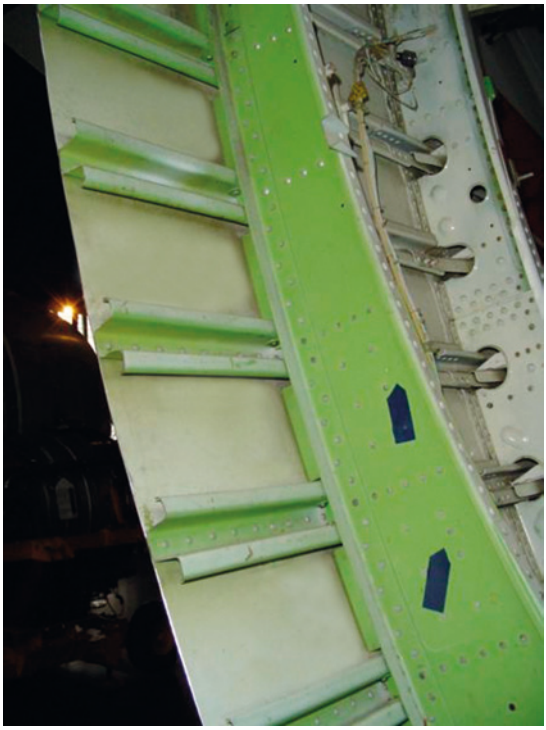
Stringerių jungimo su kitais liemens konstrukcijos elementais jungimo būdas priklauso nuo liemens konstrukcijos ypatybių. Paprastai su apsiuva stringeriai jungiami kniedėmis, klijais, virinant ar kombinuotais būdais. Dažniausiai stringeriai eina per tam padarytas išpjovas špantuose. Su šiais jie gali būti jungiami pridedamais kampučiais arba atlenkus špantą išpjovos vietoje.



105 pav. Lėktuvo A340 liemens galinės dalies konstrukcijos fragmentas

105 pav. parodytas lėktuvo A340 liemens galinės dalies konstrukcijos fragmentas. Šios liemens dalies konstrukcija pusiau monokoko tipo. Gale matyti šviesiai pilka hermetiška pertvara. Dešinėje pusėje taip pat šviesiai pilkas durų vietos sustiprinimas. Stringeriai eina per špantuose padarytas išpjovas. Su špantais jie sujungti naudojant kampučius.

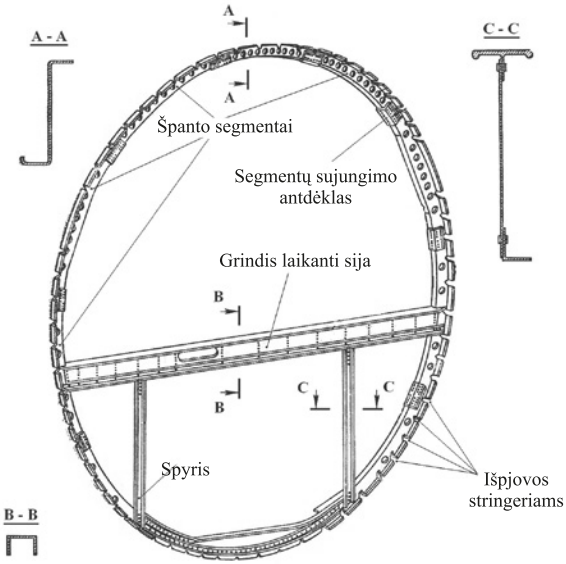
Kai kuriose konstrukcijose stringeriai eina tarp apsiuvos ir špantų. Šiais atvejais apsiuva neturi tiesioginio ryšio su špantais. Siekiant sujungti apsiuvą su špantais kartais naudojami specialūs jungimo kampučiai.



106 pav. Lėktuvo B747 liemens konstrukcijos fragmentas

106 pav. parodytas lėktuvo B747 liemens konstrukcijos fragmentas. Arčiau matomas (žalias) špantas eina virš stringerių. Tarpuose tarp stringerių matosi kampučiai, jungiantys apsiuvą su špantu. Šie kampučiai vadinami kompensatoriais. Toliau (dešinėje) matyti sustiprintas jėginis špantas. Jame padarytos išpjovos, per kurias kiaurai eina stringeriai.

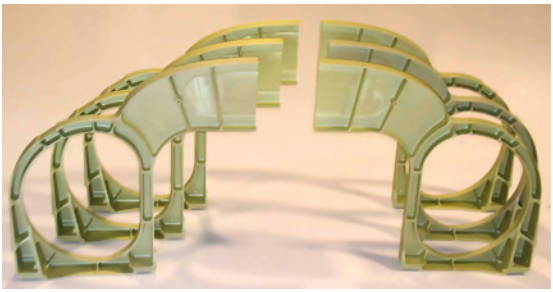
Špantai skirstomi į eilinius ir sustiprintus (jėginius). Eiliniai špantai lemia liemens skersinio pjūvio formą ir paremia stringerius bei apsiuvą.



107 pav. Transportinio lėktuvo eilinis špantas, sudarytas iš atskirų segmentų

107 pav. parodyta transportinio lėktuvo eilinio španto konstrukcinė schema. Surenkamasis špantas sudarytas iš atskirų segmentų. Jie tarpusavyje jungiami kniedėmis per antdėklus. Patys segmentai vientisi, štampuoti iš lapo. Visu španto perimentru padarytos išpjovos stringeriams eiti. Liemens grindis laiko sija, paremta dviem spyriais.

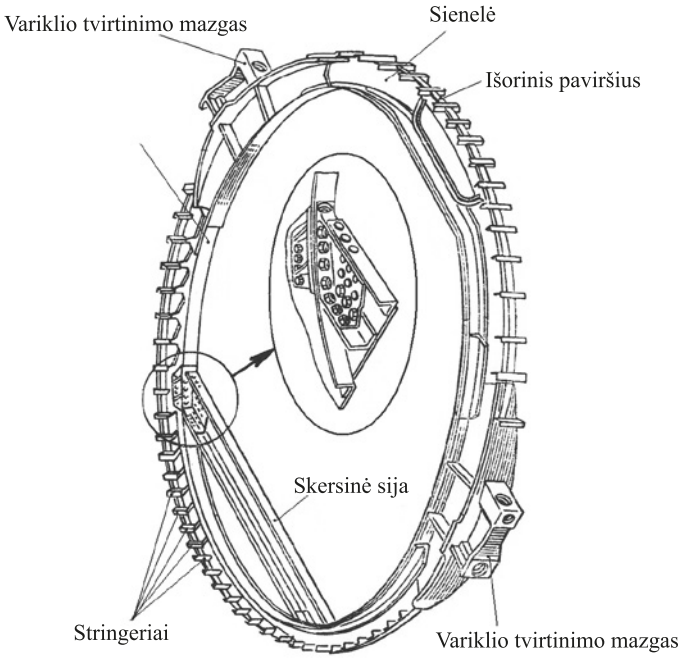
Špantų forma atkartoja liemens formą ir gali būti gana sudėtinga. 19 pav. parodyti lėktuvo F-18 liemens špantai.



108 pav. Lėktuvo F-18 eiliniai liemens špantai

Kiekvienas špantas sudarytas iš kairiojo ir dešiniojo pusšpančių. Pusšpančiai monolitiniai, frezuoti. Pusšpančiuose esančiomis angomis eina oro tiekimo varikliams kanalai.

Sustiprinti jėginiai špantai palaiko liemens formą ir lokaliose vietose sustiprina konstrukciją. Lėktuvo agregatų (sparno, uodegos, variklių ir t. t.) bei įrangos ir krovinių tvirtinimo mazgai visuomet yra ant sustiprintų špantų. Sustiprinti špantai statomi didelių angų kraštuose ir liemens dalių (sekcijų bei skyrių) jungimo vietose.



109 pav. Sustiprintas špantas

109 pav. parodyta monolitinio sustiprinto španto konstrukcija. Prie jo tvirtinami liemens šonuose esantys varikliai.

Kai kurie tokie špantai sustiprinami tik tam tikrose, lokaliose vietose. Jėginiai špantai turi būti gerai sujungti su apsiuva. Stiprumo požiūriu sustiprinti špantai laikomi plokščiaisiais rėmais, pasižyminčiais dideliu lenkimo stipriu savo plokštumoje.

Kilio tvirtinimo vietoje špantai gali būti įtvirtinti įstrižai liemens.

Hermetiškas transportinių lėktuvų liemens dalis užbaigia sustiprinti špantai su sferine sienele. Tokios formos sienelė geriau išlaiko vidinį slėgį. Ji gali būti sustandinta standumo briaunomis.

110 pav. Lėktuvo ERJ-170 hermetiško liemens skyriaus galinio španto su hermetiška pertvara surinkimas gamykloje. Aplink špantą matosi oranžinės spalvos surinkimo stapelis

Šiuolaikinių lėktuvų hermetiškos sienelės dažnai gaminamos iš kompozicinių medžiagų.

Siekiant sumažinti triukšmą viduje, keleivinių ir transportinių lėktuvų liemens vidus padengiamas garsą izoliuojančia medžiaga. Paprastai ši medžiaga susideda iš kelių sluoksnių. Ji kartu atlieka ir termoizoliacijos funkcijas. Triukšmas į lėktuvo vidų patenka per konstrukcijos elementus, langus, ventiliacijos kanalus. Triukšmo dažnių įvairovė didelė. Būtent todėl triukšmo izoliacijai naudojama daugiasluosnė danga. Kiekvienas jos sluoksnis veiksmingai slopina siaurą triukšmo dažnių spektrą. Dažniausiai prie pat liemens apsiuvos tvirtinamas mažo tankio minkštas triukšmą ir šilumą izoliuojančios medžiagos sluoksnis. Jis veiksmingiausiai slopina žemo dažnio garsą. Vidurinis izoliacijos sluoksnis tankesnis, gerai slopinantis aukšto dažnio triukšmą. Arčiausiai liemens vidaus naudojamas dar vienas

garso izoliacijos sluoksnis. Šiuolaikinės garso izoliacinės medžiagos iškart gaminamos daugiasluoksnės. Tai palengvina lėktuvo gamybą ir remontą.

Iš vidaus keleivinių lėktuvų garso izoliacija uždengiama dekoratyvinėmis sienelėmis. Jos pagerina estetinį vaizdą, apsaugo jautrias izoliacines medžiagas nuo mechaninių pažeidimų. Labai svarbu, kad garsą izoliuojančios medžiagos ir jas dengiančios dekoratyvinės sienelės būtų nedegios, veikiamos aukštos temperatūros neišskirtų toksiškų dūmų.

111 pav. Lėktuvo B747 viršutinio keleivių salono vidus.
a. – salono apdaila nesumontuota. Matosi garsą izoliuojanti medžiaga;
b. – salono apdaila ir keleivių krėslai sumontuoti.

Priekinėje liemens dalyje yra įgulos kabinos langai. Jie daugiasluoksniai. Saugant nuo galimo apledėjimo, įgulos langai gali būti šildomi. Tuomet svarbu, kad jie galėtų plėstis. Komercinės aviacijos pilotų kabinos langų stiklai turi išlaikyti susidūrimą su paukščiu. Todėl šie langai būna gana stori.

Keleivių skyriuje taip pat įrengiami langai. Lėktuvų, turinčių hermetiškas kabinas, langai gaminami dviejų ar trijų stiklų paketo konstrukcijos. Reikalaujama, kad, suirus vienam paketo stiklu, likęs (likusieji) atlaikytų vidinio slėgio poveikį. Keliasluoksnis stiklo paketas padeda sumažinti garsą salone, apsaugo langus nuo rasojimo skrendant itin aukštai, kai išorės temperatūra žema. Dažnai keleivių kabinos lango stiklų paketas iš vidaus dar apsaugomas dekoratyviniu stiklu, pritvirtintu prie vidinės dekoratyvinės salono sienelės. Keleivių salono langams įstiklinti naudojamas organinis stiklas.

Labai svarbu, kad dėl liemens deformacijų nenukentėtų stiklai. Iš kitos pusės lango įstiklinimo ir liemens jungtis turi būti hermetiška. Todėl langai per elastingas tarpines tvirtinami specialiuose liemens rėmuose.

112 pav. Keleivinio lėktuvo langų rėmai

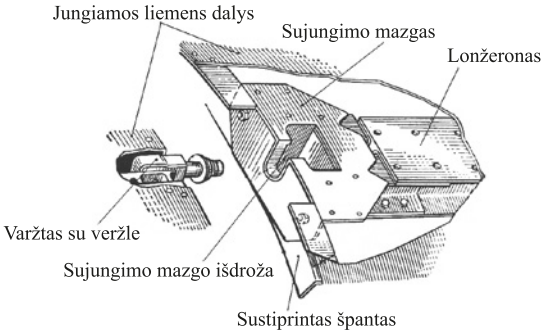
Rėmai sustiprina liemenį langų angų vietose. Prie jų patogu pritvirtinti stiklų paketus.

Lengvųjų lėktuvų, neturinčių hermetiškų kabinų, langai gali būti įstiklinami viensluoksniu oganiniu stiklu. Kaip ir hermetiško liemens atveju, svarbu apsaugoti stiklą nuo liemens deformacijų perdavimo. Priešingu atveju stiklas greitai įtrūksta. Šiuolaikiniuose lengvuosiuose lėktuvuose keleivių salonų langams stiklinti taip pat naudojami dvisluoksniai stiklo paketai.

6.3. Liemens sekcijų jungimas tarpusavyje

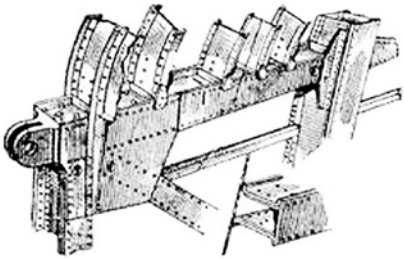
Daugumos lėktuvų liemenys technologiškai dalijami į atskiras dalis – sekcijas. Vėliau, surenkant liemenį, jos sujungiamos. Sujungimai turi patikimai jungti elementus tarpusavyje, o jų masė turi būti kuo mažesnė. Be to, būtina, kad jungtis būtų lengva išardyti ir susirinkti. Hermetiškų liemens dalių jungtys taip pat turi būti hermetiškos. Jos apkraunamos liemenį veikiančiais krūviais ir turi juos išlaikyti.

Kai liemuo yra karkasinės lonžeroninės konstrukcijos, sekcijos tarpusavyje jungiamos taškuose esančiuose ant lonžeronų. Jungiant naudojami auselės ir šakutės arba fitingų tipo mazgai.



113 pav. Liemens sekcijų sujungimo fitingu konstrukcija

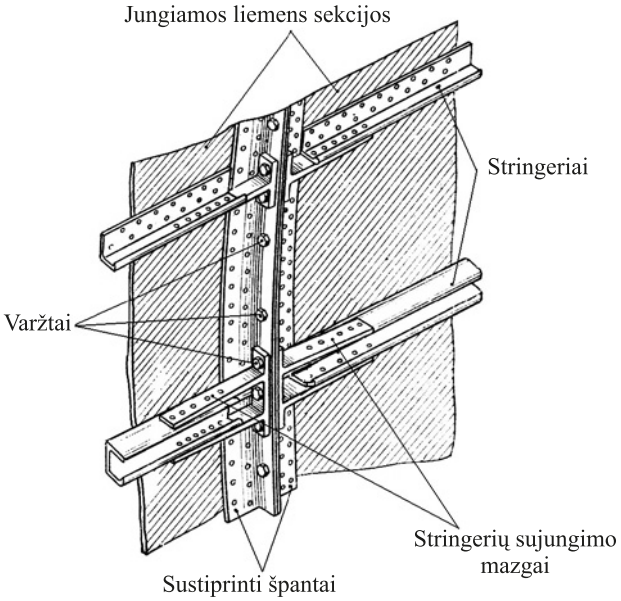
Fitingų tipo mazgai naudojami viršutiniams ir apatiniams lonžeronams jungti. Jie gerai perduoda tempimo ir gniuždymo įtempius. Šoniniai lonžeronai dažniau jungiami naudojant auselės ir šakutės tipo mazgus (114 pav.).



114 pav. Šakutės tipo liemens sekcijų sujungimo mazgas

Tokie mazgai geriau perduoda šlyties įtempius. Auselės su šakutėmis jungiamos varžtais.

Jei liemuo pusiau monokokas ar monokokas, atskiros jo sekcijos turi būti jungiamos daugelyje taškų. Šis sujungimas vadinamas kontūriniu. Jungimo vietose dedami sustiprinti špantai (115 pav.). Špantų ir stringerių susikirtimo vietose montuojami sujungimo mazgai. Špantai jungiami visu perimetru išdėstytais varžtais. Varžtais sujungiami sekcijų stringerių sujungimo mazgai.



115 pav. Pusiau monokoko tipo liemens sekcijų sujungimo mazgo sandara

Analogiškas monokoko tipo liemens sekcijų sujungimo mazgo konstrukcijos principas. Jungiant čia taip pat svarbu varžtus išdėstyti visu sustiprintų špantų perimetru.

7. VAŽIUOKLĖ

7.1. Važiuoklės paskirtis ir svarbiausi jai keliami reikalavimai

Sausumos lėktuvo važiuoklė – tai atramų sistema, leidžianti lėktuvui judėti žemės paviršiumi arba stovėti ant jo. Važiuoklę sudaro elementai, kuriais orlaivis tiesiogiai kontaktuoja su atraminiu paviršiumi, ir elementai, perduodantys kontaktinius krūvius sklandmens konstrukcijai. Smūginėms apkrovoms, kylančioms tupiant ir judant žeme, slopinti naudojami tamprūs elementai: padangos ir įvairūs amortizatoriai. Kad orlaivis galėtų laisvai manevruoti būdamas žemėje, važiuoklė turi specialius valdymo įrenginius arba skirtingų pusių ratai nevienodai stabdomi.

Važiuoklei keliami bendrieji, visiems lėktuvo agregatams taikomi reikalavimai:

- tenkinant stiprumo, standumo bei ilgaamžiškumo reikalavimus, važiuoklės masė turi būti kuo mažesnė;
- konstrukcija turi būti technologiška gamybos, priežiūros ir remonto požiūriais;
- kuo mažesni gabaritai.

Be šių, bendrųjų reikalavimų, važiuoklei keliami ir specifiniai:

- geras pastovumas ir pavaldumas judant žeme;
- geras pravažumas (judant paviršiumi jis neturi būti smarkiai pažeidžiamas);
- pasisukimas kuo mažesniu spinduliu (tarp jų ir keičiant judėjimo kryptį 180^{o});
- lėktuvas neturi apsiversti, persisverti ar liesti žemės paviršiaus kitais agregatais, išskyrus važiuoklę;
- važiuoklė turi gerai sugerti kinetinę smūgių energiją tupiant ir judant nelygiu aerodromo paviršiumi, veiksmingai slopinti dėl to kilusius svyravimus;
- kylant važiuoklės pasipriešinimas judėjimui turi būti mažiausias;
- tupiant važiuoklė turi leisti veiksmingai stabdyti ratų stabdžiais;

– lėktuvui judant neturi kilti važiuoklės atramų bei ratų virpesių arba „žemės rezonanso“ reiškinių;

Be to, įtraukiama važiuoklė turi tenkinti dar keletą tik tokio tipo važiuoklėms keliamų reikalavimų:

– mažiausias įtraukimo ir išleidimo greitis (įtraukimo ir išleidimo laikas turi būti ne ilgesnis kaip 10÷12 s);
– įtraukta važiuoklė turi užimti kuo mažiau vietos;
– turi būti numatyta avarinio važiuoklės išleidimo galimybė;
– tiek išleista, tiek įtraukta važiuoklė turi būti patikimai užfiksuota;
– turi būti sistema, signalizuojanti apie važiuoklės padėtį (gerai, jei signalizacija dubliuota);
– važiuoklės įtraukimas ir išleidimas neturi labai ženkliai daryti įtakos lėktuvo pavaldumui ir pastovumui.

Važiuoklė charakterizuojama įvairiais parametrais. Vieni svarbiausių: važiuoklės bazė ir provėža.

7.2. Važiuoklę veikiantys krūviai

Nagrinėjant važiuoklę veikiančius krūvius patogu skirti tris lėktuvo judėjimo žeme etapus: riedėjimą aerodrome (tai lėktuvo judėjimas tarp nusileidimo ir kilimo etapų), kilimą (jis prasideda pakilimo take atleidus stabdžius ir pradėjus įsibėgėjimą, o baigiasi paskutinio rato atplyšimo nuo pakilimo tako momentu) ir tūpimą. Pastarasis prasideda tūpimo tako pirmojo palietimo momentu ir baigiasi lėktuvui visiškai sustojus.

Orlaiviui riedant aerodrome jo važiuoklę veikia vertikaliosios aerodromo paviršiaus reakcijos jėgos ir horizontaliosios jėgos. Tiek vienos, tiek kitos jėgos padidėja orlaiviui užvažiavus ant nelygumų. Orlaivių greitis riedėjimo metu ribojamas, todėl netgi santykinai nemaži aerodromo paviršiaus nelygumai nesukelia didesnių perkrovų ir nedaug padidina važiuoklės krūvius. Orlaiviui keičiant važiavimo kryptį, važiuoklė apkraunama šoniniais krūviais. Bendruoju atveju riedėjimo žeme krūviai orlaivio važiuoklei nėra kritiniai. Tačiau riedėjimo metu galimi horizontalieji krūviai, nukreipti pirmyn. Jie kyla tada, kai orlaivis stabdomas po judėjimo atbulom.

Lėktuvui įsibėgėjant kilimo metu, važiuoklę veikiantys krūviai panašūs kaip ir riedant. Tačiau dėl didesnio greičio baigiamajame kilimo etape (nedideli lėktuvai kildami turi įsibėgėti iki 50÷150 km/h greičio, kai kurie greiti lėktuvai atplyšta tik pasiekę daugiau nei 300 km/h greitį) užvažiavimas ant nelygumų sukelia daug didesnes perkrovas tiek vertikaliąja, tiek horizontaliąja kryptimis. Tačiau kuo didesnis greitis, tuo didesnę keliamąją jėga kuria sparnas, mažindamas važiuoklės reakcijas.

Daugumos orlaivių važiuoklėms kritiniais laikomi tūpimo metu patiriami krūviai. Maži ultralengvieji orlaiviai žemę paliečia 40÷50 km/h greičiu, yra viršgarsinių lėktuvų, kurių palietimo greitis viršija 400 km/h. Didelis palietimo greitis kartu su galima nemaža vertikaliąja perkrova yra didelių važiuoklės krūvių priežastis. Rato palietimo momentu jis nesisuka. Todėl per trumpą laiką iki visiško įsisukimo ratas apkraunamas lygiagrečiais su žemės paviršiui krūviais. Jie perduodami kitiems važiuoklės elementams. Žemę paliesti orlaivis gali ne tik tuomet, kai jo išilginė ašis sutampa su judėjimo trajektorija, bet ir skrisdamas šonu. Tai ypač būdinga lėktuvo tupdymui pučiant šoniniam vėjui. Tada važiuoklė apkraunama dideliais šoniniais krūviais.

Galima teigti, kad kylant, tupiant ir riedant žeme važiuoklė apkraunama įvairiais išoriniais krūviais, kurių dydis ir kryptis priklauso nuo daugelio veiksnių. Siekiant standartizuoti skaičiavimus ir padidinti skrydžių saugą, važiuoklę veikiantys krūviai išsamiai apibrėžiami orlaivio klases atitinkančiuose dokumentuose (Europoje tai CS-ai).

7.3. Važiuoklių schemos

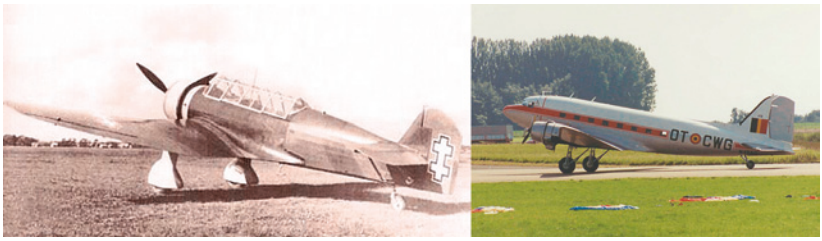
Važiuoklės schema suprantama kaip jos atramų išdėstymas ir jų skaičius. Šiuolaikiniuose lėktuvuose dažniausiai naudojamos šios schemos:

1. Triratė su galine atrama.
2. Triratė su priekine atrama.
3. Keturratė.
4. Dviratė.
5. Daugiaatramė.

1. Triratė važiuoklė su galine atrama

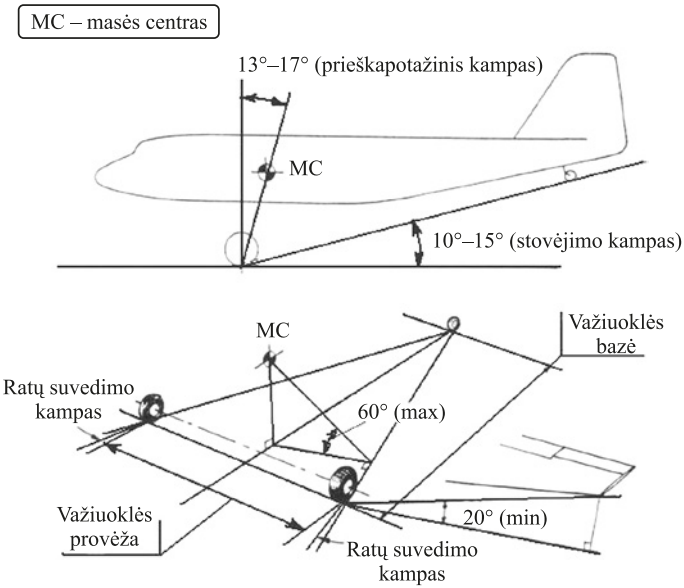
Ši schema plačiai taikyta aviacijoje iki XX amžiaus 5-ojo dešimtmečio pradžios. Šiuo metu dar naudojama lengvuosiuose lėktuvuose. Pagrindinės šios schemos važiuoklės atramos visada išdėstomos prieš lėktuvo masės centrą, o galinė atrama – liemens gale. Galinės atramos ratas gali būti laisvai besiorientuojantis ar valdomas.

Pagrindinės tokios važiuoklės atramos yra priešais lėktuvo masės centrą. Jos priima didžiąją dalį važiuoklę veikiančių krūvių.



a. b.

116 pav. Lėktuvai, turintys triratę važiuoklę su galine atrama:
a. – lietuviškas „ANBO VIII“, b. – amerikiečių „Douglas DC-3“



117 pav. Geometriniai važiuoklės su galine atrama parametrai

Schemos privalumai:
1. Važiuoklė lengva.
2. Kai ji išleista, yra nedidelis pasipriešinimas.
3. Palyginti su važiuokle, turinčia priekinę atramą, – paprastesnė.

Trūkumai:
1. Sudėtingas kilimas ir tupdymas.
2. Negalima stipriai stabdyti (lėktuvas gali apsiversti (kapotuoti)).
3. Nestabili krypties išlaikymo požiūriu, nes orlaivio, turinčio tokią važiuoklę, masės centras yra už pagrindinių atramų.
4. Dažnai ribotas piloto matomumas.
5. Padidėjęs pasipriešinimas kylant.
6. Pasvirusios keleivių salono arba krovinių skyriaus grindys lėktuvui stovint.

118 pav. Skirtingų schemų važiuoklių kabinos grindų padėtis lėktuvui stovint

2. Triratė važiuoklė su priekine atrama

Labiausiai paplitusi šiuolaikiniuose lėktuvuose. Priekinė atrama visuomet yra priešais pagrindines, kurios visada yra už lėktuvo masės centro.

a. b.

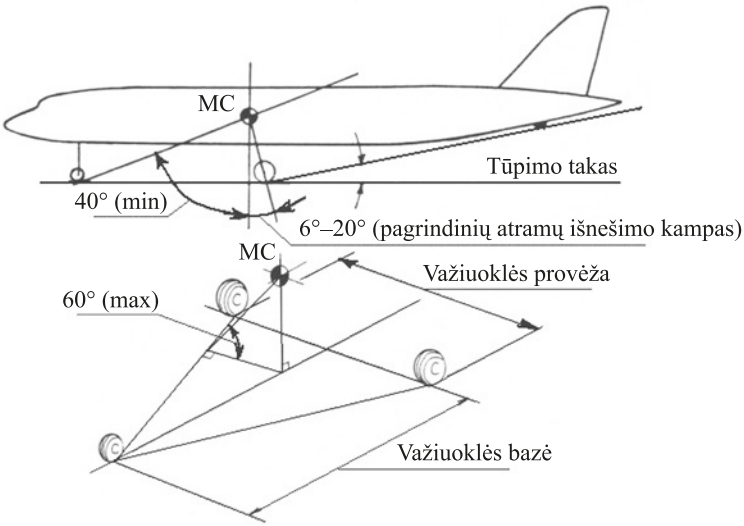
119 pav. Lėktuvai, turintys triratę važiuoklę su priekiniu ratu:
a. – „Sepecat Jaguar 2“, b. – „North American XB-70 Valkyrie“

Schemos privalumai:

1. Paprastas pilotavimas kylant ir tupiant.
2. Paprasta išlaikyti judėjimo kryptį (stabili krypties požiūriu).
3. Geras matomumas iš įgulos kabinos.
4. Lengva manevruoti (jei yra priekinių ratų pasukimo sistema).
5. Galima intensyviai stabdyti.
6. Lėktuvo salono ir krovinių skyriaus grindys beveik horizontalios.

Trūkumai:

1. Važiuoklė sunkesnė.
2. Ne visada lengva rasti vietos įtraukti priekinę atramą.
3. Priekinė atrama linkusi į šimio vibraciją.
4. Didesnis aerodinaminis pasipriešinimas, kai yra išleista.
5. Judant netvirtu gruntu priekinis ratas turi polinkį įsirausti į gruntą.



120 pav. Svarbiausi važiuoklės su priekine atrama geometriniai parametrai

Parenkant tokios važiuoklės geometrinius parametrus svarbu:

1. Važiuoklės bazė turi sudaryti ne mažiau kaip 0,3–0,35 liemens ilgio. Priešingu atveju, riedant žeme, jausis liemens išilginiai svyravimai.

2. Pagrindinių ratų išnešimo kampas turi būti 2–3° didesnis nei tūpimo kampas.
3. Tūpimo kampas turi būti didesnis nei lėktuvo kritinis atakos kampas.
4. Geriausia, kai važiuoklės provėža sudaro 0,15–0,25 sparno mojo. Kuo didesnė važiuoklės provėža, tuo stabiliau juda lėktuvas žeme, tačiau tai kartu didina važiuoklės jautrumą nesimetrinėms pagrindinių ratų apkrovoms horizontalioje plokštumoje.

3. Keturratė važiuoklė

Tai važiuoklės schema, kai lėktuvas į žemę remiasi keturiomis atramomis. Paprastai jų provėža nedidelė, todėl sparno galuose montuojamos nedidelės papildomos atramos.

121 pav. Lėktuvas „B-52 Stratofortress“, turintis keturratę važiuoklę

Šiai schemai būdingi dviratės važiuoklės privalumai ir trūkumai, todėl atskirai jų neaptarinėsime.

4. Dviratė važiuoklė

Šios schemos važiuoklė turi dvi pagrindines atramas, esančias vienoje linijoje, lygiagrečioje lėktuvo simetrijos ašiai. Priekinė atrama

yra liemens priekinėje dalyje. Galinė – už lėktuvo masės centro uodegos link. Kad lėktuvas nenugriūtų ant sparno, dedamos papildomos prilaikančios atramos sparno galuose ar arčiau jo simetrijos ašies.

a. b.

122 pav. Lėktuvai, turintys dviratės schemos važiuokles:
a. – „Myasischev VM-T Atlant‘;
b. – „AV-8B Harrier“.

Schemos privalumai:

1. Aukštasparnių lėktuvų dviratės schemos važiuoklės lengvesnės nes jos tvirtinamos prie liemens apačios (gaunama trumpesnė važiuoklės atrama).
2. Dvi pagrindines atramas lengva įkomponuoti į liemenį, kai ploname sparne trūksta vietos.
3. Ties masės centru galima padaryti didelius liukus liemens apačioje (aktualu bombonešiams).
4. Vertikalaus kilimo lėktuvuose lengviau išvengti neigiamo karštų dujų poveikio važiuoklės elementams.
5. Tinkamai išdėsčius atramas, galima gana tolygiai paskirstyti joms tenkančias lėktuvo masės dalis.

Trūkumai:

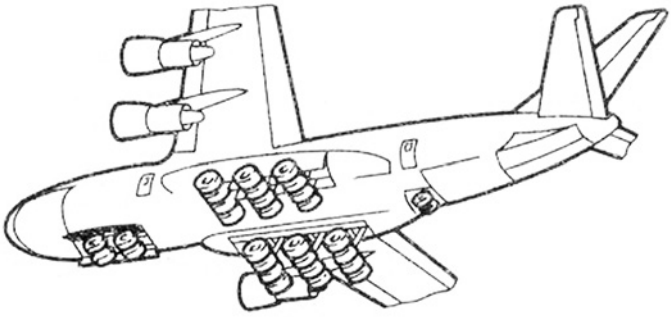
1. Sudėtinga pilotavimo technika kylant ir tupiant (pilotas turi tupdyti lėktuvą taip, kad jis žemę paliestų abiem pagrindinėmis atramomis vienu metu).
2. Itin didelę neigiamą įtaką judant žeme daro šoninis vėjas.
3. Pakilimui būtinas vienos atramos aukščio keitimo mechanizmas.

4. Intensyviai stabdant abiejų atramų ratus gali atsirasti krypties nepastovumas. Stabdant tik priekiniais ratais – ilgėja stabdymo kelias.
5. Sudėtinga manevruoti aerodrome (ratų valdymo mechanizmas turi būti galingas).
6. Padidėja liemens masė, nes prie jo tvirtinamos važiuoklės atramos.
7. Abi važiuoklės atramos užima gana daug vietos liemenyje, apsunkindamos jo komponavimą.
8. Dažniausiai važiuoklės svoris susidaro didesnis nei kitose schemose.

5. Daugiaatramė važiuoklė

Naudojama labai sunkiuose lėktuvuose, siekiant tolygiau paskirstyti apkrovą aerodromo paviršiui. Pati važiuoklės schema tokia pati kaip važiuoklės su priekine atrama, bet pagrindinių atramų būna ne dvi, o trys, keturios ar daugiau. Priekyje nenaudojama daugiau nei dviejų atramų, nes gali pablogėti lėktuvo manevringumas žemėje. Siekiant padidinti manevringumą, gali būti vairuojami ir pagrindiniai ratai (nebūtinai visi).

Daugiaatramę važiuoklę turintis lėktuvas tūpdamas pirmiausia paliečia žemę galinėmis pagrindinės atramų grupės atramomis, todėl pastarųjų amortizacija tampa minkštesnė.



123 pav. Lėktuvo su daugiaatrame važiuokle schema

a. b.

124 pav. Daugiaatramės lėktuvų važiuoklės:
a. – JAV lėktuvo „C-5B Galaxy“; b. – ukrainiečių „AN-225 Mrija“

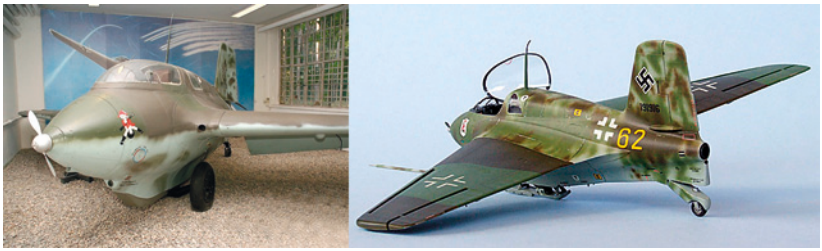
7.4. Važiuoklių tipai

Pagal įvairius požymius važiuoklės skirstomos į kelis tipus:

A. Įtraukimo galimybė.

Pagal šį požymį važiuoklės yra:

1. Įtraukiamos.
2. Neįtraukiamos.
3. Numetamos.



a. b.

125 pav. Lėktuvas Me 163B, turintis numetamą važiuoklę: a. – lėktuvas pastatytas ant kilimo vežimėlio, b. – ant slidės nutūpęs lėktuvas.

Įtraukiant važiuoklės ratas ar vežimėlis gali būti ne tik užlenkiami, bet ir pasukami tam, kad geriau įsikomponuotų, esant įtraukimo padėčiai.

Įtraukiama važiuoklė nedaro neigiamos įtakos orlaivio aerodinamikai, kai ji įtraukta. Tačiau tokia važiuoklė visuomet bus sudėtin-

gesnė ir sunkesnė už neįtraukiamą. Lėktuvo įgula neturi pamiršti laiku išleisti važiuoklės tupiant ir įtraukti pakilus. Įtraukiama važiuoklė kreiserinio skrydžio metu įtraukiama į specialiai tam suformuotas nišas. Nišos uždaromos durelėmis. Šiuolaikiniuose lėktuvuose važiuoklių durelės dažnai uždaromos ir išleidus jas į kilimo bei tūpimo padėtį, paliekant tik angas atramoms. Tokiu būdu sumažinamas lėktuvo su išleista važiuokle pasipriešinimas, durelės apsaugomos nuo didelių aerodinaminių krūvių, jos negeneruoja turbulentinio pėdsako, galinčio sukelti baftingą.

Neįtraukiama važiuoklė techniškai paprastesnė, lengvesnė. Reikia mažiau įgulos dėmesio. Tačiau ji sukelia didelį aerodinaminį pasipriešinimą skrydžio metu.

Bendras kriterijus pasirenkant tarp įtraukiamos ir neįtraukiamos važiuoklių gali būti masė. Jei tipinio skrydžio metu degalų, reikalingų važiuoklės oro pasipriešinimui nugalėti, masė didesnė nei įtraukiamos važiuoklės masės prieaugis, palyginti su neįtraukiama, gali būti tikslinga naudoti įtraukiamą važiuoklę. Jei lėktuvo kreiserinis greitis didesnis nei 400 km/h, šiuolaikiniuose lėktuvuose dažniausiai naudojamos įtraukiamos važiuoklės.

Orlaiviuose gali būti naudojama numetama važiuoklė. Pakilus jos vežimėlis atkabinamas ir numetamas aerodrome.

126 pav. Numetamas lėktuvo Me 163B vežimėlis

Lėktuvai su numetama važiuokle dažniausiai tupia ant specialiai tam sustiprintos liemens apačios arba ant išleidžiamos slidės. Tokia važiuoklė naudota Antrojo pasaulinio karo vokiečių raketiniame naikintuve Me 163B. Naudojant tokią schemą gaunama nedidelė skraidančios važiuoklės dalies masė. Tačiau ši važiuoklė tinka tik lėktuvams, tupiantiems ant specifinių paviršių (grunto, sniego). Kilimo ir tūpimo aerodrome turi būti speciali tarnyba su įranga, atgabenanti numestus vežimėlius, tvirtinanti juos prie lėktuvo prieš startą. Kol nepritvirtintas vežimėlis, lėktuvas su šio tipo važiuokle sunkiai transportuojamas.

B. Atraminio paviršiaus tipas

Tai požymis, parodantis, kokio tipo paviršiumi kontaktuoja su aerodromu. Pagal šį požymį važiuoklės skirstomos į:

1. Ratines. Tai labiausiai paplitęs važiuoklių tipas. Riedėjimo ir palietimo tupdant metu ratinės važiuoklės ratai sugeria dalį judant nelygumais ir smūgio metu išsilaisvinančios mechaninės energijos. Ratai leidžia lengvai judėti aerodrome įvairiomis kryptimis, keisti judėjimo kryptį. Tačiau ratas su aerodromu kontaktuoja sąlyginai nedideliu paviršiumi. Todėl aerodromo dangai gali tekti atlaikyti didelius krūvius. Tai ypač būdinga sunkiems šiuolaikiniams lėktuvams, turintiems didelę kilimo masę ir santykinai nedidelio skersmens ratus su aukštu slėgiu pripūstomis padangomis. Ratų skersmens didinimas didina važiuoklės pravažumą. Tačiau dideliems ratams įtraukti reikia didelio tūrio, jie sunkūs. Mažų ratų viduje sudėtinga sumontuoti stabdžius.

Stabdant lėktuvą, kinetinė judėjimo energija stabdžiuose paverčiama šiluma. Ratas smarkai įkaista, o padanga gana jautri perkaitimui. Perkaitusio rato padanga gali sprogti ar sukelti gaisrą. Todėl ratinėse važiuoklėse gali būti naudojamos ratų stabdžių temperatūros indikacijos ir stabdymo apribojimo sistemos bei priverstinis stabdžių aušinimas.

2. Slidžių tipo. Šio tipo važiuoklės santykinis slėgis į gruntą nedidelis. Todėl padidėja orlaivio pravažumas. Jis gali judėti netgi sniegu padengtu paviršiumi.

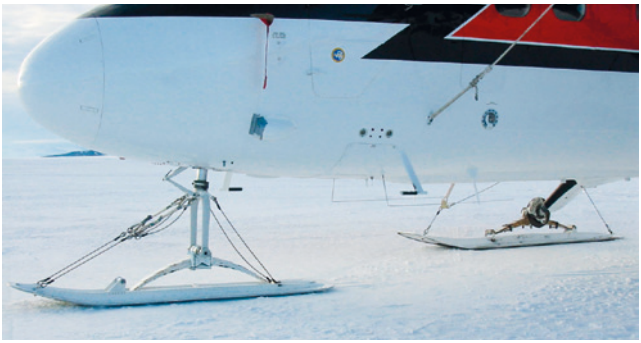
Kai lėktuvas gruntą veikia 1,5÷kg/cm^2 santykiniu slėgiu, jį galima visais metų laikais eksploatuoti gruntiniuose aerodromuose. Santykinį

slėgį į gruntą sumažinus iki 0,2÷0,3 kg/cm^2, orlaivis gali kilti, leistis ir judėti sniego danga padengtais aerodromų paviršiais. Tokį santykinį slėgį slidžių tipo važiuoklė leidžia nesunkiai pasiekti.

Slidės naudojamos kai kurių itin dideliais greičiais skraidančių lėktuvų važiuoklėse, kurių konstrukcija dėl didelio skrydžio greičio smarkiai įkaista, o ratus apsaugoti nuo aukštos temperatūros poveikio sudėtinga. Pavyzdys gali būti JAV naudotas eksperimentinis lėktuvas X-15, skraidantis didesniais nei 7 000 km/h greičiais. Priekinė jo važiuoklės atrama įtraukiama į liemenį. Ją nėra itin sudėtinga apsaugoti nuo aerodinaminio įkaitimo poveikio, todėl šioje atramoje panaudotas ratas. Pagrindinės atramos su slidėmis gerai pakelia aukštų temperatūrų poveikį, veiksmingai stabdo lėktuvą tūpimo ant išdžiūvusio ežero dugno metu.

127 pav. JAV eksperimentinis lėktuvas X-15 su kombinuota važiuokle. Priekinė atrama ratinė, pagrindinės – slidžių tipo

Tačiau lėktuvą su slidėmis sudėtinga stabdyti. Tokiais atvejais stabdymui naudojamos slidžių apačioje esančios atlenkiamos plokštelės. Jos ne tik prastai stabdo, bet ir gadina aerodromo dangą. Dažniausiai lėktuvas su slidėmis ne toks manevringas žemėje kaip ratinis. Dėl didelių gabaritų slides sudėtinga visiškai įtraukti skrydžio metu. Slidžių tipo važiuoklė netinkama eksploatuoti betono ar asfalto danga dengtuose aerodromuose, apsunkina pakilimą nuo gruntinių aerodromų.



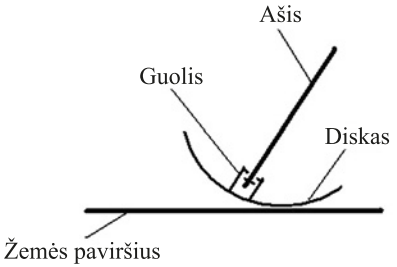
128 pav. Slides kaip atraminį paviršių turinti lėktuvo „Twin Otter“ versija

Gana dažnai naudojamos slidžių tipo važiuoklės, kuriose tik specifinėms eksploatacijos sąlygoms įprasti ratai pakeičiami slidėmis.

3. Kombinuotos (ratai ir slidės) važiuoklės. Jose ta pati važiuoklė pasižymi tiek ratinių, tiek slidžių tipų važiuoklių teigiamomis savybėmis. Ratas gali būti ir slidės viduje, ir šone. Kai naudojama ratinė važiuoklė, slidė truputį pakeliama į viršų. Nepaisant privalumų, šio tipo važiuoklė kur kas sunkesnė ir sudėtingesnė nei ratinė ar slidžių tipo važiuoklės atskirai paėmus.

129 pav. Transportinio lėktuvo „Hercules“ versija pritaikyta eksploatuoti sniego ir ledo aerodromuose, turinti kombinuotą ratų ir slidžių važiuoklę

4. Diskai. Tai važiuoklė, kuri į aerodromo paviršių remiasi sferiniais diskais, pritvirtintais prie ašių taip, kad galėtų suktis. Jų sukimosi ašys nesutampa su disko ir paviršiaus kontakto taškais, todėl judant aerodromu, diskas sukasi.

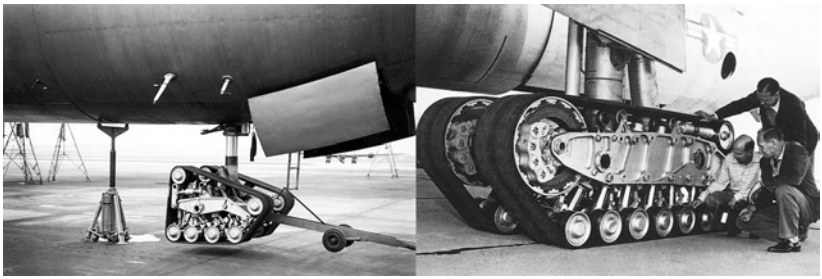


130 pav. Principinė diskinės važiuoklės schema

Tokios važiuoklės diskas praktiškai nesugeria vertikalaus smūgio energijos. Tačiau čia nėra aukštai temperatūrai jautrios padangos. Būtent todėl diskinė važiuoklė buvo naudojama praėjusio amžiaus 8-ajame dešimtmetyje projektuotų kosminių lėktuvų konstrukcijose.

5. Vikšrai. Vikšrinė važiuoklė pasižymi dideliu kontakto su judėjimo paviršiumi plotu. Todėl jos santykinis slėgis į gruntą nedidelis, o pravažumas geras. Šias savybes bandyta panaudoti lėktuvų važiuoklėse. JAV buvo sukurta vikšrinė važiuoklė strateginiam bombonešiui „Convair B-36 Peacemaker“.

131 pav. JAV strateginio bombonešio „Convair B-36 Peacemaker“ eksperimentinė versija su vikšrine važiuokle



a. b.

132 pav. Bombonešio „Convair B-36 Peacemaker“ važiuoklės atramos:
a. – priekinė atrama;
b. – pagrindinė atrama.

Tačiau bandymai parodė, kad vikšrinė važiuoklė, pritaikyta judėti dideliais greičiais, būdingais lėktuvams, labai sudėtinga, nepatikima ir sunki. Tokia pati važiuoklė, bandyta SSSR, taip pat nepasižymėjo patikimumu. Vis dėlto gali būti, kad pasinaudojus naujausiais pasiekimais kada nors pavyks sukurti aviacijai tinkamą vikšrinę važiuoklę.

6. Plūdės. Tai hidrolėktuvams ar amfibijoms būdingi važiuoklės konstrukciniai elementai. Didžiausia problema čia tai, kad aerodinamikos ir hidrodinamikos reikalavimai, keliami plūdės formai, labai skiriasi. Todėl jos turi didelį pasipriešinimą skrydžio metu.

133 pav. Lėktuvas amfibija „Fairchild 91“,
turintis plūdžių ir ratų tipų važiuokles

Be to, tupiant ir kylant, plūdę veikia labai dideli hidrodinaminiai krūviai, o kylant ir tupiant ant banguojančio vandens paviršiaus, jie turi dar ir smūginį charakterį. Todėl hidrolėktuvų plūdžių geometrijos ir konstrukcijos projektavimas inžineriniu požiūriu sudėtingas uždavinys.

7. Oro pagalvės. Visuomet siekiama, kad orlaiviai galėtų būti eksploatuojami nuo bet kokių paviršių. Norint tai įgyvendinti, vienas idealiausių sprendimų – važiuoklė ant oro pagalvės. Ji pasižymi itin mažu santykiniu slėgiu į paviršių, nejautri nelygumams, gerai dirba tiek sausumoje, tiek ant vandens. Daugelyje šalių kurtos ir bandytos aviacinės važiuoklės ant oro pagalvės parodė gerus pravažumo rezultatus.

134 pav. Eksperimentinis lėktuvas XC-8A (JAV), turintis važiuoklę ant oro pagalvės

Didžiausia važiuoklės ant oro pagalvės problema – dideli jos gabaritai. Todėl esant kreiserinio skrydžio padėčiai, ji kuria didelį pasipriešinimą. Bandymai sukurti patikimą įtraukiamą važiuoklę ant oro pagalvės kol kas nepavyko.

Tame pačiame lėktuve gali būti naudojama važiuoklė su slide ir su ratais ar kitos atraminio paviršiaus kombinacijos.

135 pav. Kosminis lėktuvas „Space ship one“. Jo priekinė važiuoklės atrama remiasi slide, pagrindinės – ratais

7.5. Konstrukcinės važiuoklių schemos

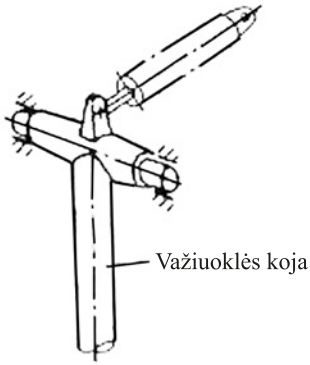
Jos skirstomos pagal šiuos požymius;

1. Pagal važiuoklės kojos tvirtinimo prie lėktuvo būdą.
2. Pagal amortizatoriaus išdėstymą atramoje ir krūvių perdavimo jam būdą.
3. Pagal rato tvirtinimą prie kojos.

1 Važiuoklės, tvirtinimas prie lėktuvo

Prie lėktuvo važiuoklės atrama gali būti tvirtinama konsoliškai arba paremiant spyriais.

Kai važiuoklė prie lėktuvo tvirtinama konsoliškai, ji su likusia lėktuvo konstrukcija tvirtinama naudojant viršutinėje atramos dalyje esantį mazgą. Jei važiuoklė įtraukiama – mazgas leidžia sukti atramą apie jo ašį įtraukiant ir išleidžiant. Kitomis kryptimis važiuoklė įtvirtinta standžiai.

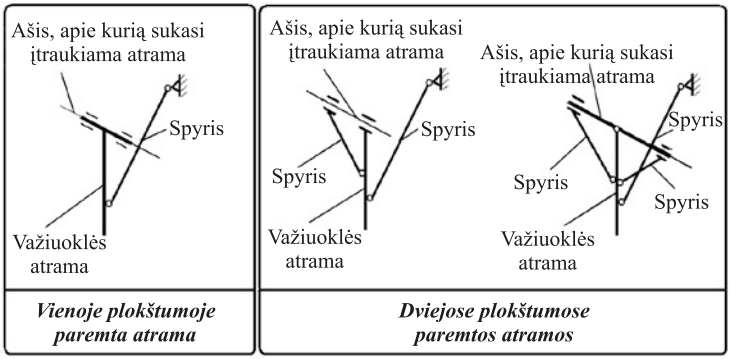


136 pav. Konsolinis įtraukiamos važiuoklės kojos tvirtinimas

Kai yra išleista, tokia važiuoklės atrama statybinės mechanikos požiūriu yra konsoliškai įtvirtinta sija. Ši schema paprasta, tačiau važiuoklės atrama nėra itin racionali stiprumo požiūriu. Todėl konsolinis važiuoklės atramos tvirtinimas dažniau naudojamas lengvų lėktuvų važiuoklių konstrukcijose.

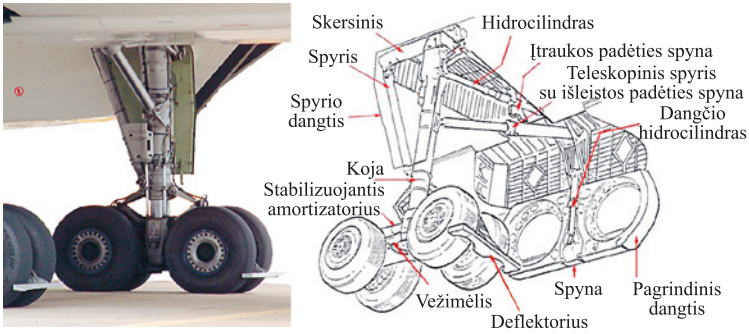
137 pav. Lėktuvo „Cessna Grand Caravan“ pagrindinė neįtraukiama važiuoklės atrama. Tai tipiškos konsoliškai įtvirtintos važiuoklės atramos pavyzdys

Nagrinėjant spyriais paremtas atramas, galima paminėti dvi schemas: kai atrama paremta vienoje plokštumoje ir kai paremta dviejose plokštumose. Spyriai padeda racionaliau priimti koją veikiančius krūvius. Tokios kojos lengvesnės, paprasčiau tvirtinamos prie lėktuvo. Spyris kartu gali būti ir išleidimo bei įtraukimo pavara.



138 pav. Važiuoklės atramos parėmimo spyriais schemos

Žemiau parodyta lėktuvo „Concorde“ pagrindinės važiuoklės atramos bendras vaizdas ir jos schema. Šios atramos teleskopinis spyris ne tik prilaiko koją lėktuvo išilginei ašiai statmenoje plokštumoje, bet ir panaudojamas kaip išleistos padėties fiksatorius (spyna).



a. b.

139 pav. Lėktuvo „Concorde“ spyriais paremta pagrindinė važiuoklės koja (a. – vaizdas iš šono; b. – važiuoklės kojos schema). Ši važiuoklės atrama paremta spyriais dviejose plokštumose

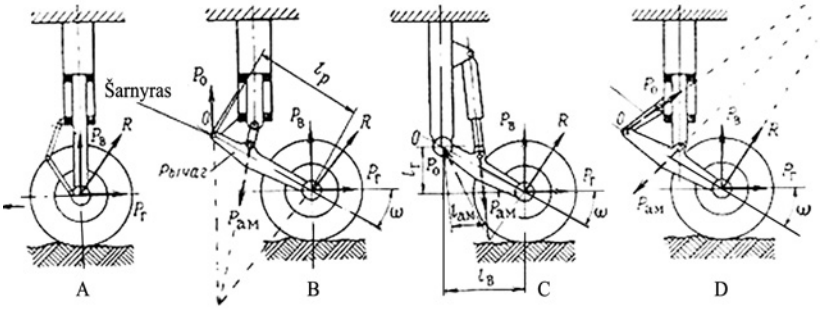
Yra ir daugiau važiuoklės tvirtinimo prie lėktuvo būdų. Tam gali būti panaudota vadinamoji piramidės schema ar bet koks kitas būdas.

140 pav. Lėktuvo „Pilatus PC-6 Porter“ vaizdas.
Pagrindinės neįtraukiamos jo važiuoklės atramos yra piramidės schemos

Pavyzdžiui, kai kuriuose lėktuvuose naudojamos piramidės schemos važiuoklės atramos. Jos labai racionalios jėginiu požiūriu, lengvai amortizuojamos, o amortizatorius apkraunamas tik išilgine kryptimi. Tačiau ši schema pasižymi gana dideliu aerodinaminiu pasipriešinimu, o tai rimtas trūkumas neįtraukiamai važiuoklei.

2. Amortizatorių išdėstymas atramose

Parenkant amortizatorių išdėstymo schemą, reikėtų stengtis, kad amortizatorius būtų apkraunamas tik išilgai jį veikiančiais krūviais. Tačiau tai pasiekti ne visuomet įmanoma.

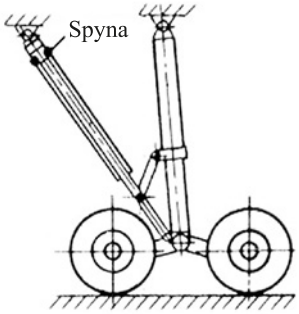


141 pav. Amortizatorių išdėstymo atramose variantai

A – teleskopinė. Šitokiu būdu įtvirtinus amortizatorių, gaunama gana paprasta atramos konstrukcija, tačiau visi krūviai, veikiantys horizontalioje plokštumoje, perduodami amortizatoriui (jo cilindrui ir stūmokliui). Kad ratai nepasisuktų amortizatoriaus išilginės ašies atžvilgiu, amortizatoriaus korpusas (cilindras) su kotu jungiami naudojant dviejų grandžių mechanizmą.

142 pav. Lėktuvo „JAS39A Gripen“ priekinė važiuoklės atrama. Jos amortizatorius teleskopiškai sujungtas su ratais. Kad ratukai nesisuktų apie amortizatoriaus ašį, panaudotas dviejų grandžių mechanizmas

Siekiant sumažinti amortizatorių veikiančius lenkimo krūvius, kai kuriose važiuoklėse koja paremiama iš abiejų galų lankstiškai pritvirtinta atrama.



143 pav. Amortizatoriaus tvirtinimo schemos variantas, kai važiuoklės koja su joje esančiu amortizatoriumi pritvirtinta lankstiškai ir paremta atrama

Atrama priima amortizatorių veikiančius horizontalius krūvius. Atramą apkraunant vertikaliu krūviu. amortizatorius apspaudžiamas, koja sutrumpėja ir pasisuka apie viršuje esantį lankstą. Įtraukiant ir išleidžiant važiuoklę, atrama gali būti panaudota kaip išleidimo ir įtraukimo hidrocilindras su išleistos padėties spyna.

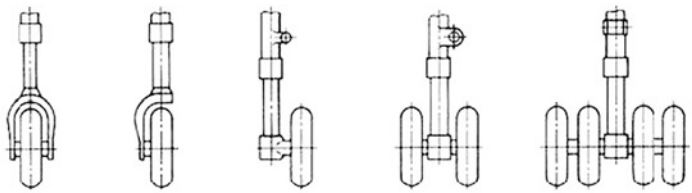
B ir C – svirtinės schemos. Jose amortizatorius apsaugotas nuo šoninių krūvių poveikio. B schemoje parodytas amortizatorius priima dalį išilgai lėktuvo ašies nukreiptos horizontalios apkrovos. Tačiau ta dalis santykinai nedidelė. Važiuoklės atrama tampa kompaktiška ir gana racionali, nes amortizatoriaus korpusas kartu yra ir važiuoklės koja. C schemoje parodytas amortizatorius, sumontuotas atramos išorėje. Tai padidina atramos gabaritus ir masę, tačiau amortizatorius apkraunamas tik išilgai jo ašies veikiančiais krūviais. Taigi schema gerai tinka lėktuvams, eksploatuojamiems nelygiuose, blogai įrengtuose aerodromuose.

D – pusiau svirtinė schema (joje amortizatorius taip pat priima horizontalią jėgą). Šoniniai krūviai čia visiškai perduodami amortizatoriui, o išilginiai – iš dalies. Tinkamai parinkus pečių santykį, išilginiai krūviai amortizatoriui tampa palyginti nedideli. Tokia važiuoklė

taip pat kompaktiška, nes jos amortizatorius korpusas kartu atlieka ir važiuoklės kojos funkciją.

3. Ratų tvirtinimas prie važiuoklės kojų

Ratai tvirtinami ašimis. Ašis prie kojos gali būti prijungta iš abiejų galų (šakutės tipo tvirtinimas) arba tik iš vieno galo (konsoliškai). Tokia ašis vadinama pusašiu.



144 pav. Ratų tvirtinimas: šakute (a.), puse šakutės (b.), pusašiu (c.), dviem pusašiais (d. ir e.)

Įtvirtinus ratą šakute, kai veikia išilginė jėga, važiuoklės koja nebus sukama ir lenkiama į šoną. Kadangi ašis remiasi abiejuose galuose, ji lengvesnė ir racionaliau apkraunama. Tačiau taip įtvirtintą ratą sudėtingiau permontuoti, šakutė užima daugiau vietos (tai gali būti aktualu, kai važiuoklei įtraukti galima skirti mažai erdvės). Šių trūkumų neturi tvirtinimas puse šakutės. Bet važiuoklę veikiantys krūviai šakutės pusę papildomai lenkia ir suka.

Naudojant rato tvirtinimą pusašiu, galima gauti ilgesnę važiuoklės koją, kurioje patogu įtaisyti ilgą amortizatorių, gerai absorbuojantį smūgines apkrovas. Vis dėlto tvirtinant vieną ratą šioje schemoje neįmanoma išvengti atramos sukimo ir lenkimo dėl rato nesimetriškumo atramos atžvilgiu. Jei pusašiais tvirtinami du (d.) poriniai ar keturi poriniai (e.) ratai, pati koja apkraunama tolygiau, galima išvengti didelio kojos sukimo bei lenkimo. Vis dėlto, nors ir truputį mažesnis, sukimas bei lenkimas bus, nes paviršių paliesti galima tupiant tik vienoje pusėje esančiais ratais.

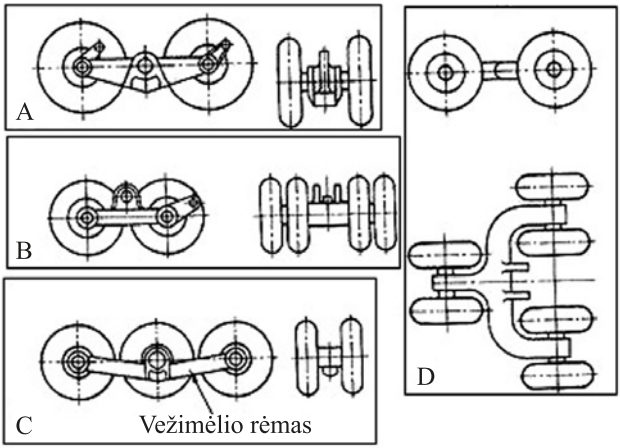
Kai ant vienos atramos reikia įtaisyti tris ir daugiau ratų, tikslinga juos tvirtinti prie vežimėlių. Didesnis ratų skaičius padidina važiuoklės

gyvybingumą. Vienos padangos sprogimas nesukelia pavojingos avarinės situacijos. Sumažėja ratų susidėvėjimas dėl trynimosi į tūpimo tako paviršių, kol ratas įsisuka po palietimo, nes vežimėliuose naudojami mažesnio skersmens (dėl to ir mažesnio inercijos momento) ratai. Didesnio ratų skaičiaus stabdžiai geriau atiduoda į aplinką šilumą, dėl to padidėja stabdymo efektyvumas. Vežimėlio masė paprastai mažesnė nei vieno tokį pat krūvį atlaikančio rato. Nedideli vežimėlio matmenys leidžia sutaupyti įtrauktos važiuoklės užimamą tūrį. Tačiau daugiaratis vežimėlis apsunkina lėktuvo manevringumą žemėje. Manevruojant stipriai dėvisi brangios aviacinės padangos. Tačiau jei sprogsta viena vežimėlio padanga, orlaivis gali sėkmingai judėti žeme.

Kad padidėtų lėktuvo pravažumas stengiamasi, jog vežimėlio ratai riedėtų skirtingomis vėžėmis. Tačiau taip išdėsčius ratus, įtraukta važiuoklė užima daugiau vietos. Tuomet galima naudoti ratų perstūmimą išilgai jų sukimosi ašies (pvz., MIG-31).

145 pav. Lėktuvo MIG-31 (Rusija) pagrindinė važiuoklės atrama. Išleidus važiuoklę šio lėktuvo atramos ratai paslenkami į šonus taip, kad jų vėžės nesutaptų. Prieš atramą įtraukiant ratai „suspaudžiami“ į vieną plokštumą

Kai važiuoklėje naudojami daugiaračiai vežimėliai, stengiamasi, kad jie, kai yra įtraukti, užimtų kuo mažiau vietos. Tačiau kompaktiškame vežimėlyje ratų poros rieda viena kitos vėže. Tai nepageidautina, siekiant pagerinti važiuoklės pravažumą.

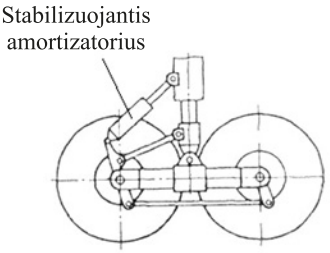


146 pav. Ratų tvirtinimo prie vežimėlių pavyzdžiai

Tokiu atveju galima naudoti ratų perstūmimą (panašiai kaip lėktuve MIG-31) arba vežimėlio ratus išdėstyti taip, kaip parodyta D schemoje (transportinio lėktuvo „C-5A Galaxy“ vežimėlis).

147 pav. Lėktuvo „C-5A Galaxy“ pagrindinės važiuoklės atramos vežimėlis. Nė vienas iš penkių šio vežimėlio ratų nerieda kito rato vėže

Tam, kad važiuoklės vežimėlis patirtų mažesnes smūgines apkrovas netolygaus žemės paviršiaus palietimo tupiant metu ir judant nelygiu aerodromo paviršiumi, taip pat siekiant slopinti važiuoklės vežimėlio sukamuosius virpesius (apie vežimėlio tvirtinimo ašį) greitai riedant nelygiu paviršiumi, naudojamas stabilizuojantis amortizatorius.

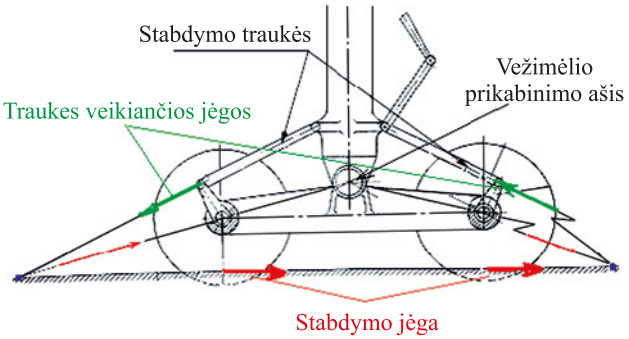


148 pav. Stabilizuojančio amortizatoriaus tvirtinimas (vienas iš variantų)

Išleidus važiuoklę prieš tupiant, vežimėlis gali būti fiksuojamas lygiagrečiai žemės paviršiui arba palenktas nuleidžiant galinius ratus. Pastaruoju atveju galiniai vežimėlių ratai žemę paliečia pirmieji. Dėl to sumažėja važiuoklę palietimo momentu veikiantys horizontalūs krūviai, nes ratai paliečia žemę ir įsukami dviem etapais (pirmiausia galiniai, o paskui priekiniai). Naudojant pasvirusius vežimėlius, jų padėtį nustato ir išlaiko stabilizuojantis amortizatorius.

149 pav. Lėktuvo B747 pagrindinių atramų vežimėliai prieš paliečiant žemę. Vežimėliai pasukti kampu į žemės paviršių. Pirmiausia žemę paliečia galiniai vežimėlių ratai

Stabdant trinties jėgų sukeltas momentas stengiasi pasukti vežimėlį apie jo tvirtinimo prie važiuoklės kojos lanksto ašį. Dėl to priekiniai vežimėlio ratai spaudžiami, o galiniai keliami. Sumažėjus prispaudimo jėgai, galiniai ratai neveiksmingai stabdomi (nes jų prispaudimas prie aerodromo paviršiaus mažesnis). o priekiniai patiria didelius krūvius. Šio reiškinio išvengiama ratų ašims su visais stabdžių mechanizmais leidžiant prasisukti vežimėlio atžvilgiu. Stabdymo sukeltas ratų pasukimo apie jų ašis momentas kompensuojamas stabdymo traukėmis.

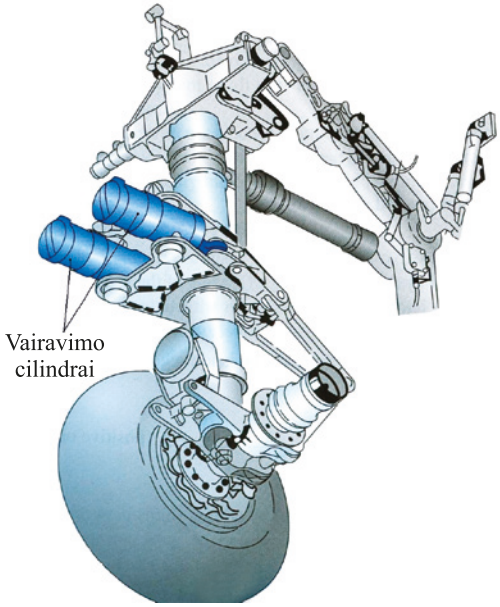


150 pav. Stabdžių traukių išdėstymas ant vežimėlio, kai ratų ašys gali suktis vežimėlio atžvilgiu. Tokio vežimėlio ratai stabdomi tolygiai, todėl priekiniai ratai neprispaudžiami

Stabdant iliustracijoje parodytas vežimėlis dėl trinties jėgų rato su aerodromo paviršiumi kontakto vietoje (raudonos rodyklės) stengiasi pasisukti apie prikabinimo ašį prieš laikrodžio rodyklę. Tačiau priekinė stabdymo traukė yra tempiama todėl, kad ji prikabinta prie atramos kojos suka vežimėlį pagal laikrodžio rodyklę. Taip pat veikia galinė gniuždoma stabdymo traukė. Taigi kuo labiau stabdymo trinties jėgos stengiasi atkelti galinius vežimėlio ratus, tuo stipriau juos spaudžia stabdymo traukės.

Priekiniai ratai, kai lėktuvas pakyla nuo žemės paviršiaus, prieš įtraukiami turi būti fiksuojami išilgai lėktuvo ašies. Be to, naudojant važiuoklę su priekine atrama, manevravimui žemėje užtikrinti ratas taip pat turi būti priverstinai pasukamas posūkio kryptimi arba lais-

vai besiorientuojantis (laisvai besiorientuojantis priekinis ratas taikomas tik lengvuose lėktuvuose, tuomet lėktuvas žemėje pasukamas diferencijuotai stabdant pagrindinių atramų ratus). Sunkesnių lėktuvų priekinis ratas sukiojamas hidrauliniu cilindru, nes jų ratui pasukti reikalinga didelė jėga. Dažnai tas pats cilindras atlieka ir priekinio rato virpesių (šimis) slopintuvo funkcijas.



151 pav. Vairavimo cilindriukų tvirtinimas prie priekinės važiuoklės atramos.

8. SVARBIAUSI VAŽIUOKLĖS KONSTRUKCIJOS ELEMENTAI

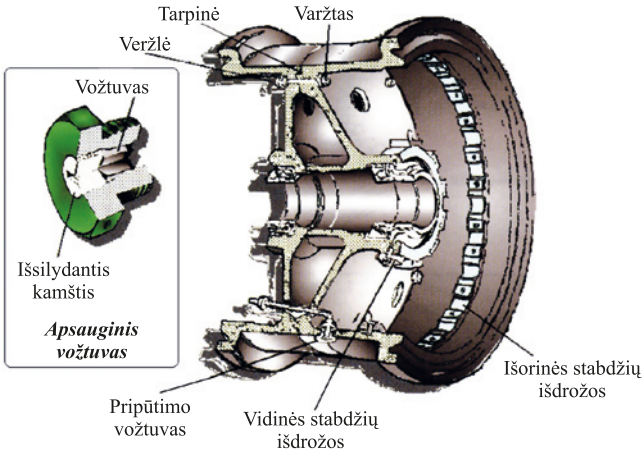
8.1. Ratai

Lėktuvo ratas sudarytas iš stebulės ir padangos.

8.1.1. Stebulės

Gaminamos iš aliuminio, magnio, titano lydinių. Paprastai būna išardomos. Stebulės yra sudarytos iš dviejų pusių, dalys dažniausiai jungiamos varžtais. Stebules veikia dideli radialiniai krūviai ir aukšta temperatūra.

Kad stabdžiams perkaitus nesprogtų padanga, kai kuriose stebulėse montuojamas nuo aukštos temperatūros išsilydantis apsauginis vožtuvas.

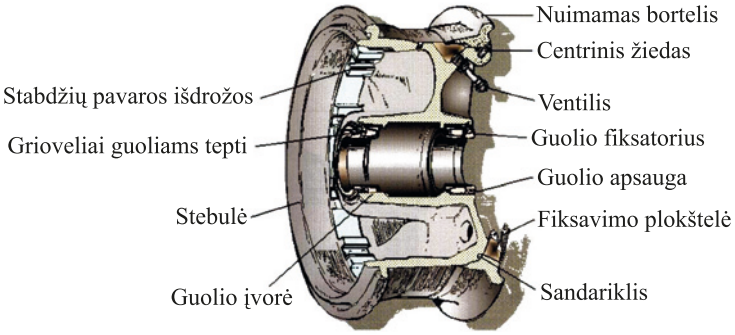


152 pav. Aviacinio rato stebulės, sudarytos iš dviejų pusių, ir apsauginio perkaitimo vožtuvo sandara

Orlaivių važiuoklėse naudojamos stebulės su nuimamu (padangai montuoti) borteliu. Nuimamas bortelis sudarytas iš dviejų puszviedžių.

Uždėti ant stebulės pusžiedžiai tarpusavyje jungiami specialiomis fiksavimo plokštelėmis – užraktais.

153 pav. „Clevelend“ firmos aviacinių ratų stebulės, sudarytos iš dviejų pusių



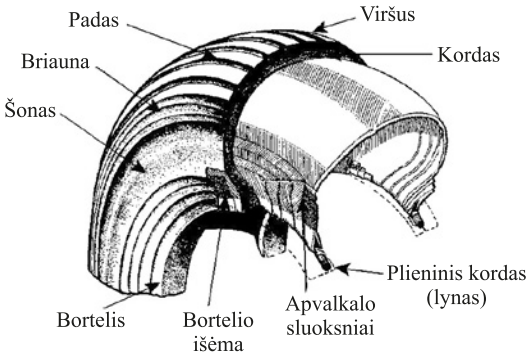
154 pav. Aviacinio rato stebulė su nuimamu borteliu

Visos stebulės į ašį remiasi dviem guoliais (jie paprastai lengvai įpresuojami). Guolių suspaudimas reguliuojamas tarp jų vidinių žiedų dedama įvore. Jei stebulė skirta naudoti su daugiadiskiais diskiniais stabdžiais, joje pjaunamos rotorių diskų išdrožos.

Paprastai stebulės gaminamos hermetiškos, kad būtų galima naudoti bekameres padangas. Stebulės elementai hermetizuojami įvairiais žiedais ar tarpinėmis.

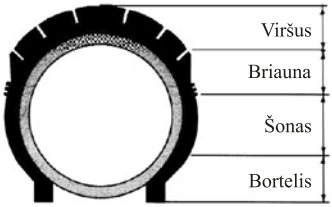
8.1.2. Padangos

Riedant ir ypač ratui palietus žemės paviršių, padanga smarkiai deformuojama.Vidinis slėgis ir išcentrinė jėga tempia padangą. Stabdant padanga apkraunama šlytimi.



155 pav. Padangos sandara

Kad būtų paprasčiau nagrinėti padangos konstrukciją ir aiškiau apibrėžti jos būklę, susitarta išorinį padangos paviršių skirstyti į juostas.



156 pav. Padagos išorinio paviršiaus skirstymas į juostas

Aviacijoje naudojamos tiek kamerinio, tiek nekamerinio tipų padangos.

Padangą charakterizuoja:

I. Gabaritiniai matmenys.

a. Išorinis skersmuo;

b. Vidinis skersmuo (tai padangos vidinės kiaurymės skersmuo, svarbus ją montuojant ant stebulės);

c. Plotis (tai didžiausias atstumas tarp padangos šonų).

II. Skerspjūvio forma.

Orlaivių važiuoklėse naudojamos šių skerspjūvio formų padangos:

a. Apvali;

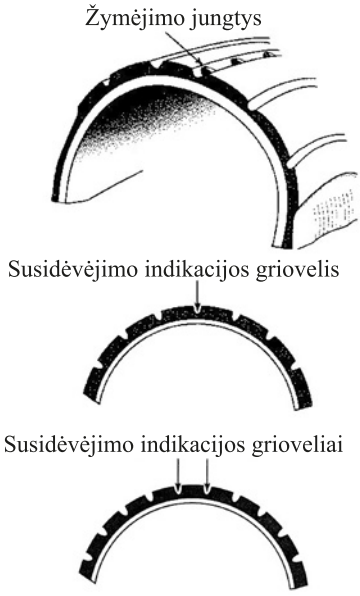
b. Arkinė;

c. Stačiakampė.

157 pav. Padangų skerspjūvių formos

Apvalaus skerspjūvio formos padangos labiausiai paplitusios aviacijoje. Jos gerai ir tolygiai sugeria smūgines apkrovas. Padangos šonai neapkraunami papildomais krūviais. Tačiau tokios padangos kontakto su gruntu plotas mažesnis nei stačiakampio skerspjūvio. Stačiakampė padanga turi didelį kontakto su paviršiumi plotą. Bet jos šonai visuomet sparčiau dyla. Stačiakampė padanga geriau priešinasi kylančioms važiuoklės vibracijoms. Vibracijų slopinimo požiūriu geriausia arkos formos skerspjūvio padanga. Bet ji greitai dėvisi, jautresnė didelėms perkrovoms ir eksploatavimui, esant mažesniam oro slėgiui padangoje.

Naudojama padanga dyla. Kad būtų paprasčiau ir objektyviau nuspręsti, kada padanga dar tinkama naudoti, o kada ją būtina keisti, pasitelkiami įvairūs indikatoriai.



158 pav. Padangos susidėvėjimo žymekliai ir indikatoriai

III. Slėgis:

a. Aukšto slėgio (daugiau kaip 1,5 MPa.);
b. Vidutinio slėgio (1–1,5 MPa.);
c. Žemo slėgio (0,5–1 MPa.);
d. Ypač žemo slėgio (mažiau kaip 0,5 MPa.).

Dujų slėgis padangoje labiausiai daro įtaką kontakto su riedėjimo paviršiumi plotui, o drauge ir lėktuvo pravažumui. Žemesnio slėgio padangos padidina lėktuvo pravažumą. Tačiau jos greičiau dėvisi, labiau kaista dėl didesnės pačios padangos deformacijos. Dėl to lėktuvuose, skraidančiuose dideliais tūpimo ir kilimo greičiais, naudojamos tik aukšto slėgio padangos.

8.2. Stabdžiai

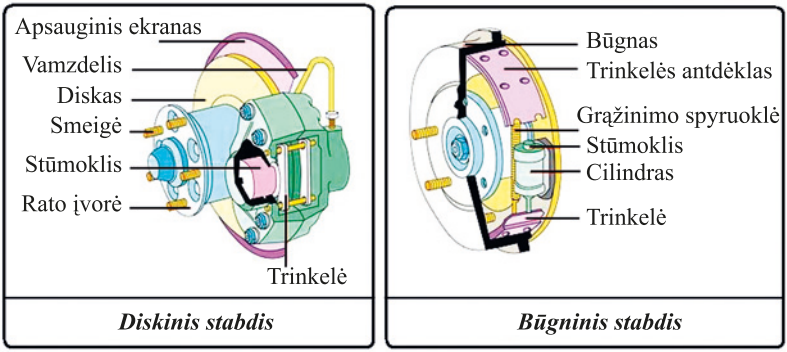
Stabdžiai sumažina orlaivio riedėjimo kelią nutūpus, padeda jam manevruoti riedant ir stabdo, kai reikia žemėje išbandyti ir patikrinti variklius. Iš esmės stabdis – tai įrenginys, lėktuvo kinetinę energiją

paverčiantis šiluma. Labai svarbu, kad stabdžio konstrukcija leistų kuo veiksmingiau tą šilumą atiduoti į aplinką. Dėl to kai kuriuose lėktuvuose net montuojamos priverstinio stabdžių apipūtimo aušinamu oru bei temperatūros kontrolės sistemos.

Stabdymo efektyvumas priklauso ne tik nuo pačių stabdžių tobulumo, bet ir nuo trinties tarp padangos ir paviršiaus, kuriuo rieda ta padanga, koeficiento.

Aviacijoje naudojami būgniniai, kameriniai ir diskiniai stabdžiai.

Būgninis stabdis sudarytas iš dviejų ar daugiau standžių trinkelių, padengtų specialia, didelį trinties koeficientą su būgnu turinčia medžiaga. Trinkelė turi išlaikyti iki 1 000 °C temperatūrą.



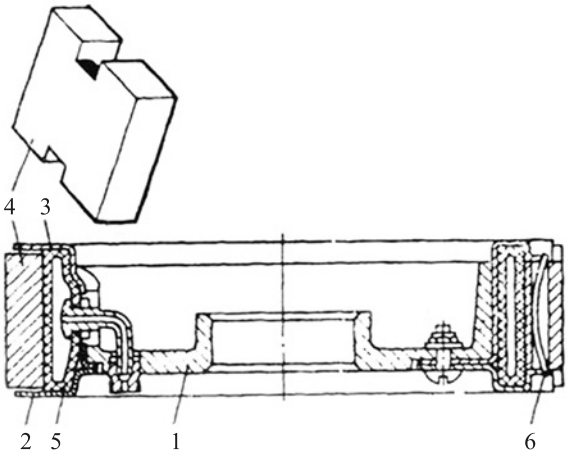
159 pav. Viendiskio diskinio (kairėje) ir būgninio (dešinėje) stabdžių sandara

Trinkelės lankstais tvirtinamos prie stabdžio korpuso, nejudamai sujungto su rato ašimi. Virš trinkelių yra plieninis būgnas, varžtais sujungtas su rato stebule ir besisukantis su ja. Stabdant trinkelės hidrauliniais cilindriukais ar specialiu ekscentriku prispaudžiamos prie būgno, taip stabdydamos besisisukantį ratą. Atleidus stabdžius, spyruoklės grąžina trinkeles į pradinę padėtį.

Dėl riboto besitrinančių paviršių ploto būgniniai stabdžiai negali veiksmingai paversti didelių kiekių kinetinės energijos šiluma. Todėl jie naudojami tik sąlyginai nedideliems ir mažą tūpimo greitį turintiems orlaiviams. Be to dėl trinkelių judesio kinematikos jos negali būti tolygiai spaudžiamos prie disko, o tai taip pat mažina stabdymo

efektyvumą. Didesnis trinkelių skaičius sumažina šį trūkumą, tačiau dėl to stabdis tampa sudėtingesnis.

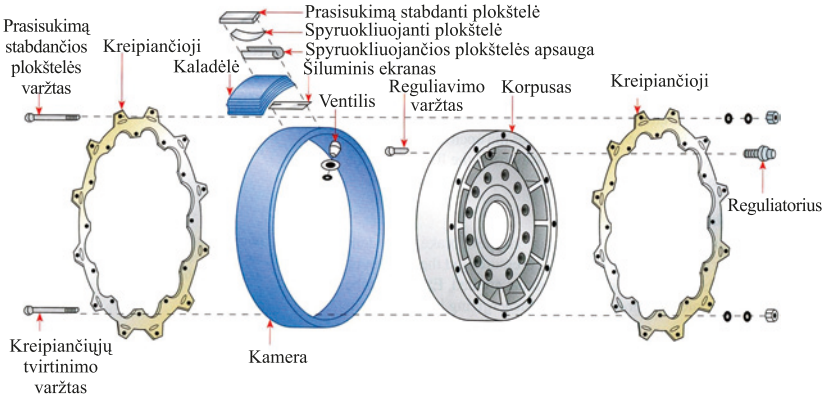
Kamerinis stabdis. Savo veikimo principu panašus į būgninį. Skirtumas tik tas, kad trinkeles, išdėstytas palei visą stabdžio korpuso perimetrą, prie būgno spaudžia žiedo formos kamera, kai į ją pripumpuojama suslėgto oro.



160 pav. Kamerinio stabdžio schema

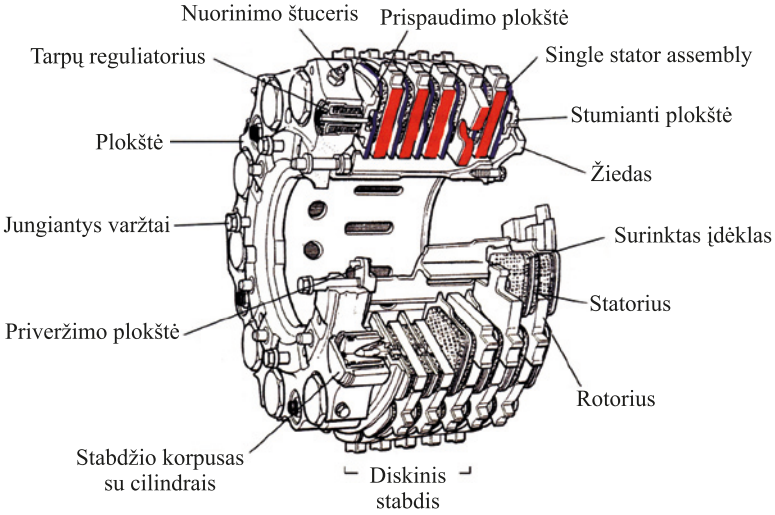
1 – Stabdžio korpusas.
2, 3 – Šoninės kreipiančiosios.
4 – Trinkelė.
5 – Guminė kamera.
6 – Plokštelinė spyruoklė.

Toks stabdis tolygiai prispaudžia trinkeles prie būgno, tačiau jis labai jautrus perkaitimui (elastinga kamera negali išlaikyti aukštų temperatūrų).



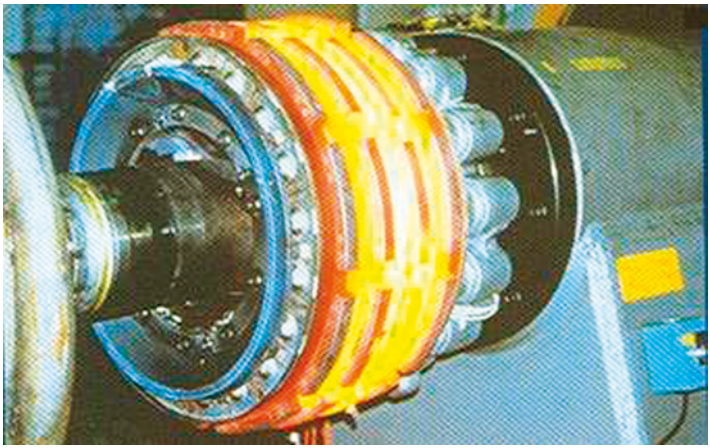
161 pav. Kamerinio stabdžio sandara

Diskiniai stabdžiai. Tai veiksmingiausi tiek pagal stabdymo metu sugeriamą energiją, tiek pagal jos atidavimą aplinkai stabdžiai. Diskinis stabdis būna viendiskis ir daugiadiskis.



162 pav. Tipiškas daugiadiskis diskinis aviacinio rato stabdis

Viendiskiai stabdžiai negali šiluma paversti didelių energijos kiekių. Todėl sunkesniuose lėktuvuose naudojami daugiadiskiai diskiniai stabdžiui. Jie dirba itin sunkiomis sąlygomis, išskirdami milžiniškus šilumos kiekius.



163 pav. Anglies pluoštu armuoto diskinio stabdžio testas. Matosi, kaip stabdis įkaitęs

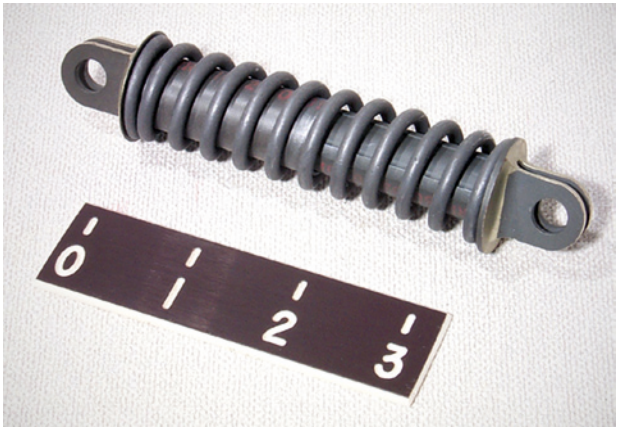
8.3. Amortizatoriai

Aviacijoje naudojami šių tipų amortizatoriai:

a. Spyruokliniai (plokšti ir cilindriniai);
b. Guminiai;
c. Dujiniai-hidrauliniai.

Spyruokliniai amortizatoriai – patys paprasčiausi. Tačiau jų energijos sugėrimo savybės itin prastos. Todėl tokie amortizatoriai naudojami tik lengvuosiuose lėktuvuose. Spyruokliniai amortizatoriai būna su plokščiomis arba cilindrinėmis spyruoklėmis.

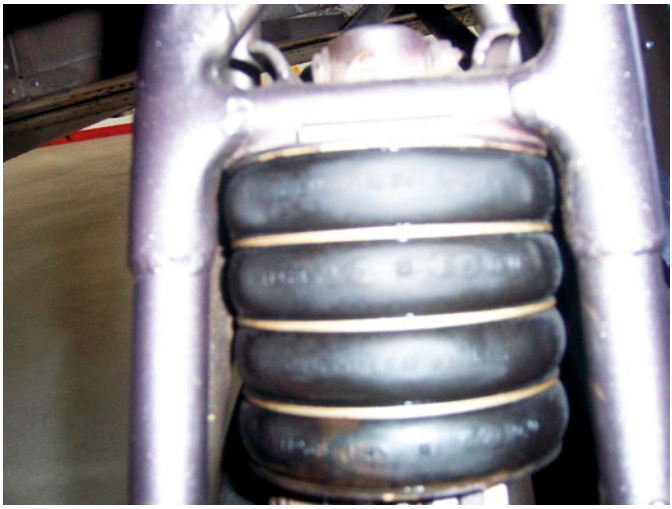
164 pav. Važiuoklės atrama su plokščiu spyruokliniu amortizatoriumi



165 pav. Spyruoklinis cilindrinis amortizatorius

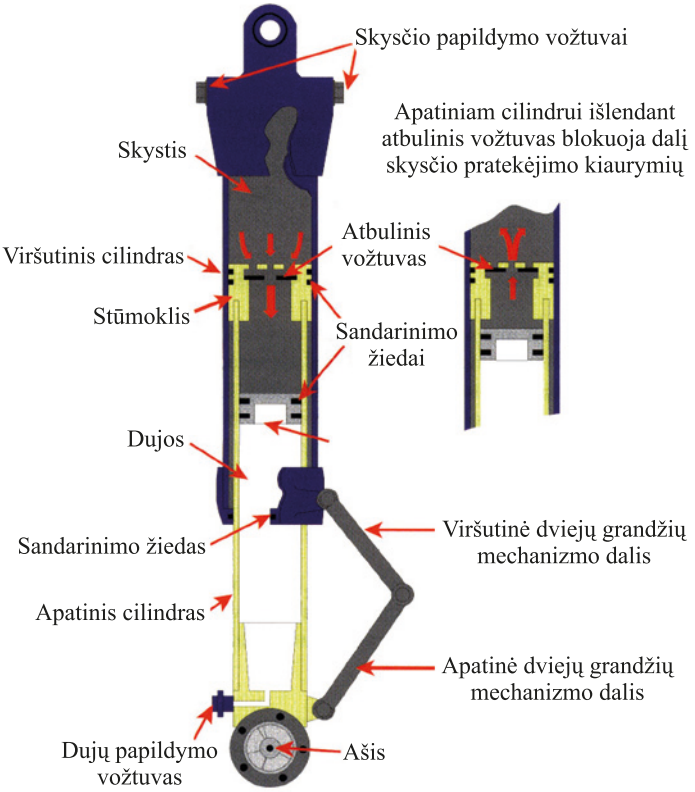
Spyruoklinių amortizatorių konstrukcija itin paprasta, tačiau dėl blogų energijos absorbcijos savybių jie nepakankamai slopina lėktuvo svyravimus vertikalia kryptimi.

Guminiai diskiniai ir virveliniai amortizatoriai šiek tiek sudėtingesni nei spyruokliniai. Tačiau guminiai amortizatoriai taip pat negali absorbuoti didelių energijos kiekių. Gumos elastingumas priklauso nuo aplinkos temperatūros. Be to, guma laikui bėgant sensta, kietėja ir trūkinėja.



166 pav. Lėktuvo „Money M20M“ guminis diskinis amortizatorius

Hidrauliniai-dujiniai amortizatoriai – tai vieni veiksmingiausių dabar aviacijoje naudojamų amortizatorių. Jo veikimas paremtas hidraulinio skysčio perpumpavimu iš vienos amortizatoriaus kameros į kitą smūgio metu. Hidraulinis skystis teka per nedideles kalibruotas kiaurymes stūmoklyje. Dėl to susidaro dideli hidrauliniai nuostoliai. Be to, amortizatoriui grįžtant į pradinę padėtį, dalis kiaurymių uždaroma atbuliniu vožtuvu, todėl atbulinė eiga dar sulėtinama ir lėktuvas neatšoka nuo kontaktinio paviršiaus. Suspaustos dujos, užpildančios amortizatoriaus apatinį cilindrą, veikia kaip spyruoklė – dingus arba sumažėjus apkrovai, jos išstumia skystį, taip grąžindamos amortizatorių į pradinę padėtį.



167 pav. Vienkamerio dujinio-hidraulinio amortizatoriaus schema

LITERATŪRA

Bingelis, T. 1983. The sportplane Builder. Aircraft Construction Methods. 319 p.

Bingelis, T. 1984. Firewall Forward, Engine Installation Methods. 303 p.

Bingelis, T. 1987. Sportplane Construction Techniques. 366 p.

Howe, D. 2000. Aircraft Conceptual design Synthesis. London. Professional Engineering publishing Limited: 447 p.

Jenkinson, L.; Marchman, J. Aircraft Design Projects. London. Buttervorth-Heinemann. 371 p.

Merkys, B. 2010. Turbininių reaktyvinių variklių konstrukcija. Vilnius Technika. 288 p.

Raymer, P. D.1992. Aircraft design: A Conceptual Approach. Washington. American Institute of Aeronautics, Inc. 745 p.

Roskam, J. 1997. Airplane Design. Part I-VIII. Kansas.

Torenbeek, E. 1985. Synthesis of subsonic airplane design. Rotterdam: Delft University Press: 599 p.

Žiliukas, A. 2007. Orlaivių konstrukcijų mechanika. Vilnius. Technika: 300 p.