



Eugenijus PILECKAS

AVIACIJOS PRIETAISAI. Skrydžio prietaisai

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

Eugenijus PILECKAS

AVIACIJOS PRIETAISAI. Skrydžio prietaisai

Mokomoji knyga



Vilnius „Technika“ 2012

Eugenijus Pileckas. Aviacijos preitaisai. Skrydžio prietaisai: moko-
moji knyga. Vilnius: Technika, 2012, 96 p. [3 aut. l. 2012 06 19]

Knygoje pateikiama žinių apie aviacijos skrydžio prietaisus. Aprašomi avia-
cijos prietaisų tipai ir jų darbo sąlygos, skrydžio prietaisų matuojami parametrai ir
jų klasifikavimas, taip pat oro duomenų prietaisai.

Mokomoji knyga skirta aviacinės mechanikos studentams, studijuojantiems
avionikos pagrindus

Leidinį rekomendavo VGTU Antano Gustaičio aviacijos instituto studijų komitetas

Recenzavo: doc. E. Lasauskas, Aviacinės mechanikos katedra

doc. V. K. Maceika, Aviacijos technologijų katedra

Leidinyi parengtas ir išleistas už Europos struktūrinių fondų lėšas, jomis finansuo-
jant VGTU Transporto inžinerijos, Biomechanikos ir Aviacinės mechanikos inžine-
rijos projektą „Studijų programų atnaujinimas pagal ES reikalavimus, gerinant stu-
dijų 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 didini-
mas“. Projekto kodas Nr. VP1-2.2-ŠMM 07-K-01-023, finansavimo ir administra-
vimo sutartis Nr. VP1-2.2-ŠMM-07-K-01-023.

VGTU leidyklos TECHNIKA 1346-S mokomosios
metodinės literatūros knyga

<http://leidykla.vgtu.lt>

Redaktorė *Jūratė Balčiūnienė*

Maketuotoja *Birutė Bilotienė*

eISBN 978-609-457-226-5

doi:10.3846/1346-S

© Eugenijus Pileckas, 2012

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2012

TURINYS

Pratarmė	4
1. Matuojami parametrai ir jų klasifikavimas	5
2. Prietaisų tipai ir jų darbo sąlygos	12
3. Oro duomenų prietaisai	15
3.1. Aerometrijos pagrindai	15
3.2. Oro duomenų prietaisų elementai ir mechanizmai	22
3.3. Pito-statinė sistema	54
3.4. Aukščiamatis	63
3.5. Orinio greičio indikatorius	73
3.6. Tikrojo orinio greičio ir <i>Macho</i> skaičiaus nustatymas	78
3.7. Vertikalojo greičio indikatorius	85
3.8. Oro duomenų kompiuteris	91
Literatūra	96

PRATARMĖ

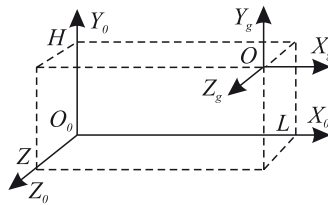
Knygoje nagrinėjami aviacijos prietaisų sudarymo principai, pirminiai matavimo jutikliai, informacijos perdavimo ir vaizdavimo priemonės. Aprašomi aviacijos prietaisų tipai ir jų darbo sąlygos, skrydžio prietaisų matuojami parametrai ir jų klasifikavimas, oro duomenų prietaisai.

Ši metodinė, mokomoji medžiaga atitinka JAR-FCL NO 022 00 00 00 standartą ir skirta aviacinės mechanikos specialybės studentams, studijuojantiems avionikos pagrindus.

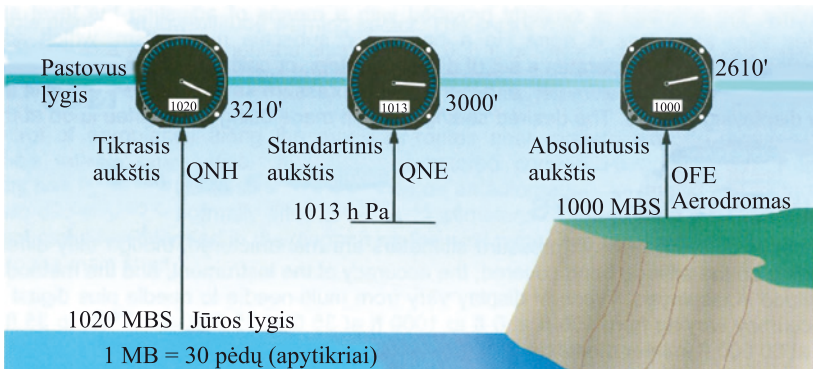
1. MATUOJAMIEJI PARAMETRAI IR JŲ KLASIFIKAVIMAS

Šių aviacinių prietaisų paskirtis – matuoti orlaivio skrydžio procesą apibūdinančius parametrus. Kadangi skrydžio metu jie nuolat kinta, informacija apie matuojamųjų parametrų dydžius naudojama skrydžiui valdyti, variklių darbo režimams kontroliuoti ir orlaivį supančios aplinkos parametrams nustatyti.

Orlaivio, kaip kietojo kūno, judesys erdvėje susideda iš tiesinio judesio (masių centro judesio) ir kampinio judesio (judesio aplink masių centrą). Orlaivio masių centro (1.1 pav. taškas O) padėtis erdvėje nustatoma pagal su žemės vietoje susijusios normaliosios koordinatinių sistemos $O_0X_gY_gZ_g$ kordinates: H – skrydžio aukštį; L – skrydžio nuotolį; Z – šoninį nuokrypį.



1.1 pav. Orlaivio masių centro tiesinio judėjimo koordinatės

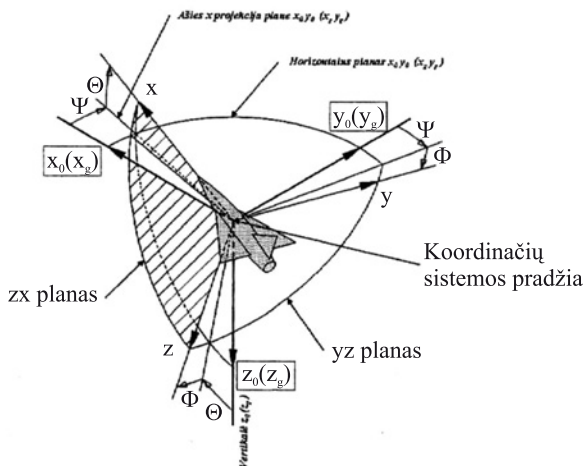


1.2 pav. Orlaivio skrydžio aukščiai

Aukštis matuojamas pagal orlaivio ir atskaitos paviršiaus Žemėje vertikale. Atsižvelgiant į pasirinktą atskaitos paviršių, skiriami absoliutūs (**QFE**), tikrasis (**QNH**) ir standartinis (**QNE**) orlaivio skrydžio aukščiai (1.2 pav.).

Orlaivio kampinei padėčiai erdvėje nustatyti naudojamos normalioji $O_0X_gY_gZ_g$ ir susietoji $OXYZ$ koordinačių sistemos. Abiejų sistemų koordinačių pradžia sutampa su orlaivio masių centru (1.3 pav.). Normaliosios sistemos koordinačių ašys sutampa su vietos vertikaliaja ir horizontaliaja plokštumomis. Susietosios sistemos ašis OX nukreipta pagal išilginę orlaivio ašį (1.3 pav.). Ašis OY yra simetrijos plokštumoje ir statmena ašiai OX . Ašis OZ , nukreipta į dešiniojo sparno pusę, – statmenai orlaivio simetrijos plokštumai.

Kampinė orlaivio padėtis normaliosios koordinačių sistemos atžvilgiu nustatoma trimis Eulerio kampais (kampinėmis koordinatėmis): Ψ , Θ , Φ .

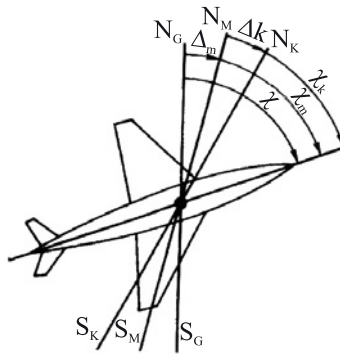


1.3 pav. Orlaivio kampinio judėjimo koordinatės masių centro atžvilgiu

Kampas Ψ , esantis tarp ašies OX_g ir susietosios ašies projekcijos horizontaliojoje plokštumoje X_gOZ_g , vadinamas **azimuto** kampu. Kampas Θ , esantis tarp susietosios ašies OX ir horizontaliosios plokštumos, vadinamas **polinkio** kampu. Kampas Φ , esantis tarp orlaivio

simetrijos plokštumos XOY ir vertikaliosios plokštumos, pereinančios per susietąją ašį OX , vadinamas **posvyrio** kampu.

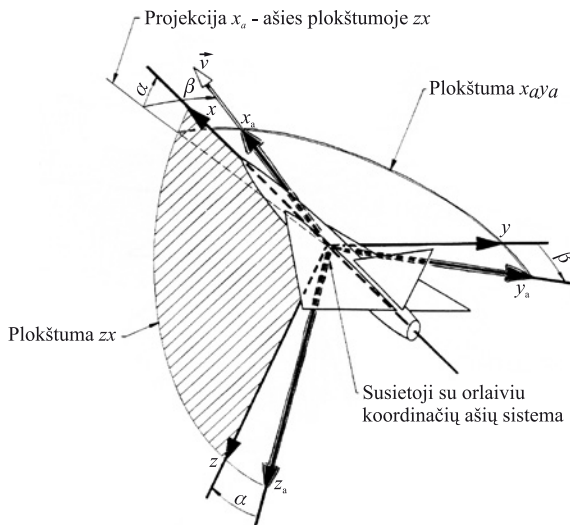
Orlaivio skrydžio kryptis normaliosios žemės koordinatinių sistemos atžvilgiu nustatoma **orlaivio kursu** χ , kuris reiškia kampą, atskaitomą pagal laikrodžio rodyklę tarp meridiano krypties ir orlaivio išilginės ašies projekcijos į horizonto plokštumą. Pagal meridianą (geografinę, magnetinę, kompasą), kuri naudojama kaip atskaitymo linija, skiriami (1.4 pav.) tikrasis χ , magnetinis χ_m ir kompasas χ_k kursai.



1.4 pav. Tikrasis, magnetinis ir kompasas orlaivio kursai

Magnetinis kursas χ_m skiriasi nuo tikrojo kurso χ magnetinio poslinkio Δ_m dydžiu, o kompasas kursas χ_k nuo magnetinio kurso χ_m – magnetinės deviacijos Δk dydžiu. Išskyrus tiesines (H, L, Z) ir kampines (Ψ, Θ, Φ) koordinatas, matuojami parametrai, apibūdinantys **orlaivio judėjimą priešpriešinio oro srauto** atžvilgiu. Tam įvedama greičių koordinatinių sistema $OX_aY_aZ_a$ (1.5 pav.), susieta su orlaivio judėjimo greičio vektoriumi $\vec{V}$ oro aplinkos atžvilgiu, vadinamuoju **tikruoju oriniu greičiu**. Greičių koordinatinių sistemos $OX_aY_aZ_a$ ašies OX_a kryptis sutampa su vektoriaus $\vec{V}$ kryptimi. Ašis OX_a statmena ašiai OZ_a ir yra vertikalioje plokštumoje, praeinančioje per ašį OX_a . Ašis OZ_a statmena plokštumai X_aOY_a ir nukreipta dešiniojo sparno link. Greičių koordinatinių sistemos $OX_aY_aZ_a$ padėtis susietos koordinatinių sistemos $OXYZ$ atžvilgiu nustatoma kampais α ir β (1.5 pav.). Kampas α tarp tikrojo orinio greičio vektoriaus projekcijos orlaivio

simetrijos plokštumoje (XOY) ir susietos ašies OX vadinamas **atakos** kampas, kampas β tarp tikrojo orinio greičio vektoriaus ir orlaivio simetrijos plokštumos XOY – **slydimo** kampas.



1.5 pav. Greičių koordinacių sistema

Orlaiviams valdyti, be tikrojo orinio greičio, taip pat naudojami tokie skrydžio greičiai kaip prietaisinis, kalibruotasis, kelio ir vertikalasis. **Prietaisinis greitis** V_i – tai tikrasis orinis greitis, normuotas oro tankiu masės vienetu. **Kelio greitis** V_k – tai orlaivio judėjimo greičio horizontaliosios komponentės projekcija Žemės atžvilgiu. Pučiant vėjui, kelio greitis lygus tikrojo orinio ir vėjo greičių horizontaliųjų komponentių geometrinei sumai. **Vertikalasis greitis** V_v – tai orlaivio judėjimo greičio vertikalioji komponentė Žemės atžvilgiu. Bedimensė orlaivio skrydžio greičio charakteristika yra **Macho skaičius** M , lygus tikrojo orinio ir garso greičių ore santykiui.

Siekiant reikiamos judėjimo trajektorijos valdymo kokybės, dažnai tenka matuoti tiesinių ir kampinių koordinacių išvestines: **kampinius greičius ir pagreičius** susietųjų ašių atžvilgiu ($\omega_x, \omega_y, \omega_z, \omega'_x, \omega'_y, \omega'_z$) bei **tiesinį pagreitį** j susietosios ašies kryptimi.

Variklių darbo režimai apibūdinami parametrais, nustatančiais variklio trauką P_t , santykinės kuro sąnaudas G_{san} , šiluminius ir dinامينius jo detalių režimus bei darbo patikimumą. Tokie parametrai yra: slėgio didėjimo laipsnis kompresoriuje Π_k , dujų temperatūra prieš turbiną T_3 , per variklį pereinančio oro sąnaudos G_0 , oro ir dujų slėgis, greitis variklio trakte ir pan.

Pagrindiniai iš minėtųjų parametru yra dydžiai Π_k ir T_3 . Kadangi esant darbo režimams paprastai apsiribojama sąlyga, kad $\Pi_k = \text{const}$; $T_3 = \text{const}$, tai esant pastoviems išorinių sąlygų parametrų dydis Π_k tampa proporcingas sukų dažniui n per laiko vienetą. Todėl, nustatant variklio trauką bei terminę ir dinaminę jo detalių įtampą, naudojami matuojamieji parametrai n ir T_3 . Šiuos parametrus galima reguliuoti, keičiant reaktyvinės tūtos plotą, kompresoriaus sparnelių nustatymo kampą, pagrindinio G_t ir forsavimo G_f kuro sąnaudas.

Kadangi prietaisų darbo sąlygos orlaivyje skiriasi nuo darbo sąlygų Žemėje dėl įvairių sudėtingai juos veikiančių skirtingų išorinių veiksnių, prie matuojamųjų orlaivyje parametru priskiriami ir aplinkos bei mechaninių poveikių (vibracijų, perkrovų) parametrai. Aviaciniais prietaisais matuojami parametrai skirstomi į tris pagrindines grupes: pilotavimo navigaciniai, variklių darbo režimų, skrydžio aplinkos parametrai.

Pilotavimo navigaciniai parametrai dar dalijami į dvi grupes: orlaivio evoliucijos ir skrydžio parametrus.

Pagrindiniai parametrai, apibūdinantys skrydžio režimus, ir jų matavimo priemonės pateiktos 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Pagrindinių parametru matavimas

Matuojamieji parametrai	Žymėjimas	Matavimo priemonė
I. Aplinkos parametrai		
<i>Atmosferos parametrai</i>		
■ tankis	ρ	tankio matuokliai
■ santykinis tankis	Δ_n	tankio matuokliai
■ temperatūra	T	termometras
■ slėgis	P	manometras (barometras)
■ drėgmė	χ	hidrometras
■ vėjo greitis	W	greičio matuoklis

1.1 lentelės tęsinys

Matuojamieji parametrai	Žymėjimas	Matavimo priemonė
II. Pilotavimo navigaciniai parametrai		
<i>a) Orlaivio evoliucijos parametrai</i>		
1. Kampai:		
■ azimuto	Ψ	girokompasas, kurso sistema
■ polinkio	Θ	aviahorizontas, girovertikalė
■ posvyrio	Φ	aviahorizontas, girovertikalė
■ kurso (krypties)	χ_m, χ_k, χ_o	giroindukcinis kompasas, kurso sistema
2. Judėjimo kampai oro atžvilgiu:		
■ atakos	α	atakos kampo jutiklis
■ slydimo	β	slydimo kampo jutiklis
3. Kampiniai greičiai ir pagreičiai:		
■ kampinis greitis	ω	greičio giroskopas
■ kampinis pagreitis	ω'	diferencijavimo įtaisas
■ tiesinis pagreitis	j	pagreičių jutiklis
■ perkrova	n_p	perkrovų jutiklis
<i>b) Skrydžio parametrai</i>		
■ prietaisinis greitis	$V_e (IAS)$	orinio greičio indikatorius
■ kalibruotasis greitis	$V_c (CAS)$	orinio greičio indikatorius
■ tikrasis greitis	$V (TAS)$	tikrojo orinio greičio matuoklis
■ kelio greitis	V_k	kelio greičio matuoklis
■ Macho skaičius	$M = \frac{V}{C_{garso}}$	machometras
■ skrydžio aukštis	H, H_S, H_T	orinių signalų sistema
■ šoninis nuokrypis	Z	aukščio korektorius, orinių signalų sistema
■ skrydžio nuotolis	L	automatinis navigacinis įtaisas
III. Variklių darbo režimo parametrai		
1. Sūkių (rotoriaus, veleno, turbinos ir kt.) dažnis	n	sūkių dažnio matuoklis (tachometras)
2. Variklio temperatūra:		termometrai
prieš turbiną	T_3	
■ po turbinos	T_4	

1.1 lentelės tęsinys

Matuojamieji parametrai	Žymėjimas	Matavimo priemonė
■ tepalo (alyvos)	T_t	
■ oro (aušinimo)	T_0	
3. Slėgis variklyje:		manometrai
■ kuro	p_t	
■ alyvos	p_m	
■ po kompresoriaus	p_k	
■ oro turbinoje	P_0	
4. Slėgio kitimas turbinoje		
5. Kuro (alyvos) kiekis bakuose:		
■ tūrinis	ε_t	kuro kiekio (lygio) matuokliai
■ svorinis	V_T	kuro masės matuokliai
6. Kuro (alyvos) sąnaudos:		
■ debitas	G_T	debitometrai
■ forsuojamojo variklio	G_f	debitometrai
7. Sukimo momentas	G_f	momento matuoklis
8. Variklio trauka	P	traukos matuoklis
9. Vibracijų amplitudė ir dažnis	a_v, f_v	vibrometrai

2. PRIETAISŲ TIPAI IR JŲ DARBO SĄLYGOS

Aviacinius prietaisus galima skirstyti pagal paskirtį, veikimo principą, valdymo būdą ir matuojamojo dydžio vaizdavimo būdą.

Pagal **paskirtį** aviaciniai prietaisai skirstomi į:

- pilotavimo navigacinius prietaisus;
- variklių darbo kontrolės prietaisus;
- aplinkos parametrų nustatymo prietaisus;
- įvairių orlaivio sistemų ir agregatų veikimo kontrolės prietaisus.

Pagal **veikimo principą** prietaisai gali būti:

- mechaniniai;
- elektriniai;
- hidrauliniai;
- optiniai;
- mišrieji, pavyzdžiui, elektromechaniniai, optoelektroniniai ir pan.

Pagal **valdymo būdą** prietaisai gali būti:

- tiesioginiai;
- distanciniai.

Šiuolaikiniuose civilinės aviacijos orlaiviuose dažniausiai naudojami distanciniai prietaisai. Distanciniams aviaciniams prietaisams būdinga tai, kad tarp matuojamojo (kontroliuojamojo) pirminio informacijos parametro jutiklio ir kontrolės rezultato indikatoriaus egzistuoja informacijos perdavimo linija.

Savo ruožtu informacijos (nuo pirminio jutiklio* iki pavaizdavimo įtaiso) perdavimo linija gali būti:

- mechaninė;
- hidraulinė;

* Pirminis informacijos jutiklis (pirminis jutiklis) – tai bet kurio matuojamojo (kontroliuojamojo) pirminio dydžio (parametro) reikšmės $x(t)$ keitiklis į kito pavidalo dydį $y(t)$, patogesnę toliau naudoti. Pirminis informacijos jutiklis (pirminis jutiklis) – tai bet kurio matuojamojo (kontroliuojamojo) pirminio dydžio (parametro) reikšmės $x(t)$ keitiklis į kito pavidalo dydį $y(t)$, patogesnę naudoti toliau.

- pneumatinė;
- elektrinė;
- optinė ir pan.

Pagal kontroliuojamos *informacijos pateikimo* būdą aviaciniai prietaisai gali teikti:

- kontrolės rezultatus tiesiogiai matuojamais vienetais analogine arba skaitmenine forma;
- semantinę informacinę vaizdą, pavyzdžiui, lėktuvo siluetą ekrano žemėlapyje, grafiką, diagramą ir pan.;
- informaciją užrašais švieslentėse (šviesos skyde) arba signalinėmis lemputėmis;
- informaciją vartotojui garsiniais signalais.

Aviacinių prietaisų darbo sąlygos. Eksploatuojamus aviacinius prietaisus veikia išoriniai veiksniai: temperatūros ir slėgio kitimas, mechaniniai smūgiai (inercinės jėgos), tiesiniai pagreičiai, vibracijos, dulkės, drėgmė.

Aviacinių prietaisų elementai, pagal tai, kokioje orlaivio dalyje išorinio poveikio atžvilgiu jie yra, apibūdinami kaip:

- sekcijos (kamos) su reguliuojamąja temperatūra;
- sekcijos (zonos), kontaktuojančios su išoriniu oro srautu;
- variklių kameros; sekcijos (kamos) su nereguliuojamąja temperatūra.

Aviacinių prietaisų darbo temperatūra gali svyruoti nuo +60 °C iki –60 °C, kai kuriais atvejais siekti net +300 °C, kitimo greitis gali keistis nuo 2 °C/min ribos iki 10 °C/min ribos. Kintant prietaisų darbo temperatūrai, keičiasi ir aplinkos oro drėgmė, atsiranda kondensatas; didėjant aplinkos temperatūrai daugėja garų, o jai staigiai mažėjant atsiranda kondensatas (rasojimas).

Pagal *slėgio pokyčius* aviaciniai prietaisai turi veikti aukščiuose: 6 000 m – ($P \approx 47\,285$ Pa); 10 000 m – ($P \approx 270\,353$ Pa); 15 000 m – (12 159 Pa); 26 000 m – (2 027 Pa).

Skrydžio metu aviacinius prietaisus veikia *mechaninės vibracijos ir perkrovos*. Leistinasis amortizuojamų prietaisų vibracijų dažnis

iki 2 000 Hz, o neamortizuojamų – iki 500 Hz. Perkrovos matuojamos judėjimo pagreičio a laisvojo kritimo pagreičio g santykiu. Jos sudaro nuo $5g$ (49 m/s^2) iki $10g$ (98 m/s^2) – smūgiai.

Tam, kad aviaciniai prietaisai patikimai, t. y. negesdami, veiktų kuo ilgiau, imamas įvairių priemonių. Viena iš jų – laiku atlikta techninė priežiūra. Gaminant aviacinius prietaisus, atsižvelgiama į eksploatacines sąlygas – parenkamos tinkamos medžiagos, matavimo metodai ir pan.

3. ORO DUOMENŲ PRIETAISAI

3.1. Aerometrijos pagrindai

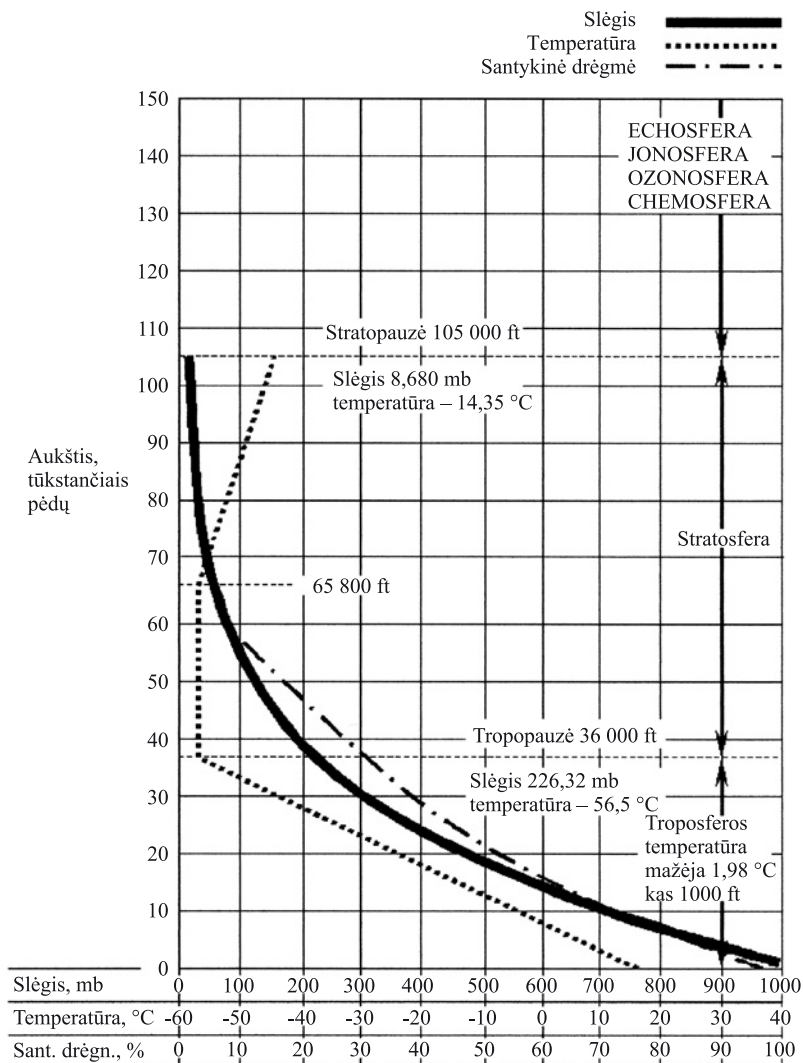
Orlaiviui skrendant, tokie jo skrydžio parametrai kaip aukštis, greitis, aukščio pokyčių greitis bei orlaivio kampai skrydžio greičio vektoriaus atžvilgiu gali būti nustatomi pagal orlaivį supančios atmosferos parametrus ir nuo skrydžio greičio, priklausančio oro dinaminio slėgio pokyčius.

Barometrinis aukščio matavimo metodas. Barometrinių oro duomenų aukščiamatvių veikimas pagrįstas tuo, kad didėjant aukščiui mažėja absoliutusias oro slėgis atmosferoje. Išvedant absoliučiojo slėgio P priklausomybės nuo aukščio H formules, turi būti įvertinama atmosferos tankio ir temperatūros kitimo priklausomybė nuo aukščio. Kadangi įvairiose vietovėse skirtingu metų laiku slėgis ir temperatūra Žemės paviršiuje bei jų pokytis aukštyje yra skirtingas, matavimams taikoma sąlyginė *atmosfera*, vadinama *standartine*.

Nustatant aukštį Žemės atmosferoje *barometriniiu* metodu, pagrįstu absoliučiojo atmosferos slėgio priklausomybe nuo aukščio, skiriami: *geometrinis* ir *geopotencinis* aukščiai. Abiem atvejais pagal tarptautinius standartus atskaitos pradžia laikomas *jūros lygis su standartinės atmosferos* parametrais (3.1 pav.):

- slėgiu $P_0 = 760 \text{ mm Hg} = 101\,325 \text{ Pa}$;
- temperatūra $T_0 = 288,15 \text{ K}$;
- tankiu $\rho_0 = 1,225 \text{ kg/mm}^3$;
- laisvojo kritimo pagreičiu $g_0 = 9,80665$;
- garso greičiu $a = 340,294 \text{ m/s}$.

Geometrinis aukštis H_g suprantamas kaip tikrasis matuojamojo taško aukštis virš vidutinio jūros lygio, o *geopotencinis* aukštis H – kaip matuojamojo taško geopotencialo ir laisvojo kritimo pagreičio g santykis. Esant nedideliems aukščiams, H ir H_g skirtumas nedidelis, pvz.: $H_g = 10000 \text{ m}$, $H = 9\,984 \text{ m}$.



3.1 pav. Standartinė atmosfera

Barometriniai aukščiačiai matuoja absoliutųjį geopotencinį aukštį, jei atskaitos pradžia yra vidutinis jūros lygis, ir santykinį aukštį virš jūros lygio su žinomu barometrinio slėgiu. Standartinėje atmosferoje vidutinis temperatūros kitimas kylant iki 11 000 m aukščio ver-

tinamas pagal temperatūrinį aukščio gradientą $\tau_a = 0,0065 \text{ K/m}$. Ši temperatūros priklausomybė nuo aukščio turi pavidalą:

$$T = T_0 - \tau_a H. \quad (3.1)$$

Aukščiuose nuo 11 000 m iki 20 000 m temperatūra T nekinta ir lygi 216,65 K, o dar didesniuose aukščiuose keičiasi pagal ypatingą dėsnį. Tokiu atveju standartinė **barometrinė** formulė, esant matuojamojo aukščio diapazonui iki 11 000 m, yra:

$$P = P_0 \left[1 - \frac{\tau_a}{T_0} H \right]^{\frac{g_0}{\tau_a R_s}}, \quad (3.2)$$

čia P_0 , T_0 , ρ , g_0 – standartinės atmosferos parametrai: slėgis, temperatūra, tankis ir laisvojo kritimo pagreitis; $\tau_a = 0,0065 \text{ K/m}$ – temperatūrinis aukščio gradientas; $R_s = 287,053 \text{ J/(kg K)}$ – santykinė dujų pastovioji oro atžvilgiu.

Esant didesniems aukščiams, nuo 11 000 m iki 20 000 m, standartinė barometrinė formulė yra:

$$P = P_{11} e^{-\frac{g_0(H-H_{11})}{R_s T_{11}}}, \quad (3.3)$$

čia $P_{11} = 22\,632 \text{ Pa}$ – slėgis aukštyje H_{11} ; $T_{11} = 216,65 \text{ K}$.

Iš barometrinų formulių, išsprendus jas aukščio H atžvilgiu, išvedamos standartinės hipsometrinės (gr. *hipsos* aukštis + *metreo* matuoja) formulės.

Standartinės hipsometrinės formulės aukščiui matuoti yra:

$$H = \frac{T_0}{\tau_a} \left[1 - \frac{P}{P_0} \right]^{\frac{\tau_a R_s}{g_0}}, \text{ kai } H \leq 11\,000 \text{ m ir} \quad (3.4)$$

$$H = H_{11} + \frac{R_s T_{11}}{g_0} \ln \frac{P_{11}}{P}, \text{ kai } 11\,000 < H \leq 20\,000 \text{ m.}$$

Žinant $P_0 T_0$ arba $P_{11} T_{11}$, aukštį galima matuoti kaip **slėgio** funkciją.

Kai kuriems aukščiams naudojamos **apytikrės Laplaso** hipsometrinės formulės, kuriose temperatūra T skrydžio aukštyje keičiama oro stulpelio su aukščiu H vidutine temperatūra, nustatoma pagal formulę:

$$T_v = \frac{T_0 + T}{2}, \text{ kai } H \leq 11\,000 \text{ m}, \quad (3.5)$$

$$T_v = T_{11} \frac{T_0 - T_{11}}{2} \frac{H_{11}}{H}, \text{ kai } 11\,000 \text{ m} < H \leq 20\,000 \text{ m}.$$

Laplaso (apytikrės) barometrinės formulės yra:

$$P = P_0 \exp\left(-\frac{g_0 H}{R_s T_v}\right), \text{ kai } H \leq 11\,000 \text{ m}; \quad (3.6)$$

$$P = P_0 \exp\left\{-\frac{2H^2 g_0}{R_s [(T_0 - T_{11})H_{11} + 2T_{11}H]}\right\},$$

kai $11\,000 \text{ m} < H \leq 20\,000 \text{ m}$.

Šiuo atveju hipsometrinės formulės yra:

$$H = \frac{R_s}{g_0} T_v \ln \frac{P_0}{P}, \text{ kai } H \leq 11\,000 \text{ m}; \quad (3.7)$$

$$H = \frac{R_s}{g_0} \left(T_{11} + \frac{(T_0 - T_{11})}{2} \frac{H_{11}}{H} \right) \ln \frac{P_0}{P}, \quad (3.8)$$

kai $11\,000 \text{ m} \leq H < 20\,000 \text{ m}$.

Standartinės atmosferos parametrai, apskaičiuoti pagal ankstesnės formules, pateikiami lentelėse ir grafikuose (3.1 pav.) ir naudojami graduojant matavimo prietaisus.

Orinio greičio matavimo metodas. Orlaivio skrydžio greičiui matuoti taikytinas *aerometrinis* metodas, pagrįstas nuo skrydžio greičio priklausančio dinaminio oro slėgio matavimu. Matematinės formulės ekvivalentiniam (*prietaisiniam*) *oriniam greičiui* nustatyti gali būti išvedamos iš Bernulio lygties, kuri horizontaliojo nespūdziosios aplinkos oro srautui apskaičiuoti yra:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho_1} = \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho_2}, \quad (3.9)$$

čia $V_1 = V$ – netrikdomai tekančio srauto greitis; $P_1 = P$ – statinis slėgis tekančiame sraute; P_2 – slėgis; ρ_1 – oro tankis tekančiame sraute; V_2 – greitis; ρ_2 – oro tankis orlaivio išorėje.

Taigi matuojant orlaivio greičius skrydžio metu matavimo prietaisams turi būti tiekiamas išorinis atmosferos statinis slėgis P_1 ir pilnutinis oro pasipriešinimo orlaiviui slėgis P_2 . Tai atliekama, įrengiant orlaiviuose specialią pilnutinio ir statinio slėgio tiekimo sistemą, vadinamąją Pito-statine slėgio sistemą.

Jei orlaivio pilnutinio slėgio imtuvas, į kurį skrydžio metu patenka išorinio oro srautas, yra aptakaus vamzdžio pavidalo, tai jame tam tikroje vietoje dinaminiai srauto parametrai V_2 , ρ_2 , P_2 tampa pastoviais dydžiais.

Tokia vieta imtuve vadinama kritiniu tašku. Šiame taške santykinis oro srauto greitis sumažėja iki nulio ir nusistovi pilnutinis slėgis P_p , lygus statinio slėgio P ir srauto dinaminio slėgio $\frac{\rho V^2}{2}$ sumai. Srautą stabdant ($V_2 = 0$):

$$\frac{V_1}{2} + \frac{P_1}{\rho_2} = \frac{P_2}{\rho_2}. \quad (3.10)$$

Šiuo atveju $P_2 = P_p$, o kadangi tariame, kad aplinka yra nespūdi, tai $\rho_1 = \rho_2 = \rho$. Tada:

$$P_p - P = P_{din} = \rho \frac{V^2}{2}. \quad (3.11)$$

Dydis $P_{din} = \rho \frac{V^2}{2}$ vadinamas dinaminio slėgiu ir apibūdina nuo įtekančio į imtuvą oro greičio priklausančią slėgį. Praktikoje iš slėgio imtuvo perduodamų slėgių skirtumas $P_p - P$ skiriasi nuo dydžio $\frac{\rho V^2}{2}$ ir priklauso nuo imtuvo konstrukcijos tobulumo. Todėl matuojant P_{din} taikomas šią nelygybę išreiškiantis, vadinamasis **imtuvo koeficientas** ξ_{em} . (3.10) lygtis tampa:

$$P_{din} = \xi_{em} \rho \frac{V^2}{2}. \quad (3.12)$$

Koeficientas ξ_{em} kinta nuo 0,98 iki 1,02 ir nusako gamyklinį imtuvo tikslumą. Įvertinus oro erdvės spūdimą, (3.10) lygtis tampa:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_1}{\rho_2} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_2}{\rho_2}, \quad (3.13)$$

čia $k = 1,4$ – oro adiabatinis rodiklis (kai srautas stabdomas be šilumos mainų su aplinka, t. y. $\rho_1 \neq \rho_2$).

Slėgiai P_1 ir P_2 , tankiai ρ_1 ir ρ_2 susieti adiabatės lygtimi:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{k}}. \quad (3.14)$$

Taikant dujų būsenos lygtis $\frac{P}{\rho_1} = R_s T$ ir turint omenyje dvi pasakutines išraiškas, pažymėjus $V_1 = V$, $P_1 = P$, $P_2 = P_p$, galima gauti, kai $M \leq 1$:

$$P_p = P \left(1 + \frac{(k-1)}{2kR_s T} V^2 \right)^{\frac{k}{k-1}}, \text{ arba} \quad (3.15)$$

$$P_{din} = P_p - P = P \left\{ \left[\frac{(k-1)}{2kR_s T} V^2 + 1 \right]^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right\}$$

(3.15) lygtis apibūdina dinaminį slėgį, įvertinus oro spūdumą, esant skrydžio greičiui nuo 200 km/val. iki garso greičio ore a . Jeigu skrydžių greičiai didesni už garso greitį ($V > a$), priklausomybė P_{din} nuo V (skaičiais $M = \frac{V}{a}$) nustatoma pagal formulę:

$$P_{din} = P \left\{ \left[\frac{(k+1)}{2} M^2 \right]^{\frac{k}{k-1}} \left[\frac{k+1}{2kM^2 - (k-1)} \right]^{\frac{1}{k-1}} - 1 \right\}. \quad (3.16)$$

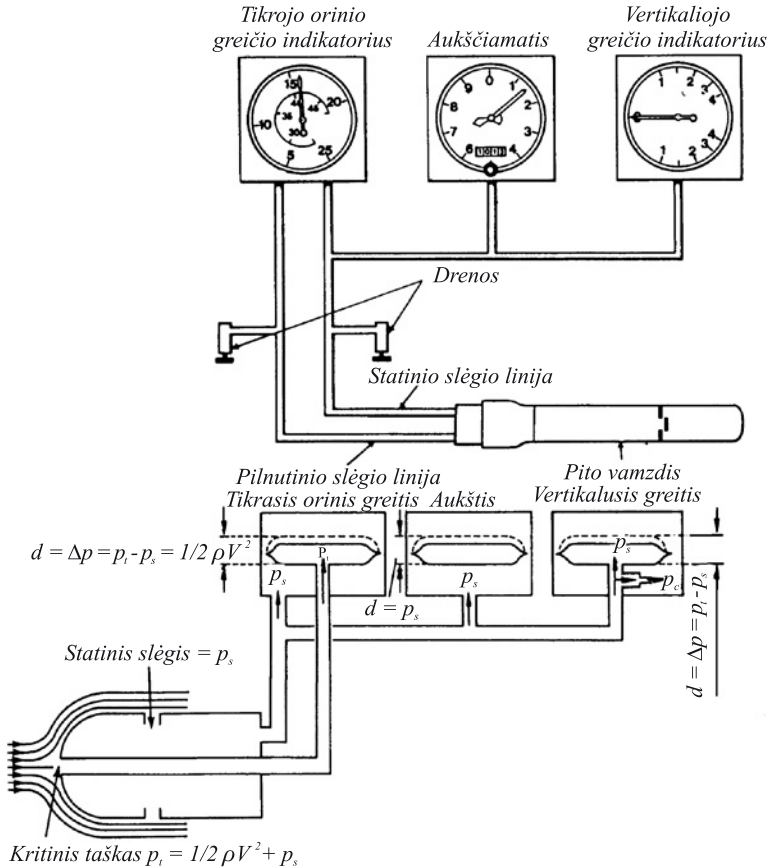
Indikatorinio greičio V_i nustatymo formulėse oro tankis laikomas pastoviu ir lygiu tankiui ρ_0 normaliomis standartinėmis sąlygomis.

Remiantis (3.15) lygtimi galima tokia **indikatorinio greičio** matavimo prietaisų veikimo algoritmo formulė:

$$V_i = \sqrt{2R_s T_0 \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[\left(\frac{P_{din}}{P_0} + 1 \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}. \quad (3.17)$$

Taigi, siekiant išmatuoti indikatorinį orinį greitį V_i , reikia nustatyti slėgių P_p ir P skirtumą, lygų dinaminiam slėgiui P_{din} .

Aviaciniai prietaisai, atliekantys matavimus pagal orlaivį supančio oro duomenis, vadinami aerometriniais, arba **oro duomenų, prietaisais** (3.2 pav.).



3.2 pav. Aerometrinių matavimo prietaisų sandara

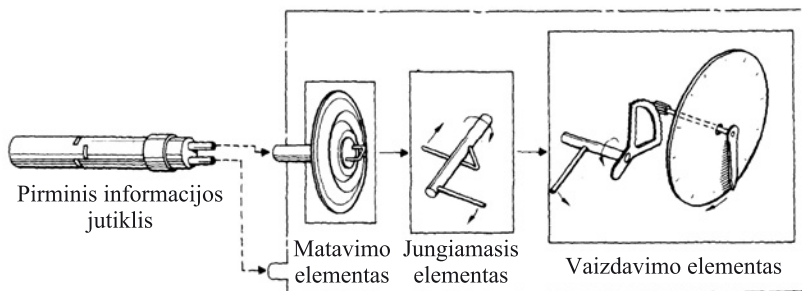
Oro duomenų prietaisams sudaryti naudojami orlaivį supančio oro parametrai: statinis atmosferos slėgis ir orlaiviui skrendant atsirandantis pilnutinis oro pasipriešinimo slėgis. **Pilnutinis** (Pito) P_p ir **statinis** P slėgiai į svarbiausius skrydžio parametrų matavimo prietaisus (3.2 pav.)

(orinio greičio indikatorių, aukščiamatį ir vertikaliojo greičio indikatorių) patenka per orinių slėgių imtuvus ir pneumolaidžius, sudarančius šių prietaisų oro duomenų parametrų tiekimo sistemos pagrindą.

Dinaminio slėgio vertė, proporcinga oriniam greičiui, nustatoma indikatoriuje (3.2 pav.), nes į aneroidinės dėžutės vidų tiekiamas pilnutinis slėgis P_p , o į jos išorę – statinis atmosferos slėgis P . Šis orlaivio greitis vadinamas indikatoriniu oriniu greičiu. Matuojant statinį slėgį, aukščio indikatoriaus barometrine dėžute nustatomas barometrinis skrydžio aukštis, o sekant jo pokytį laiko atžvilgiu vertikaliojo greičio indikatoriuje, nustatomas vertikalusis orlaivio greitis.

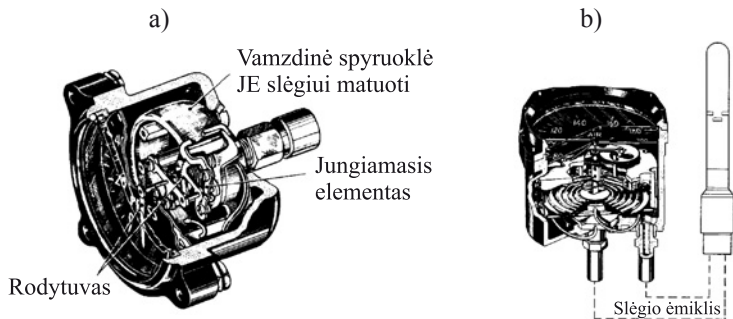
3.2. Oro duomenų prietaisų elementai ir mechanizmai

Sisteminio požiūriu oro duomenų prietaisai gali būti skaidomi į keturis pagrindinius funkcinis elementus: ***pirminį informacijos jutiklį***, kuris reaguoja į matuojamą parametą ir keičia jį į tam tikro fizikinio dydžio reikšmę ar patogesnę matavimams pavidalą; ***matavimo elementą***, kuris faktiškai seka fizikinio dydžio reikšmės laiko atžvilgiu, keisdamas jas į kintamąjį elektrinį signalą arba nedidelių tiesinių arba kampinių mechaninių poslinkių seką; ***jungiamąjį elementą***, kuris tuos signalus arba mechaninius poslinkius stiprina ir perduoda; ***vaizdavimo elementą***, kuris pateikia matuojamojo dydžio reikšmės vartotojui patogią formą, keisdamas jungiamojo elemento išėjimo parametrus į tam tikrą rodyklės ar indekso padėtį matavimo skalės atžvilgiu. Šių keturių matavimo prietaisų elementų tarpusavio ryšys parodytas 3.3 pav.



3.3 pav. Apibendrinta matavimo prietaiso struktūra

Daugeliu atvejų kelių tipinių mechanizmų ir elementų derinys viename korpuse sudaro specializuotą aviacinį prietaisą (3.4 pav. a).



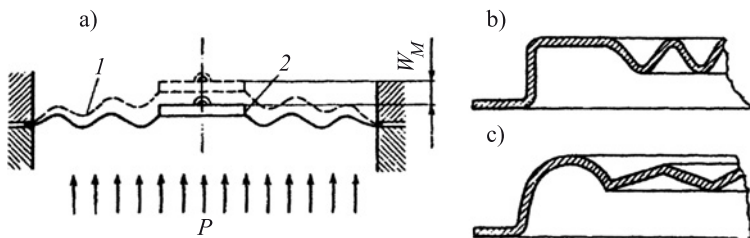
3.4 pav. Orinio greičio indikatorius sandara:

a – slėgio matavimo ir indikacijos mechanizmas; b – visus dedamuosius elementus jungiantis orinio greičio indikatorius

Slėgio matavimo elementai

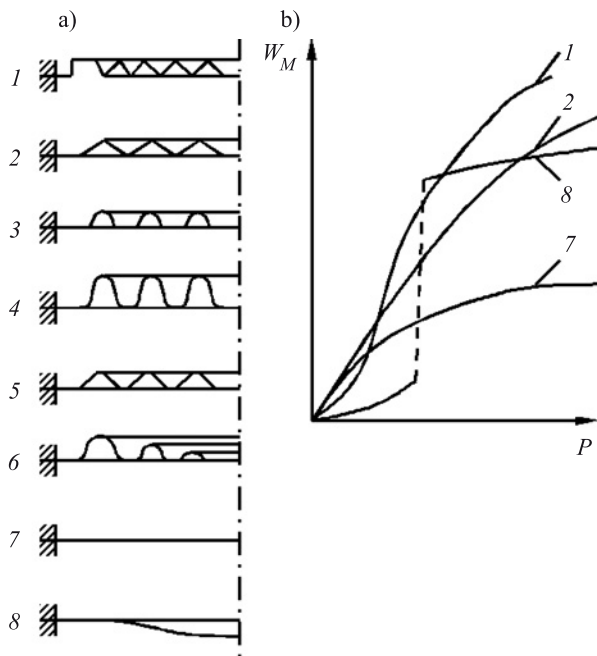
Slėgiui matuoti naudojami mechaninei įtampai jautrūs elementai (JE): membranos, membraninės dėžutės, silfonai ir vamzdinės spyruoklės.

Membranos ir membraninės dėžutės. Membranos naudojamos slėgiui matuoti nuo 10^2 iki 10^8 Pa. Membrana – tai plona plokštelė 1, įtvirtinta išorinio kontūro briauna, kuri veikiant slėgiui deformuojasi aiškiais deformacijų poslinkiais W_M (3.5 pav. a.). Membranos būna plokščiosios ir gofruotosios. Gofruotosios membranos paviršiuje turi simetrines bangos pavidalo klostes – gofrus.



3.5 pav. Membrana (a) ir kraštinio gofro pavyzdžiai (b, c)

Membranos deformacijoms W_M padidinti (apie 3 kartus) ir reikiamai priklausomybei $W_M = f(P)$ sudaryti kraštinis gofras daromas trapecijos (b) arba cilindro (c) pavidalo. Membranos *centre* daroma plokščia aikštelė, prie kurios lituojamas arba kitaip tvirtinamas standusis centras 2 (3.5 pav. a), naudojamas membranai sujungti su jungiamuoju elementu (mechanizmu). Parenkant gofrų profilį (3.6 pav.), galima gauti norimą $W_M = f(P)$.



3.6 pav. Pagrindiniai membranų profiliai (a) ir kai kurios jų charakteristikos (b): 1 – pjūklo formos su cilindrinio kraštiniu gofru; 2 – pjūklo formos; 3 – plokščiai lankinis; 4 – sinusoidės pavidalo; 5 – trapecijos pavidalo; 6 – kintantis pagal gylį; 7 – plokščiasis; 8 – iškilusis

Veikiant slėgiui membranos paviršiuje, atsiranda jėga, vadinama įtempimo jėga Q . Jai nustatyti naudojamas parametras *efektyvusis plotas*:

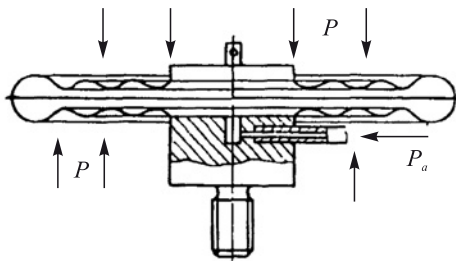
$$S_{ef} = \frac{dQ}{dP_m}.$$

Tiesinės charakteristikos ribose $S_{ef} = \text{const}$. S_{ef} priklauso nuo membranos profilio ir formos. Pavyzdžiui, gofruotos membranos:

$$S_{ef} \approx \frac{\pi(R^2 + rR + r^2)}{3}, \quad (3.18)$$

čia R – darbinis (diafragmos) membranos spindulys; r – standžiojo centro spindulys.

Jei dvi membranas hermetiškai sutvirtintume briaunomis, gautume **membraninę dėžutę** (3.7 pav.).



3.7 pav. Membraninė dėžutė

Tiekiant į dėžutės vidų slėgį P_a , pagal deformacijas galima nustatyti:

$$P_m = P_a - P,$$

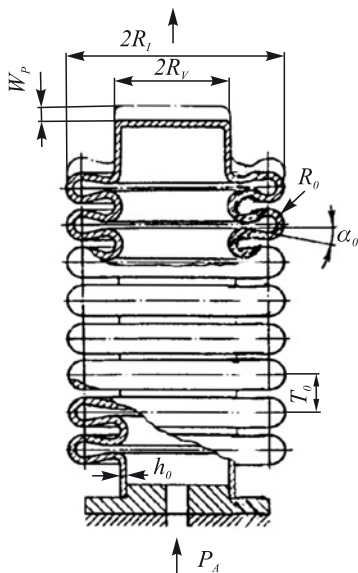
čia P_m – matuojamasis slėgis; P_a – atraminis slėgis; P – išorėje veikiantis slėgis.

Jei iš tokios dėžutės išsiurbtume orą, gautume **aneroidinę dėžutę**, matuojančią absoliutųjį slėgį.

Sujungę keletą membraninių dėžučių, gautume membraninių **dėžučių bloką**. **Membraninės dėžutės** ir blokai naudojami slėgiui matuoti iki 3×10^5 Pa.

Aviacijoje naudojamų membranų storiai būna 0,005–2 mm, skersmuo – 20–100 mm. Centro poslinkio (deformacijos) dydis – 0,5–2 mm. Standžiojo centro skersmuo – 0,1–0,4 membranos atžvilgiu. Membranoms gaminti naudojamas plienas, berilio ir fosforinė bronzos bei kitos medžiagos.

Silfonai atrodo kaip *gofruoti vamzdžiai*, panašūs į membranų blokus su tuščiu viduriu (3.8 pav.). Jie paplitę dėl gaunamų didelių deformacinių poslinkių, kintant slėgiui.



3.8 pav. Silfonas

Silfonai gali būti gaminami tempiant iš ištisinio metalo ir jungiant iš atskirų žiedų. Žiedai gali turėti gilesnius gofrus, todėl jautresni slėgio pokyčiams ΔP . Be to, svarbu, kad būtų vienodi jų elementų storiai.

Silfono efektyvusis plotas

$$S_{ef} = \pi R_{vid}^2 = \frac{1}{4} \pi (R_I + R_V)^2, \quad (3.19)$$

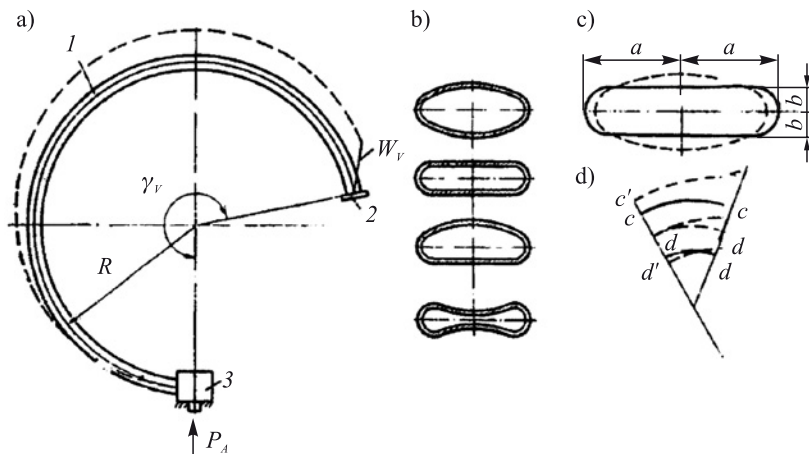
čia – R_I , R_V išorinio ir vidinio silfono kontūrų spinduliai.

Manometrinio slėgio *traukos jėga*: $Q = P_m \times S_{ef}$.

Praktikoje naudojami silfonai turi iki 40 gofrų, išorinis jų spindulys – R_I nuo 4 mm iki 75 mm, storis h – nuo 0,1 mm iki 0,3 mm.

Vamzdinės spyruoklės. Gaminamos iš *plonasienių kreivų vamzdelių*, kurių skersinis pjūvis yra elipsės, ovalios ar sudėtingesnės

formos (3.9 pav. a, b). Vamzdinė spyruoklė daroma taip, kad lenkimo plokštumoje atsirastų mažoji pjūvio ašis.



3.9 pav. Vamzdinė spyruoklė:

a – spyruoklės išlinkimo schema; b – spyruoklės skerspjūvių formos;
c – skersinio pjūvio deformacijos

Slėgis P_a tiekiamas į vamzdžio vidų per atvamzdį 3. Laisvasis vamzdžio galas uždengiamas dangteliu 2, kuris su perdavimo ir dauginimo mechanizmu atlieka jungiamojo elemento vaidmenį. Veikiant matuojamajam slėgiui, vamzdis deformuojasi ir įgauna naują padėtį (3.9 pav. a punktyras). Laisvojo galo su dangteliu 2 deformacinis poslinkis W_v per perdavimo ir dauginimo mechanizmą perduodamas indikatorinio prietaiso rodyklėmis. Vamzdinės spyruoklės veikimas pagrįstas tuo, kad neapvalaus pjūvio vamzdelis, veikiamas slėgio, stengiasi padidinti savo pjūvio statumą (t. y. priartėti prie apvalaus pjūvio). Veikiant slėgiui, vamzdelio pjūvio didysis pusašis a mažėja, o mažasis b – didėja. Taigi išilginis išorinis vamzdelio audinys pasislenka į didesniojo spindulio lanką, o išilginis vidinis audinys – į mažesniojo spindulio lanką. Tačiau tuo pačiu metu audiniai stengiasi išlaikyti pirminį ilgį, todėl skersinio pjūvio galas pasislenka dydžiu W_v (3.9 pav. a). Vamzdinės spyruoklės vadinamos **plonasienėmis**, jei sienelės storis $h \leq b$ (mažasis pusašis b), ir paprastomis. Aviacijoje

naudojamos plonasiinės vamzdinės spyruoklės (dar vadinamos jų išradėjų Bourdono vardu).

Vienos vijos vamzdinės spyruoklės galinio taško kampinis poslinkis yra:

$$\frac{\Delta\gamma_V}{\gamma_V} = P_m \frac{1-\mu_p^2}{E} \frac{R}{bh} \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \frac{\alpha_V}{\beta_V + \chi^2}, \quad (3.20)$$

čia $\chi = \frac{Rh}{a^2}$ – pagrindinis spyruoklės parametras; R – pagrindinis ašies spindulys; h – sienelės storis; α_V ir β_V – koeficientai, priklausantys nuo vamzdelio skersinio pjūvio formos; μ_p – Puasono koeficientas; E – vamzdelio medžiagos stangrumo modulis.

Laisvojo spyruoklės galo tiesinis poslinkis:

$$W_v = \frac{\Delta\gamma_v}{\gamma_v} R \sqrt{(1 - \cos \gamma_v)^2 + (\gamma_v + \sin \gamma_v)^2}. \quad (3.21)$$

Įtvirtinus laisvąjį spyruoklės galą, veikiant P_m , įtvirtinimo vietoje veikia traukos momentas:

$$M_V = 24 P_m R a b \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \frac{\xi_V}{\epsilon_V + \chi}, \quad (3.22)$$

čia ξ_V ir ϵ_V – koeficientai, priklausantys nuo vamzdelio medžiagos.

Dėl apribotų stangrumo savybių, būdingų realioms medžiagoms, iš kurių gaminami jautrieji manometrų elementai, pasireiškia matavimo paklaidas sukeliantys veiksniai: deformacijų **histerezė ir tamprumo poveiksmis**.

Deformacijų histerezė – tai JE didžiausių poslinkių priešingomis kryptimis, didžiausio skirtumo ir maksimalaus poslinkio santykis, esant tam pačiam išoriniam poveikiui. Tamprumo poveiksmis – tai tampriųjų deformacijų poslinkių kitimas eksploatuojant prietaisą, esant tam pačiam slėgiui ir temperatūrai.

Mažo tikslumo prietaisuose, gaminant vamzdines spyruokles, naudojama žalvarinė ir fosforinė bronzos, didelio tikslumo – berilio bronzos.

Jungiamieji perdavimo ir dauginimo mechanizmai PDM

Šie mechanizmai naudojami membraninių dėžučių jautriojo elemento (JE) poslinkio masteliui ir matavimų diapazonui padidinti. PDM veikia kartu su pavaramis (arba jų pagrindu) tam, kad reikiama trajektorija ir reikiamu tikslumu perduotų JE judesius. PDM pagal pavarų mechanizmų tipą skirstomi į alkūninius, kulisinius, perdavimo kumšteliais, pavadėliais ir krumpliaračiais.

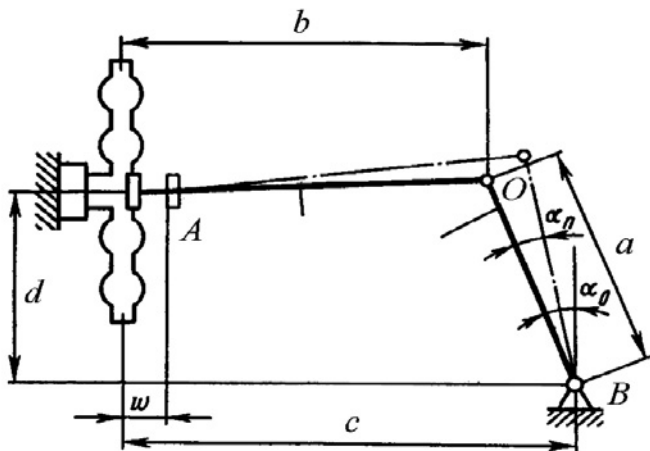
PDM charakteristikas ir perdavimo santykiai skiriasi – tai priklauso nuo mechanizmo tipo. PDM charakteristika suprantama kaip priklausomybė tarp išėjimo parametro (kampų) α_p ir įėjimo parametro – poslinkio W : $\alpha_p = f(W)$. PDM koeficientas nustatomas santykiu:

$$k_{pm} = \frac{d\alpha_p}{dW}.$$

Alkūninis perdavimas. Perdavimo funkcija aprašoma taip:

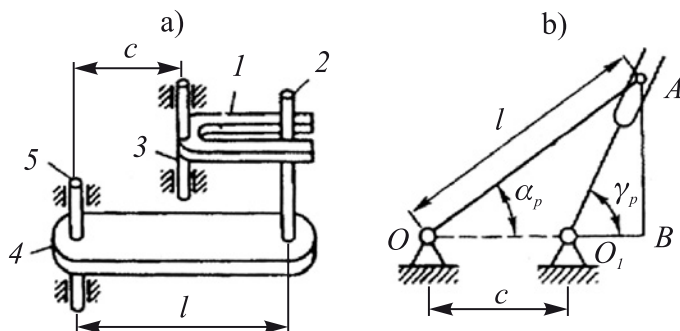
$$W = c - a \sin(\alpha_0 - \alpha_p) - \sqrt{b^2 - [a \cos(\alpha_0 - \alpha_p) - d]^2}, \quad (3.23)$$

čia a, b, c, d – matmenys, parodyti 3.10 pav.; α_0, α_p – pradinis ir einamasis alkūninio posūkio kampai.



3.10 pav. Alkūninis perdavimo ir dauginimo mechanizmas

Kulinis perdavimas – tai kulisėmis iš vienos ašies į kitą perduodamas sukimosi judesys (3.11 pav.).

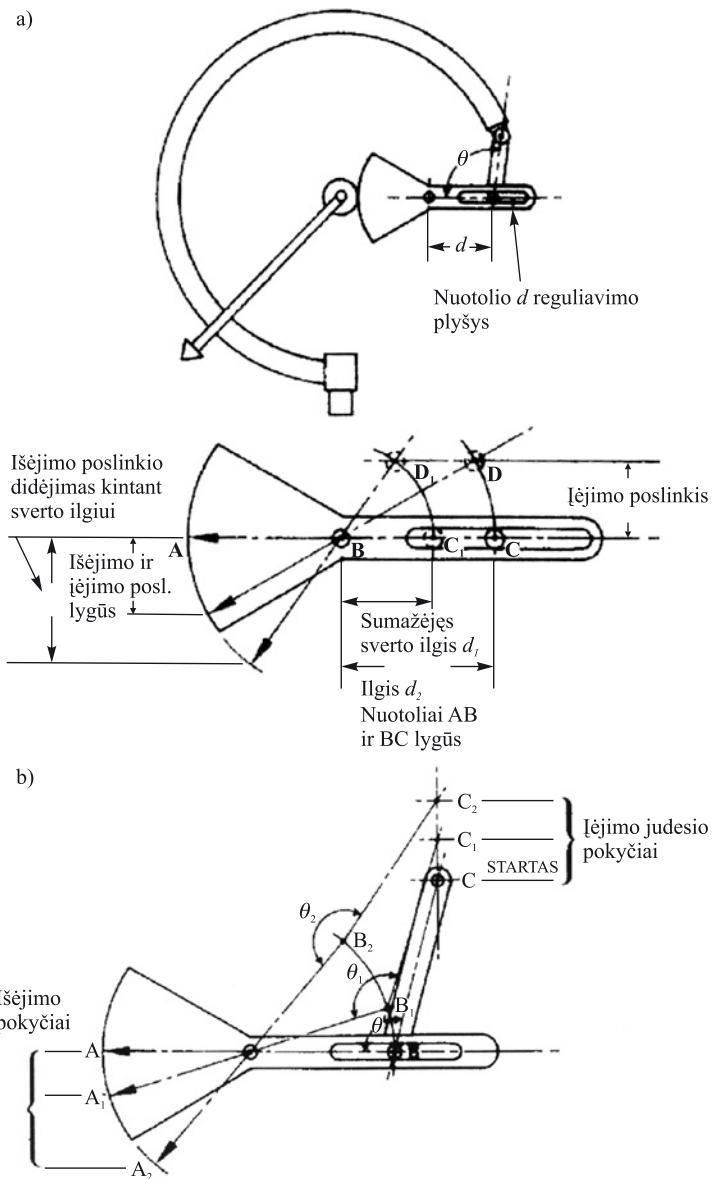


3.11 pav. Kulinis perdavimo ir dauginimo mechanizmas:
a – realizavimo būdas; b – perdavimo funkciją paaiškinanti schema

Kulisė – plokštelė 1 su išpjova, į kurią įterptas pavadėlis 2, sukasi aplink ašį 3. Pavadėlis 2 pritvirtintas ant svirties, kuri sukasi aplink ašį 5. Jeigu ašys 3 ir 5 lygiagrečios, perdavimo funkcija (iš 3.11 pav. b trikampių OAB ir O_1AB):

$$\gamma_p = \arctg \frac{l \sin \alpha_p}{l \cos \alpha_p - c}. \quad (3.24)$$

Perdavimas krumpliaračiais – tai sukimosi judesys, perduodamas krumpliaračiais iš vienos ašies į kitą. Kai sukimosi ašys yra vienoje plokštumoje, naudojamos šios krumpliaračių pavaros: cilindrinės, tiesių, įstrižų ir kūginės. Kai sukimosi ašys yra skirtingose plokštumose, naudojamos sliekinės ir sraigtinės krumpliaračių pavaros. Krumplinis diskas (diskinis krumpliaratis) kartais pakeičiamas sektoriumi, jei pavara iki galo neapsisuka. Šiuo atveju mažo skersmens krumpliaratis, turintis mažai krumplių, vadinamas **tribu**. Tai leidžia supaprastinti principines slėgio matavimo schemas, gauti tolydžią matavimų skalę. Toks perdavimo krumpliaračiais svartinio tipo PDM pavyzdys su varančiuoju sektoriaus pavidalo krumpliaračiu ir varomuoju tribu parodytas 3.12 pav.



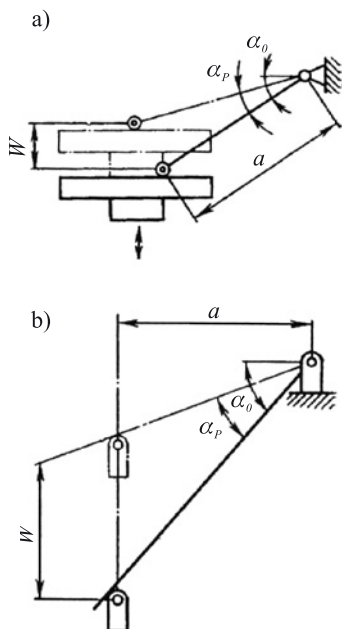
3.12 pav. Supaprastintas svartinio PDM veikimo principas:
a – svarto ilgio keitimo rezultatas; b – didinamo svarto kampo rezultatas

Perdavimas kumšteliais atliekamas sinuso ir tangento mecha-
nizmais (3.13 pav.).

Perdavimo funkcijos:

$$W = a \left[\sin \alpha_0 - \sin (\alpha_0 - \alpha_P) \right]; \quad (3.25)$$

$$W = a \left[\operatorname{tg} \alpha_0 - \operatorname{tg} (\alpha_0 - \alpha_P) \right].$$

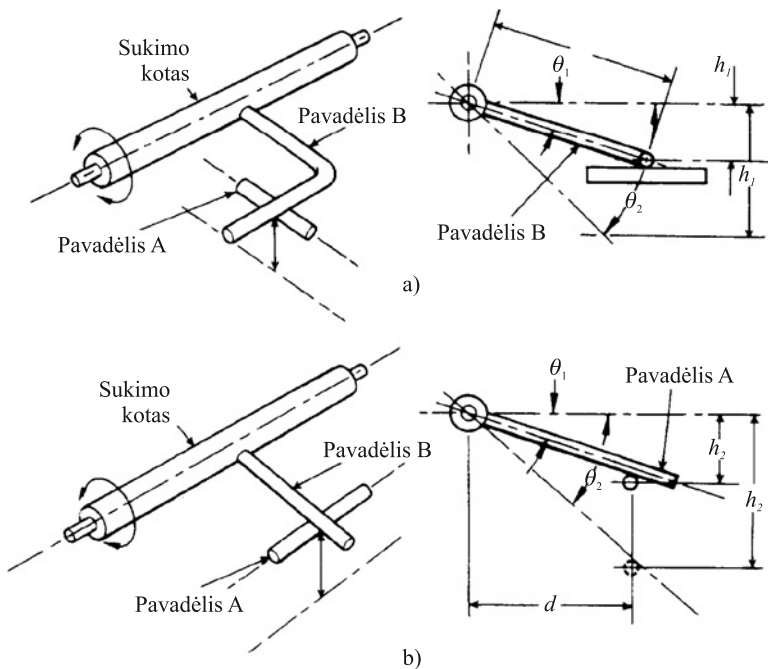


3.13 pav. Perdavimo ir dauginimo mechanizmas kumšteliais:
a – sinuso; b – tangento

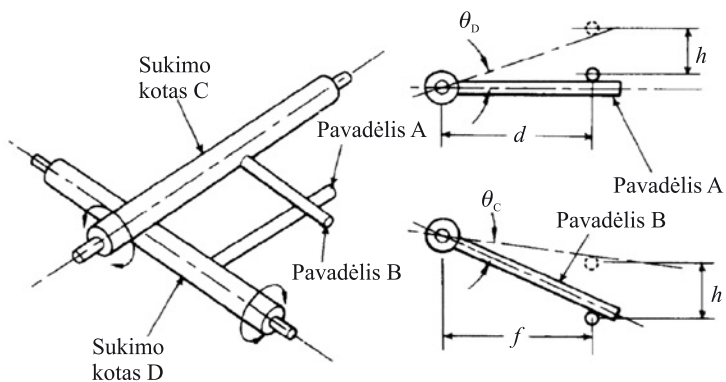
Perdavimas pavadėliais – tai sukimo iš vienos plokštumos į kitą perdavimas dviem suglaustais pavadėliais A ir B, pritvirtintais prie sukimo kotų C ir D (3.14 pav. ir 3.15 pav.).

$$\text{Perdavimo funkcija: } \beta = \arctg \left(\frac{d}{f} \operatorname{tg} \alpha \right), \quad (3.26)$$

čia d, f – matmenys, parodyti 3.14 pav.



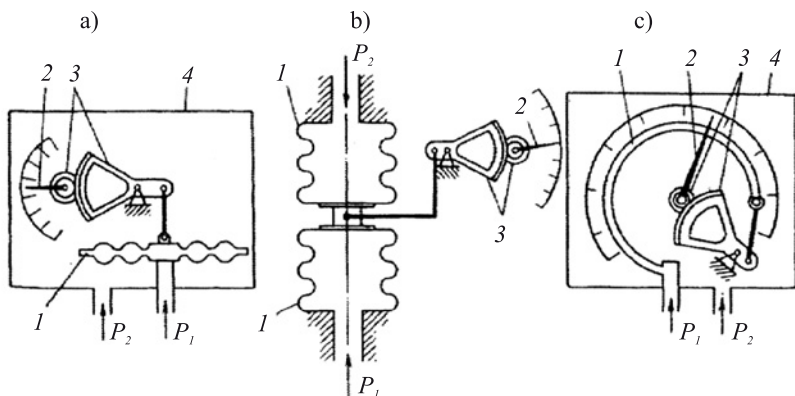
3.14 pav. Perdavimo ir dauginimo pavadēļais mechanizmas, atliekantis perdavimo funkcijā: a – sinuso; b – tangento



3.15 pav. Perdavimo ir dauginimo pavadēļais mechanizmas, atliekantis dvigubo tangento perdavimo funkcijā

Deformacinių manometrų mechanizmai

Remiantis pateiktais slėgio matavimo ir jungiamaisiais elementais gali būti sudaromi deformacinių manometrų mechanizmai, naudojami slėgiui matuoti ne tik oro duomenų prietaisuose, bet ir variklių alyvos, kuro, tepimo bei kuro tiekimo sistemose, hidraulinėse stabdžių ir aviacinių variklių paleidimo sistemose. Principinės tokių mechanizmų schemas pateiktos 3.16 pav.



3.16 pav. Principinės deformacinių diferencinių manometrų mechanizmų schemas (matuoja slėgių skirtumą P_1 ir P_2) ir elementai:

1 – matavimo, 2 – vaizdavimo ir 3 – jungiamasis

Schemoje 3.16 pav. a slėgis P_1 tiekiamas į vidinę membraninės dėžutės 1 ertmę, o slėgis P_2 – į korpusą 4 . Standžiojo JE centro poslinkis, proporcingas slėgių P_1 ir P_2 skirtumui, per PDM 3 pasuka rodyklę 2 . Analogiškai sudaryti **absoliutinio slėgio** manometrai, tik vietoje atviros manometro dėžutės naudojama aklinau uždaryta aneroidinė dėžutė, iš kurios išsiurbtas oras, o slėgis tiekiamas į korpusą.

Schemoje 3.16 pav., b JE funkcijas atlieka du tarpusavyje susiję silfonai 1 , turintys lygias efektyviausias plokštumas S_{ef} . Priešingai nukreipti abiejų silfonų standieji centrai sujungti tarpusavyje. Standžių centrų poslinkis, proporcingas matuojamam slėgių skirtumui $P_1 - P_2$, per PDM 3 perduodamas rodyklei 2 . Tokio tipo di-

ferenciniam manometrui prietaiso korpuso hermetizuoti nereikia. Analogiška schema gali būti panaudota absoliutiniam slėgiui matuoti, kai iš vieno aklinau hermetizuoto silfono išsiurbiamas oras. Taip, pavyzdžiui, sudaromi vakuuminiai manometrai, naudojami matuoti absoliutiniam slėgiui aviacinio variklio įpūtimo sistemoje. Silfonų efektyviųjų plotų S_{ef} lygybė eliminuoja matavimų priklausomybę nuo supančiojo slėgio pokyčių.

Diferencinis manometras 3.16 pav., c veikia analogiškai kaip ir 3.16 pav. a.

Deformacinių manometrų *metodinės* paklaidos atsiranda, kai matavimo metu kinta atraminis atmosferos slėgis, o *vadinamosios prietaiso* paklaidos yra šios:

- **Skalės** paklaida – tai prietaiso skalės gradavimo paklaida, kai skalės žymės ne visai atitinka prietaiso gradaciją. Skalės paklaida gali būti sumažinama *lekaliniu* korektoriumi;
- **Trinties** paklaida atsiranda dėl trinties prietaiso mechanizmo atramose ir lankstuose. Jei santykinis, rodyklę nustatantis, jėgos momentas yra nedidelis, dėl trinties rodyklė gali sustoti nereikiamoje vietoje. Paklaidos mažinamos, gerai parenkant medžiagas ir lankstus, naudojant kelių skalių ir rodyklių indikatorius. Dėl orlaivio vibracijų trinties paklaidų įtaka sumažėja;
- **Statinio ir dinaminio nusistovėjimo** paklaidos manometro judamojoje sistemoje mažinamos subalansuojant dinaminę sistemą – tai leidžia padaryti specialios balansavimo spyruoklės;
- Paklaidos **dėl histerezės ir tamprumo poveiksmio** atsiranda dėl JE medžiagos stangrumo savybių netobulumo. Histerezę ir tamprumo poveiksmį sukelia rodmenų variacija, kai $P_1 > P_2$, $P_1 < P_2$;
- **Temperatūros** paklaidos atsiranda dėl prietaiso detalių, medžiagų fizinių savybių priklausomybės nuo temperatūros.

Kadangi JE *stangrumo modulio* koeficientas β_E visada gerokai didesnis negu tiesinio plėtimosi koeficientas, nustatant temperatūros paklaidas, į manometro detalių geometrinių dydžių pokyčius neatsi-

žvelgiama. Daugiausia dėmesio skiriama stangrumo modulio pokyčiams, kintant temperatūrai ΔT .

Tokia paklaida įvertinama taip:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta E}{E} \approx \beta_E \Delta T. \quad (3.27)$$

Paklaidos mažinimos parenkant mažą stangrumo modulo koeficientą β_E turinčią JE medžiagą ir keičiant bimetaliniais terminiais kompensatoriais PDM perdavimo santykį.

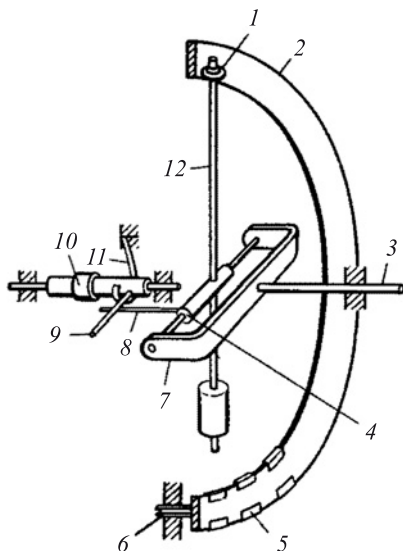
Deformacinių manometrų paklaidų kompensatoriai

Deformacinių manometrų konstrukcijose prietaiso paklaidoms eliminuoti arba sumažinti naudojami specialūs mechaniniai elementai: lekaliniai korektoriai, bimetaliniai termokompensatoriai, kelių rodyklių indikacijos elementai, jų mechanizmus balansuojančios spyruoklės (pavyzdžiui, laikrodžio plaukas).

Lekalinis korektorius. Naudojamas aviacinių prietaisų sistemėms paklaidoms sumažinti. Jis sudaromas iš kumštelių ir sinuso pavarų. Korektorius, įterptas tarp prietaiso JE ir išėjimo ašių, sukelia papildomą išėjimo ašies posūkį bet kuria kryptimi. Esant sisteminei paklaidai, korektorius, reguliuodamas išėjimo ašies posūkį, padeda šią paklaidą eliminuoti. Tai mechanizmas su dviem laisvumo laipsniais (3.17 pav.).

Išėjimo ašyje 10 – sumuojami du kampiniai poslinkiai: nuo ašies 12, slystančios per kumštelių juostą, ir įėjimo velenėlio 3. Juostos profilis sudaromas taip, kad galėtų būti padaromos reikiamos pataisos. Juostos profilis reguliuojamas varžtu 6. Kai juosta 2 neiškreipiama (dėl varžtų 6) ir yra statmena veleno sukimosi ašiai, įėjimo ašies 10 posūkio kampas yra lygus veleno 3 posūkio kampui. Ašis 12 su besisukančiu ant jos skridiniu 1, tvirtinama statmenoje ašyje 4, kuri sukasi šakutės 7 atramos. Nuo korektoriaus judamosios sistemos ašies 10 sukimas perteikiamas pavadėliais 8 ir 9. Plaukas 11 prispaudžia skridinį 1 prie juostos 2. Korektoriaus juosta 2 tvirtinama apkabomis 5. Jos profilis išlenkiamas varžtais 6, išdėstytais aplink juostą. Tai leidžia

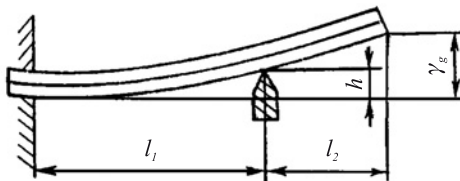
padidinti ašies 10 pasisukimo kampą papildomu nustatytu dydžiu, palyginti su kampu, kurį sudaro veleno 3 pasisukimas.



3.17 pav. Lekalinis korektorius:

1 – skridinys; 2 – juosta; 3 – velenas; 4 – ašis; 5 – apkabos; 6 – varžtas; 7 – šakutė; 8 – pavadėliai; 9 – pavadėliai; 10 – ašis; 11 – plaukas; 12 – ašis

Bimetaliniai kompensatoriai. Naudojami temperatūros pokyčiais sukeliamoms paklaidoms kompensuoti, kai prietaiso jungiamojo elemento funkciją atlieka perdavimo ir dauginimo mechanizmas. Tokio kompensatoriaus pagrindas yra bimetalinė spyruoklė, sudaryta iš dviejų metalinių juostelių, turinčių skirtingus tiesinio temperatūrinio plėtimosi koeficientus. Juostelės suvirinamos arba sulituojamos per visą lietimosi plokštumą (3.18 pav.).



3.18 pav. Termobimetalinė spyruoklė

Bimetalų sluoksnį, kurio plėtimosi koeficientas didelis, vadiname **aktyviuoju**, o kurio mažas – **inertiniu**. Šildoma spyruoklė išsilenkia į inertinio sluoksnio pusę, šaldoma – atvirkščiai. Tokios spyruoklės jautrumo matas yra bimetalų komponentų tiesioginio **plėtimosi koeficientų** skirtumas. Jei vienas spyruoklės galas pritvirtintas, tai šildant (šaldant) antrasis galas pasislenka dydžiu:

$$\gamma_b = k_0 \frac{L^2}{2} \Delta V, \quad (3.28)$$

čia $k_0 = \frac{3}{2} \frac{\alpha_{t_1} + \alpha_{t_2}}{a_1 + b_1}$; L – spyruoklės ilgis; ΔV – temperatūros pokytis;

α_{t_1} , α_{t_2} – juostelių tiesinio plėtimosi koeficientai; a_1 , b_1 – jų storiai.

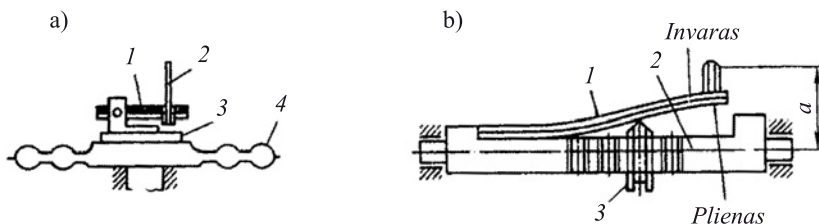
Paslenkant plokštelės atramą, maksimalus atsilenkimas yra:

$$\gamma_b = \left(1 + \frac{3}{2} \frac{l_2}{l_1}\right) h + k_0 \left(l_2 + \frac{l_1}{2}\right) \frac{l_1}{2} \Delta V, \quad (3.29)$$

l_1 , l_2 , h – spyruoklės matmenys.

Pasyvusis elementas gaminamas iš invaro arba plieno H42, aktyvusis – iš chromo ir nikelio arba nikelio ir plieno lydiniių.

Egzistuoja bimetaliniai pirmosios ir antrosios eilės terminiai kompensatoriai 3.19 pav. a, b.



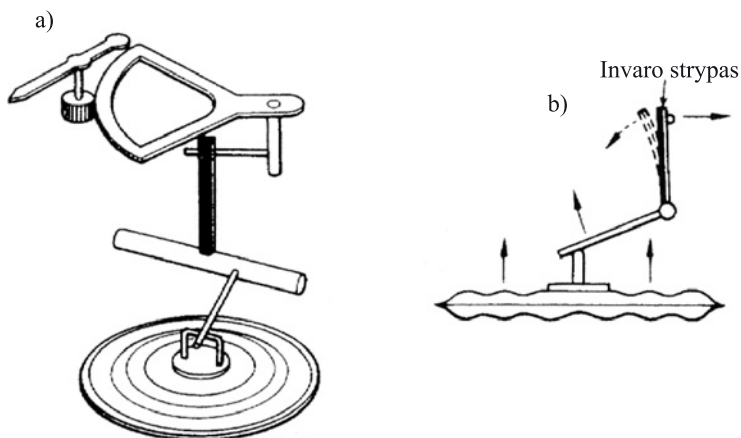
3.19 pav. Bimetaliniai terminiai kompensatoriai:

a – pirmosios eilės; b – antrosios eilės

Pirmosios eilės kompensatoriuje bimetalinė plokštelė 1 tvirtinama vienu galu prie JE 4 standžiojo centro 3 , o kitu galu – lankstu prie alkūninės pavaros traukės 2 . Antrosios eilės kompensatoriuje bime-

talinė plokštelė 1 vienu galu tvirtinama ant ašies 2, o kitu – lankstu prie traukės. Atraminis varžtas 3 reguliuoja bimetalinės plokštelės ilgį. Kompensatorius keičia alkūninio perdavimo pavaros alkūnės ilgį, kintant temperatūrai T . Taip keičiamas alkūninės pavaros perdavimo laipsnis. Korekcija atliekama keliuose ΔT intervaluose, nes visame temperatūros pokyčių diapazone sukiamų JE poslinkių kompensuoti nepavyksta.

Bimetalinio kompensatoriaus jungimo pavyzdys tarp manometrinės dėžutės ir svertinio – krumpliaratinio PDM oro duomenų matavimo prietaise pateiktas 3.20 pav.

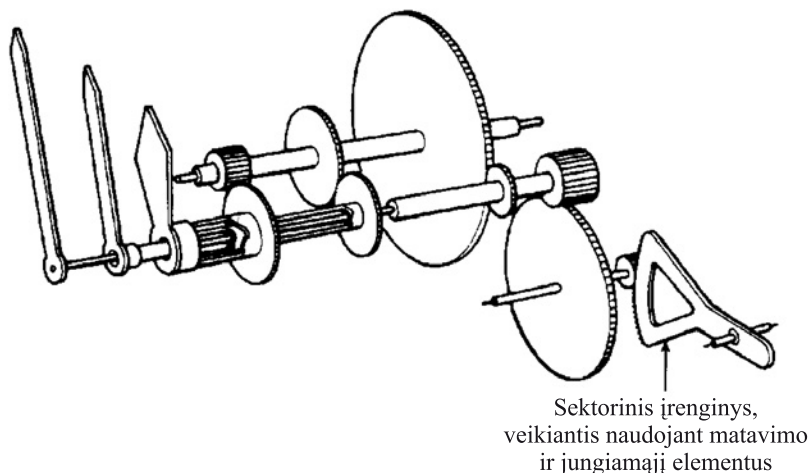


3.20 pav. Bimetalinio kompensatoriaus jungimo pavyzdys:
a – spyruoklė įterpta tarp matavimo ir jungiamojo elementų;
b – terminio kompensavimo principo veikimas

Kelių rodyklių indikacijos elementas ir jo balansavimas.

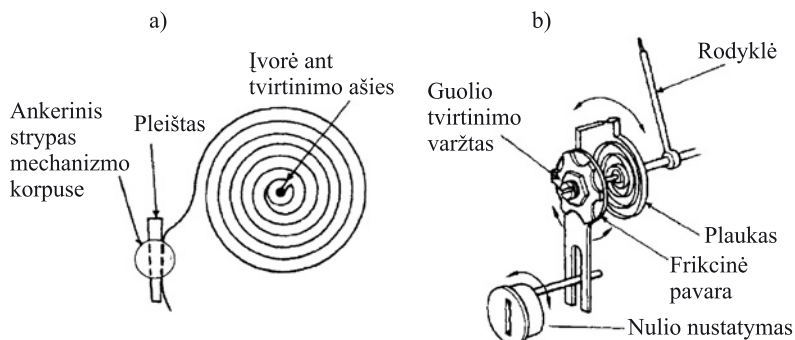
Tokio tipo elementas taikomas trinties paklaidoms, atsirandančioms dėl santykinio rodyklę nustatančio nedidelio jėgos momento, sumažinti (3.21 pav.).

Statinio ir dinaminio rodyklių nusistovėjimo paklaidoms sumažinti gali būti naudojami reguliuojami spyruokliniai balansavimo elementai, (3.22 pav.).



3.21 pav. Daugiarodyklis rodmenų indikatorius mechanizmo elementas

Toks preciziškas rodyklių balansavimo elementas kaip žiedinė spyruoklė –vadinamasis plaukas, gaminamas iš fosforo ir bronzos arba berilio ir vario junginių, sudaro galimybes labai tiksliai, laipsniškai išlyginti reversinius rodyklių mechanizmo laisvumus ir kiek įmanoma sumažinti rodyklių nusistovėjimo paklaidas.

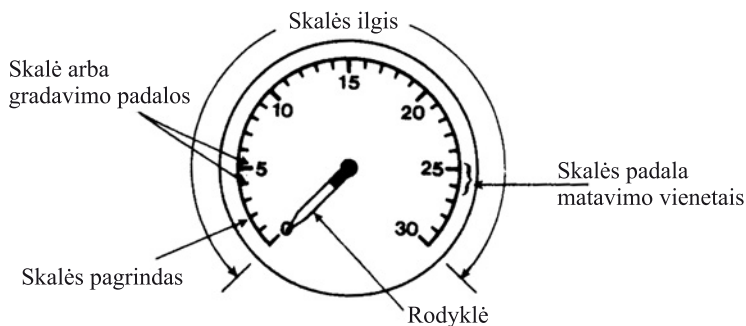


3.22 pav. Žiedinės spyruoklės (laikrodinio plauko) panaudojimas rodmenų indikatorius mechanizmui balansuoti:

a – spyruoklės tvirtinimo metodas; b – nulio nustatymo būdas

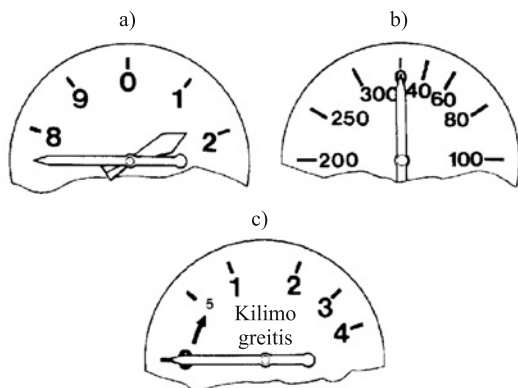
Rodmenų vaizdavimo elementai. Jie naudojami matavimo prietaisų informacijai vaizduoti vartotojui patogia forma. Egzistuoja rodykliniai, skaitmeniniai, grafiniai, šviesinės signalizacijos ir mišrieji rodmenų vaizdavimo elementai (indikatoriai). Rodykliniai indikatoriai gali būti su įprasta apskritąja arba tiesės pavidalo skalėmis.

Apskritosios skalės. 3.23 pav. pateiktas rodyklinio indikatoriaus su apskritąja, tolydžia skale pavyzdys. Tokios skalės padalos yra vieno intervalo, atitinkančio matuojamojo dydžio vienetą. Skalė gali būti sužymėta skirtingomis padalų žymėmis: trumpesnėmis arba ilgesnėmis. Pastarosios skirtos fizikinio dydžio vienetams kiekybiškai pavaizduoti. Tokios žymės pasikartojimo laikotarpis pasirenkamas taip, kad būtų gaima patogiai ir greitai nuskaityti duomenis. Tačiau praktikoje ne visada pavyksta duomenis pavaizduoti tolydžia, vieno dydžių intervalų skale. Pasitaiko matuojamųjų parametrų, kurių kitimo dėsnis nėra tiesinis. Tokiu atveju duomenų indikatoriuose naudojamos netiesinės nuskaitymo skalės, atitinkančios matuojamųjų dydžių kitimo funkciją.



3.23. pav. Rodyklinis indikatorius su apskritąja tolydžia skale

Toliau (3.24 pav.) pateikti tokių indikatorių skalių pavyzdžiai. Laikrodžio pavidalo indikatoriaus su tiesine skale pavyzdys pateiktas 3.24 pav. a. Šalia pateiktos netiesinės – kvadratinio ir logaritminio dėsniais kintančios indikatorių skalės. Jos atspindi indikatorinio ir vertikaliojo orlaivio greičių parametrų kitimo funkcijas (3.24 pav. b, c).



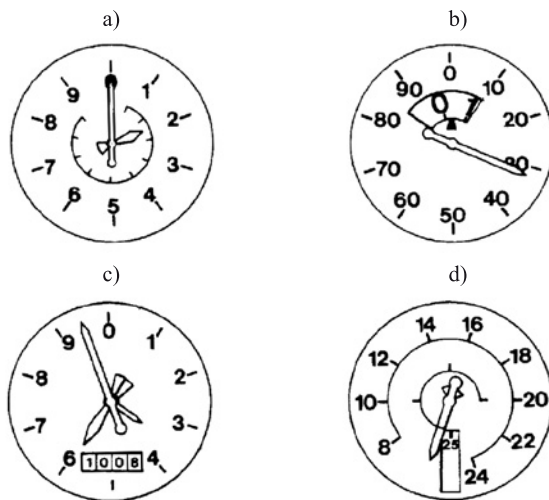
3.24 pav. Tiesinė ir netiesinė skalės: a – tiesinė laikrodžio pavidalo skalė; b – kvadratinės funkcijos skalė; c – logaritminė skalė

Paprastai skalės numeracija didėja nuosekliai. Tačiau, kai dėl matavimo dydžių kitimo funkcijos netiesiškumo tenka po truputį didinti skalės matavimo intervalų reikšmes, duomenų nuskaitymo tikslumas gali sumažėti. Kai tai nepageidautina, taikomi vadinamieji ilgų skalių indikatoriai. Jie naudojami, pavyzdžiui, turbininių variklių sūkių skaičiaus, orinių greičių, skrydžio aukščio tiksliais matavimams. Keletas taikomų praktikoje indikatorių, įgyvendindnčių ilgosios skalės principą, parodyti 3.25 pav.

Paprasčiausias indiktorius (3.25 pav., a) turi dvi, „sparčiąją“ – išorinę ir „lėtąją“ – vidinę, koncentrines skales su didžiąja ir mažąja rodyklėmis. Mažosios rodyklės žingsnis lygus dviems didžiosios rodyklės sūkiams. Siekiant įvertinti rezultatus, turi būti stebimos abi indikatoriaus rodyklės ir abi skalės. Šis indiktorius gali būti taikomas turbininio variklio rotorius sūkių dažnio matavimams vaizduoti. Tokiu atveju ilgoji rodyklė, besisukanti prie išorinės skalės, rodys šimtų apskukų per minutę reikšmes, o mažoji rodyklė, besisukanti prieš vidinę skalę, rodys tūkstančių apskukų per minutę reikšmes.

3.25 pav. b pateikto orinio greičio indikatoriaus duomenų vaizdavimo būdas, pagrįstas koncepcija, panašia į anksčiau aprašytąją. Tačiau šiuo atveju mažoji rodyklė eliminuota, o vietoj jos nuo „sparčiosios“ rodyklės prievado sukama vidinė grubiojo matavimo skalė,

kurios rodmenis galima stebėti per langelį išorinėje tikslaus matavimo skalėje. Tikslioji skalė fiksuoja greičio reikšmes nuo nulio iki šimto mylių per valandą, o grubioji šimtais – mylių per valandą.



3.25 pav. Didelio diapazono ilgų skalių pavidalai:

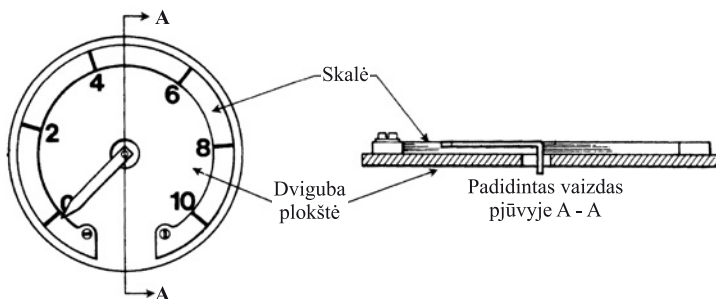
a – koncentrinė skalė; b – fiksuotoji ir sukamoji skalės; c – bendroji skalė su triguba rodykle; d – su plyšio pavidalo rodykle

3.25 pav. c rodomas indikacijos būdas, kai ant vienos ašies esančios skirtingo ilgio rodyklės naudojamos matuojamo parametro rezultatams vaizduoti trimis skirtingais masteliais vienoje apskritoje dešimties padalų skalėje. Šis indikacijos variantas dažniausiai naudojamas aukščiamaičiuose, kai didžiąja rodykle atskaitomi šimtų, vidutinė – tūkstančių, o mažąja rodykle – dešimčių tūkstančių pėdų aukščiai. Šis metodas šiek tiek apsunkina nuskaitytų duomenų interpretaciją ir todėl gali mažėti laukiamų rezultatų patikimumas.

3.25 pav. d parodytas palyginti naujas rodmenų pateikimo metodas, taikomas orinio greičio matavimams vaizduoti. Čia duomenims nuskaityti panaudotos išorinė ir vidinė skalės, o rodmenimis operuoja viena rodyklė, fiksuojanti rodmenis išorinėje skalėje pirmojo viso apsisukimo metu. Jam pasibaigus, toliau judančios rodyklės galu palengva atidengiama iki

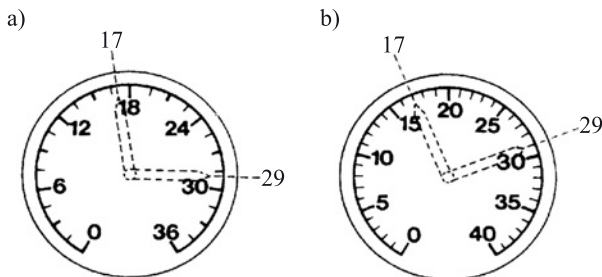
šiol uždengta, mažoji skalė, esanti anapus didžiosios skalės. Mažosios skalės padėtį nustato specialus skalės fiksavimo mechanizmas. Trumpasis rodyklės galas, judėdamas toliau, žymi rodmenis pagal vidinę skalę.

Kitas, rodyklinių indikatorių su apskritąja skalė svarbus duomenų nuskaitymo tikslumą lemiantis veiksnys, susijęs su skalės ilgiu, prietaiso gabaritais ir rodyklės padėtimi, yra duomenų nuskaitymo stebėjimo kampas. Neteisingai parinkus šį kampą, sumažėja ilgosios skalės apžvalgos galimybės, atsiranda duomenų nuskaitymo paralakso paklaidų. Standartai reikalauja, kad indikatoriaus ciferblato stebėjimo sektoriaus kampas viršytų 30° . Ši problema veiksmingai sprendžiama naudojant platformos pavidalo skalę 3.26 pav.



3.26 pav. Platformos pavidalo skalė

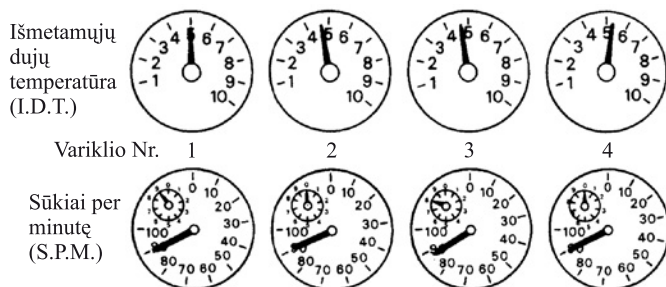
Šioje indikatoriaus konstrukcijoje apskritoji skalė su žymėmis iškelta aukščiau pagrindo plokštės taip, kad duomenų nuskaitymo skalės ir prietaiso rodyklės galiuko lygiai sutaptų.



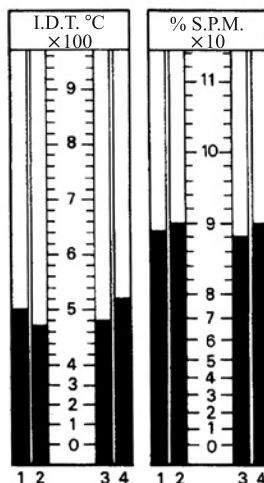
3.27 pav. Nuskaitymo tikslumas: a – tolygus skalės ilgis ir darbinis sektorius; b – skalės diapazonas, viršijantis darbinį sektoriaus kampą

Dar vienas klausimas, gana dažnai iškylantis nustatant indikacijos skalės ilgį, – tai darbinio skalės sektoriaus, kuriame dažniausiai stebimi matavimų rodmenys ir viso skalės diapazono kampinis santykis. Labai dažnai skalės ilgiu manipuluojama, norint pasiekti optimalų būtiną skalės darbinį kampą, paliekant nenaudojamos skalės dalį. Iš pirmo žvilgsnio tai neracionalu, tačiau padeda didinti duomenų nuskaitymo patikimumą 3.27 pav.

Tiesiosios skalės. Tiesiųjų skalių indikatoriai naudojami gana efektyviai, kai analogiškų matavimų rezultatus, gaunamus iš keleto vienodų objektų, tenka stebėti vienu metu. Pavyzdžiui, matuojant orlaivio variklių išmetamųjų dujų temperatūrą (arba) bei jų turbinų sūkių dažnį ir pan.



Variklio Nr.	I.D.T. °C	% S.P.M.
1	500	89
2	470	90
3	480	88
4	520	90

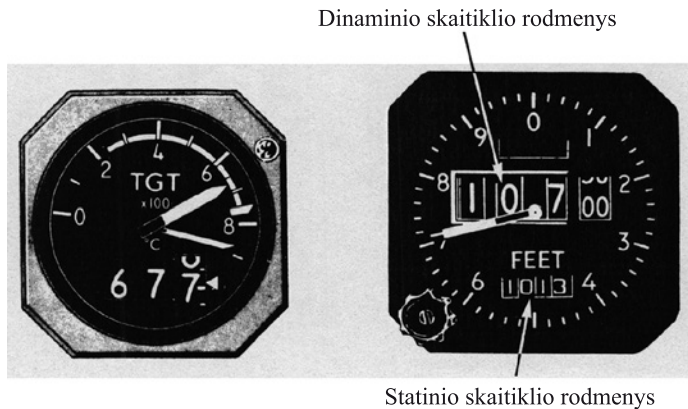


3.28 pav. Judančiosios juostos ir apskritosios skalės indikatorių palyginimas

3.28 pav. parodyta, kaip tokių matavimų rezultatai vaizduojami indikatoriuose su apskrita ir tiesės pavidalo skalėmis.

Kaip matyti iš paveikslo, judančiosios juostos indikatorius šiuo atveju daug informatyvesnis, nes palengvina palyginamąjį variklių parametų stebėjimą.

Skaitmeninė indikacija. Jos taikymo pavyzdžiai, pateikti 3.29 pav., akivaizdžiai rodo šio vaizdavimo būdo ir jo derinimo su kitais vaizdavimo būdais pranašumą, šiuo atveju matuojant einamąjį ir santykinį orlaivio aukščius.



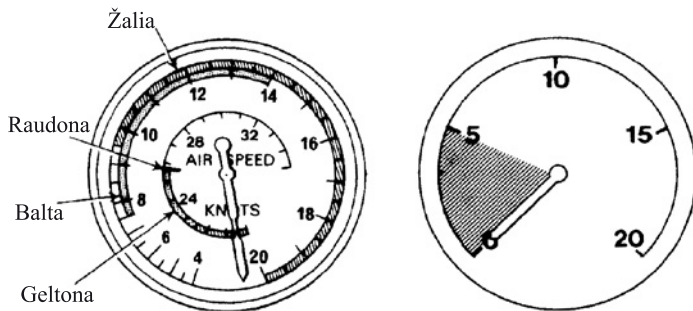
3.29 pav. Skaitmeninių indikatorių naudojimas

Dvejopos informacijos indikatoriai. Naudojami tada, kai norima taupyti prietaisų skydelio erdvę, ypač matuojant skirtingus kiekybinius, su jėga susijusius parametrus. Tai atliekama dviem pagrindinėmis formomis: kai du skirtingi indikatoriai bei skalės jungiami viename korpuse ir kai turimi du indikatoriai viename korpuse, bet su rodyklėmis prieš bendrąją skalę. Tipiniai vaizdavimo derinių pavyzdžiai parodyti 3.30 pav.

Matavimai	Pateikimas
A. Dviejų skirtingų vienos sistemos dydžių	
B. Vieno dviejų skirtingų sistemų dydžio	
C. Vieno dviejų vienodų sistemų dydžio	

3.30 pav. Dvejos informacijos indikatorių pavyzdžiai

Spalvotieji indikatoriai. Spalvinių zonų naudojimas indikatoriuose gali labai išplėsti jais tiekiamos informacijos diapazoną, turint omenyje specifinę žmogaus reakciją į spalvinę vaizdavimo formą. Kai indikatorių skalės atskiri sektoriai nudažomi skirtingomis spalvomis, reiškiančiomis duomenų kitimo diapazono ypatingą funkciją, labai padidėja matavimų rezultatų stebėjimo kokybė ir vertinimo operatyvumas.

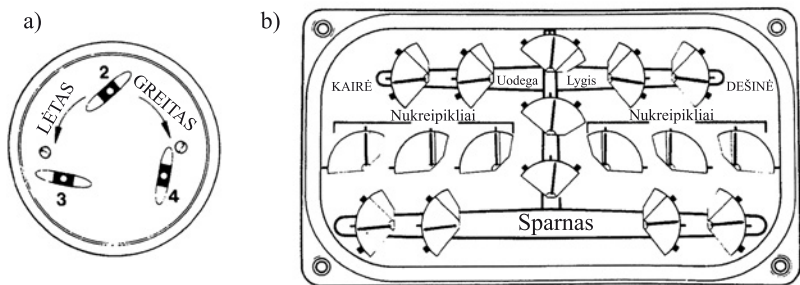


3.31 pav. Spalvų panaudojimas vaizdavimo elementuose: baltas lankas 75–140; žalias lankas 95–225; geltonas lankas 225–255; raudonas lankas ir brūkšnis 255

3.31 pav. pateiktame indikatoriaus pavyzdyje spalvomis pažymėti orinio greičio diapazonų sektoriai turi tokias reikšmes:

- RAUDONA radialinė linija – didžiausio ir mažiausio aukščio ribos;
- GELTONAS sektorius – kilimo ir didelio pavojingumo aukščių sektorius;
- ŽALIAS sektorius – normalus darbinis skrydžių aukščių sektorius;
- RAUDONAS sektorius – aukščių sritis, kurioje skrydis draudžiamas.

Kokybiniai indikatoriai. Tai indikatoriai, kuriuose informacija pateikiama specialaus pavidalo simboliais arba kita vaizdine forma, nurodančia sistemos būseną. Du tokie indikatoriai parodyti 3.32 pav.



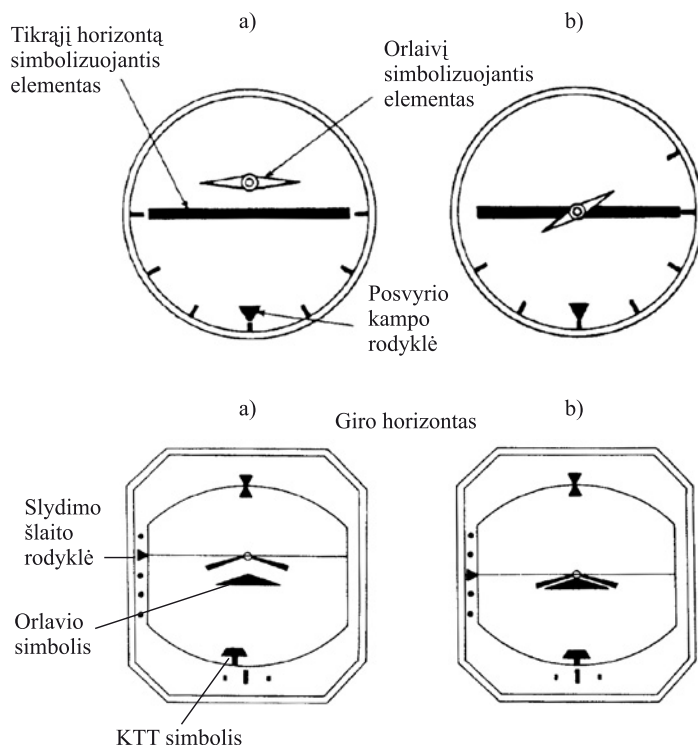
3.32 pav. Kokybiniai indikatoriai: a – variklių sinchronizavimas; b – skrydžio valdymo paviršių padėtis

Sinchroskopas (3.32 pav. a) skirtas orlaivyje esančių kelių sraigtiinių variklių sukimosi greičių (sūkais per minutę) tarpusavio sinchronizacijai vaizduoti. Indikatoriaus rodyklės simbolizuoja atskirų variklių sraigtus (propelerius), besisukančius skirtingais greičiais.

3.32 pav. b pateiktas pavyzdys, kaip galima vaizduoti orlaivio padėtį keičiančius mazgus, šiuo atveju – skrydžio valdymo paviršius, tupdymo skydelius ir oro nukreipiklius. Šiuos mazgus valdo septyniolika atskirų elektrinių mechanizmų, kuriais jie pozicionuojami, o jų padėtis rodoma bendrajame vaizduoklyje valdymo mechanizmų padėčių simbolizuojančiais indikatoriais.

Semantiniai valdymo vaizduokliai. Skirti pateikti pilotui vizualią informaciją apie orlaivio polinkio ir posvyrio kampus bei kryptį, lengvai suprantama vizualia forma, taikant „natūralius“ vaizdžius simbolius. Taigi vaizduoklio ekrane skrydžio eiga turi būti pateikiama taip, kad pilotas vienareikšmiškai suprastų, kokius orlaivio valdymo veiksmus jis turi atlikti esamoje situacijoje. Be to, pilotui turi būti sudaryta galimybė realiu laiku stebėti vaizduoklio ekrane šių veiksmų eigą. Kitaip tariant, semantiniai skrydžio valdymo vaizduokliai turi sudaryti natūralias skrydžio valdymo realiu laiku galimybes pagal jų ekraną.

Valdymo vaizduoklio procedūroms paaiškinti 3.33 pav. pateikiama keletas praktinių pavydžių.



3.33 pav. Orlaivio valdymo vaizdavimo pavyzdžiai: a – nuoroda „skristi žemyn“; b – nuoroda „sukti į dešinę“; c – nuorodos „skristi į kairę“ ir „skristi aukštyn“; d – nuoroda „išjungti variklį“

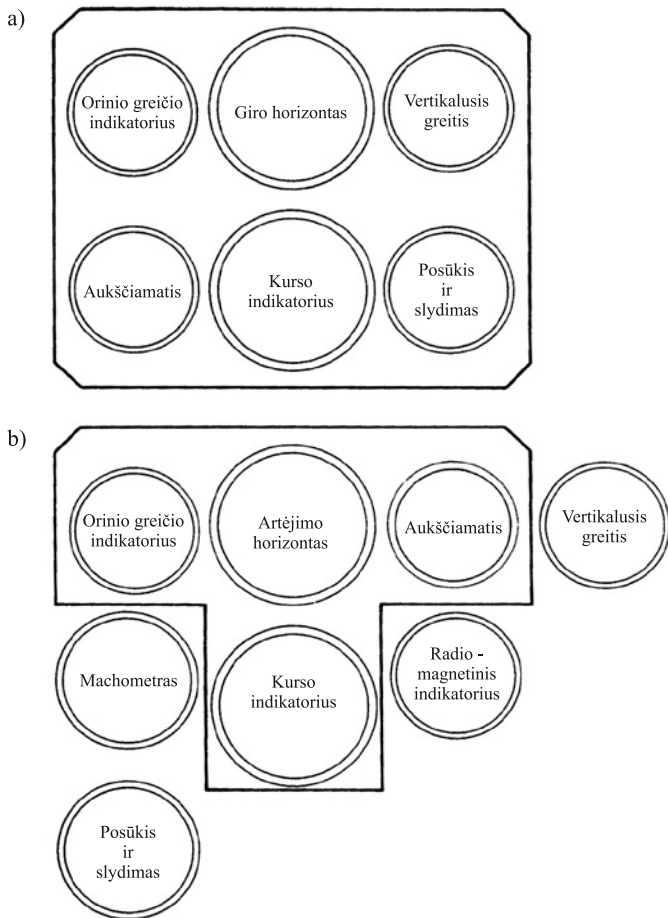
Viršutinėje paveikslo dalyje (a) ir (b) vaizduojamas orlaivio polinkio ir posvyrio valdymas, matuojamas padėties rodikliu AI (*Attitude indicator*); apatinėje paveikslo dalyje (c) ir (d) vaizduojamas orlaivio tupdymas pagal ILS (*Instrument Landing System*).

Orlaivio padėties valdymo vaizduokliuose yra olaivio simbolis, horizonto linija, polinkio kampo skalė ir kiti orlaiviui valdyti reikalingi rodikliai bei simboliai. Šių vaizduoklių susiejimo su orlaivio valdymo įrenginiais principai bus aiškinami vėliau, nagrinėjant giroskopinius orlaivio valdymo prietaisus.

Prietaisų grupavimas. Prietaisai grupuojami taip, kad olaivio pilotams ir kitiems ekipažo nariams būtų patogų jais naudotis. Prietaisai grupuojami pagal paskirtį ir svarbą valdant orlaivį į dvi grupes: skrydžio prietaisų grupę ir variklio prietaisų grupę.

Pilotų kabinoje įrengiami pagrindiniai skrydžio prietaisai: orinio greičio indikatorius, aukščiamatis, giroskopinis aviahorizontas, kurso indikatorius, vertikaliojo greičio indikatorius, posūkio ir posvyrio indikatorius, kurie sudaro pagrindinę prietaisų grupę, taip, kad jų eksploatavimo koordinacija nebūtų sudėtinga ir juos stebint būtų kuo mažesnė klaidų galimybė.

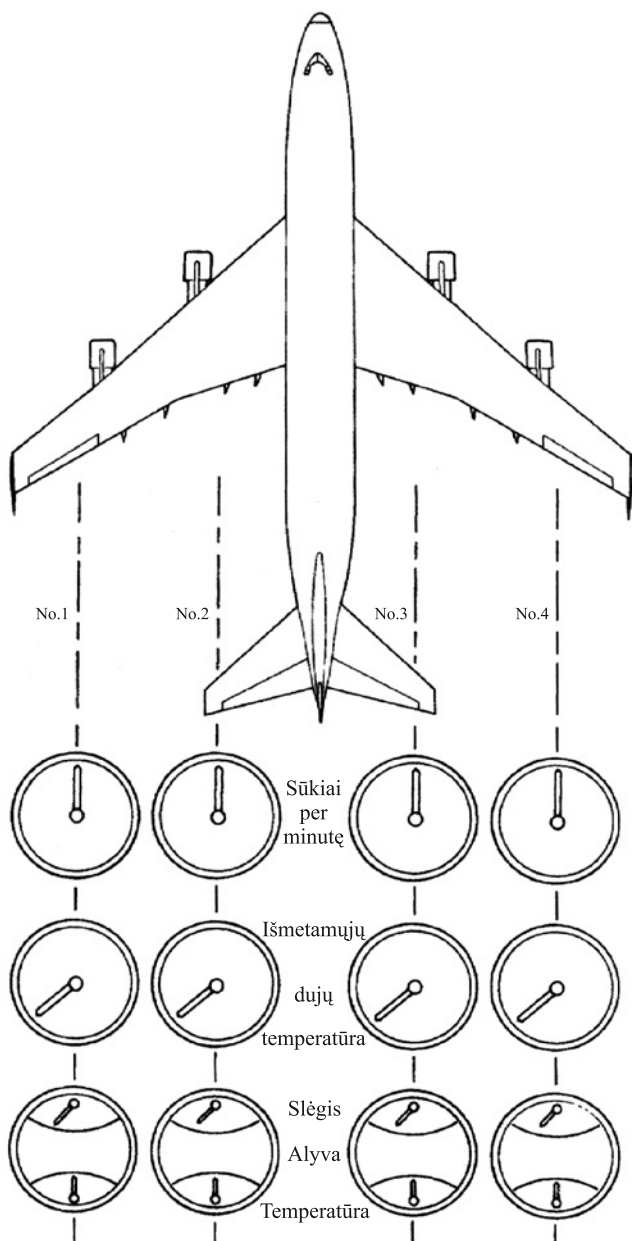
Tipinis šių prietaisų išdėstymas orlaivių kabinose vadinamas „šešių baze“ (3.34 pav. a). Šioje prietaisų išdėstymo bazėje aviahorizontas yra centre todėl, kad jo ekrane vaizduojama olaivio padėtis ir padėties pokyčiai, polinkiai bei posvyriai ir jis naudojamas kaip pagrindinis piloto prietaisas. Nors orinio greičio ir skrydžio aukščio valdymas yra tiesiogiai susiję su orlaivio padėtimi, orino greičio indikatorius, aukščiamatis bei vertikaliojo greičio indikatorius išdėstyti šalia aviahorizonto ir padeda vertinti aukščio padėtį. Pagal kurso indikatorių stebima informacija apie orlaivio krypties pokyčius padeda laiku išvengti pavojingų nuokrypių ir laikytis numatyto skrydžio kurso. Šis prietaisas kaip pagalbinis, vertinant orlaivio skrydžio kryptį, dedamas žemiau aviahorizonto. Posūkio ir slydimo indikatorius, teikiantis antirinius orlaivio krypties pokyčius, irgi tik palengvina kampinių pokyčių interpretaciją ir yra šalia kurso indikatoriaus.



3.34 pav. Skrydžio prietaisų grupavimas:

a – „šešių bazė“; b – „bazė T“ „giro horizontas

Tobulėjant aviacijai, naujųjų orlaivių tipuose pradėta naudoti kita pagrindinė skrydžio prietaisų išdėstymo tvarka – vadinamoji „bazė T“ (3.34 pav. b). Šio skrydžio prietaisų išdėstymo būdas grindžiamas tuo, kad pagrindinę skrydžio informaciją tiekiantys prietaisai turi būti išdėstyti greta vienas kito, sudarydami pagrindinę bazę. Kiti pagalbinę informaciją teikiantys prietaisai turi būti išdėstomi šalia pagrindinės bazės pagal funkcinę jų paskirtį.

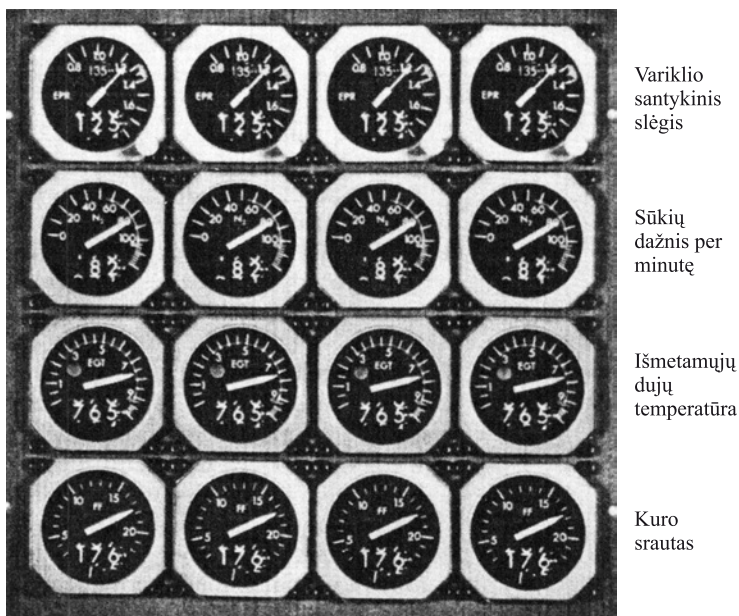


3.35 pav. Jėgainės prietaisų grupavimas

Taigi horizontalioji „bazės T“ dalis yra sudaryta iš keturių kerti-
nių skrydžio prietaisų: orinio greičio indikatorius, polinkio ir posvy-
rio padėties indikatorius ir aukščiamočio, o vertikalioje dalyje yra
kurso indikatorius. „Bazės T“ išorėje, prie kurso indikatorius, yra
radiokompaso indikatorius, o kitoje pusėje, žemiau orinio greičio in-
dikatorius, – machometras. Vertikaliojo greičio indikatorius yra šalia
aukščiamočio, o prie kurso indikatorius, žemiau machometro, – po-
sūkio bei posvyrio ir slydimo indikatoriai.

Jėgainės prietaisai grupuojami pagal orlaivio variklių išdėstymą
(3.35 pav.). Pilotų kabinoje išdėstomi jėgainės prietaisai, kurie pade-
da stebėti ir valdyti variklių režimus kilimo, skrydžio pagal nustatytą
kreiserinį greitį metu ir nusileidimo vietoje.

3.36 pav. parodytas pavyzdys, kaip ir kokie jėgainės prietaisai iš-
dėstyti orlaivio *Boing 747* pilotų kabinoje, pirmojo piloto darbo vietoje.



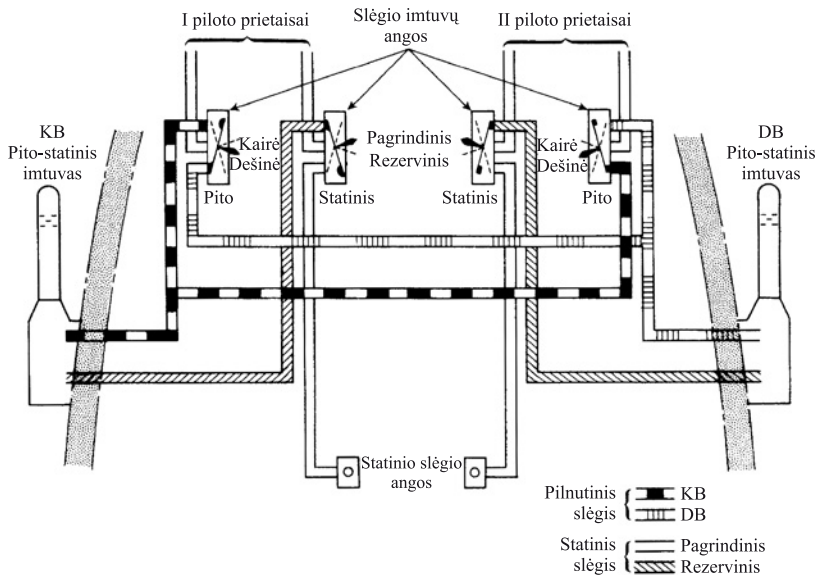
3.36 pav. Lėktuvo *Boing 747* jėgainės įrangos prietaisų grupavimas

Kiekvienoje vertikalioje prietaisų eilėje išdėstyti skirtingų variklių
prietaisai. Visa prietaisų grupė dubliuojama antrojo piloto darbo vietoje.

3.3. Pito-statinė sistema

Orlaivio *Pito-statinio* slėgio sistemos paskirtis – nuolat tiekti aerometriniams prietaisams skrydžio metu orlaivį veikiantį pilnutinį oro pasipriešinimo slėgį ir statinį, orlavį supančios, netrikdytos atmosferos slėgį skrydžio aukštyje. Tai atliekama tam, kad orlaiviui skrendant būtų galima nepertaukiamai matuoti skrydžio greičio pokyčius bei aukščio kitimą, o kartu ir aukščio kitimo greitį (vertikalųjį orlavio greitį).

Visa tipinė skrydžio pilotavimo prietaisų ir slėgio tiekimo sistemos sujungimo schema pateikta 3.37. pav.

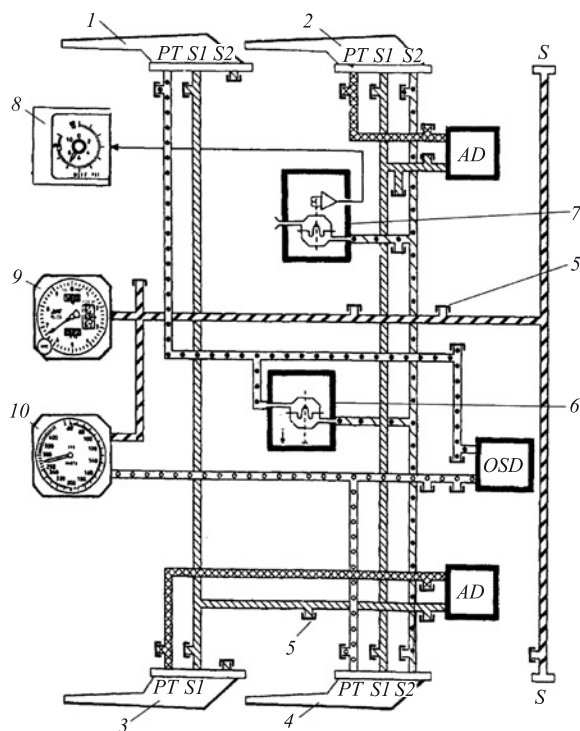


3.37 pav. Tipinė Pito-statinio slėgio tiekimo į pilotavimo prietaisus schema

Tiekimo sistema sudaryta iš dviejų pilnutinio slėgio magistralių, keturių pagrindinio statinio slėgio magistralių ir vienos atsarginės magistralės. Pilnutinis slėgis perduodamas iš dviejų pilnutinio slėgio imtuvų, įrengtų ant orlaivio korpuso iš kairės ir dešinės. Vienas imtuvas skirtas orlaivio įgulos vado (pirmojo piloto) prietaisams ir kaip atsarginis – antrojo piloto prietaisams. Antrasis imtuvas – atvirkščiai. Simetrinis statinio slėgio imtuvų išdėstymas ant korpuso iš dešinės ir

kairės bei porinės jų jungtys į vieną liniją palaiko pastovų slėgį, esant orlaivio skrydžio krypties pokyčiams. Pagrindinį slėgį į atsarginį perjungia pultuose išdėstyti čiaupai.

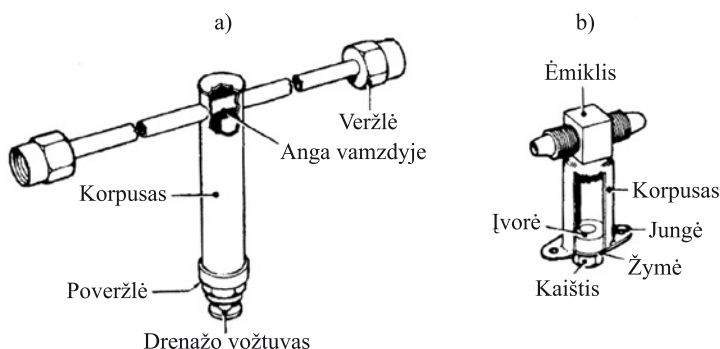
Prie Pito-statinės sistemos magistralių jungiami aerometriniai matavimo prietaisai (3.38 pav.), kurie matavimų sistemos patikimumui padidinti dubliuojami ir sudaro minėtąsias pirmojo ir antrojo pilotų prietaisų grupes. Sistemoje numatyti drėgmės kondensato drenavimo ir surinkimo elementai bei orinio slėgio imtuvų ir slėgio tiekimo magistralių šildymo nuo apledėjimo įtaisai.



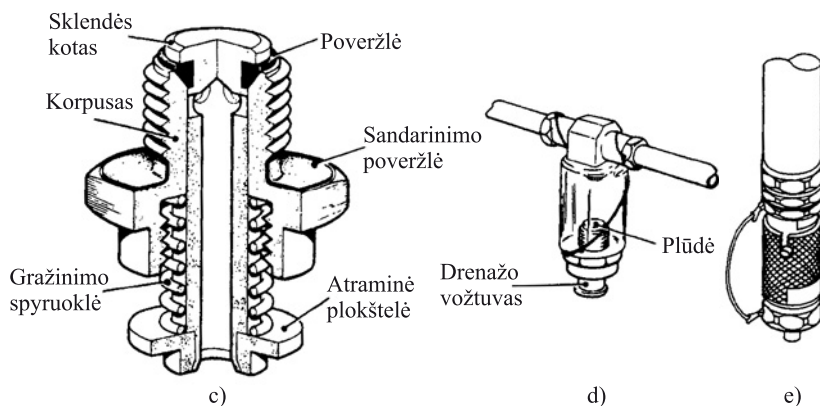
3.38 pav. Aerometrinių prietaisų jungimo į Pito-statinę sistemą pavyzdys.

PT – pilnutinio slėgio magistralės; S – statinio slėgio magistralės;
 AD – aukščio jutikliai; OSD – orinio slėgio jutiklis; 1–4 – pilnutinio
 ir statinio slėgio imtuvai; 5 – дренаžiniai surinktuvai; 6 – orinio slėgio
 reguliatorius; 7 – kabinos slėgio jutiklis; 8 – kabinos slėgio rodytuvas;
 9 – aukščiometras; 10 – tikrojo orinio greičio rodytuvas

Vandens kondensato Pito-statinėje sistemoje drenavimo metodus rodo toliau pateikti gaminių pavyzdžiai (3.39 pav.; 3.40 pav.). Kelių tipų kondensato vandens kaupimo ir drenavimo elementai (drenažiniai surinktuvai), kurie montuojami slėgio magistralių vamzdyne sistemos funkcionavimo kondicijai palaikyti (3.39 pav.). Šie elementai ir sudedamosios jų dalys, kaip ir patys vamzdynai, gaminami iš korozijai ir vibracijoms atsparių, lengvų metalų lydinių ar kompozicinių medžiagų.



3.39 pav. Vandens kaupikliai su drenavimo vožtuvu (a) ir kaiščiu (b)



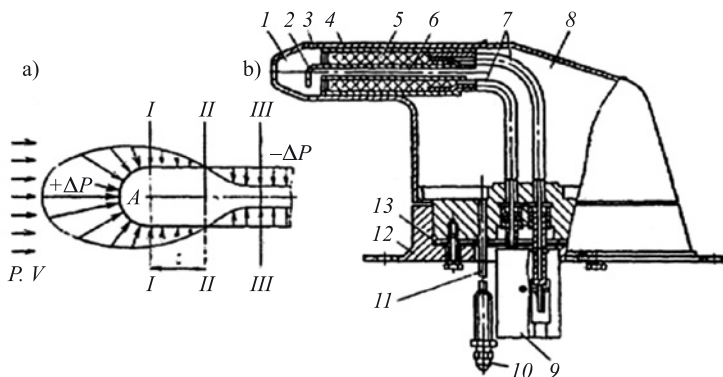
3.40 pav. Drenažo vožtuvo konstrukcija:

(c) – drenažo vožtuvo konstrukcija; (d) – permatomas vandens kaupiklis su drenažo vožtuvu; (e) – mišrusis surinkimo rezervuaras su drenažo vožtuvu

Pito-statinės sistemos slėgio magistralių vamzdyno drenavimo metodai ir priemonės priklauso nuo orlaivio tipo ir būna ganėtinai įvairios. Taip yra todėl, kad vieni, dažniausiai stambūs, serijinių orlaivių gamintojai gali projektuoti ir gaminti savas drenavimo kaupiklių ir vožtuvų konstrukcijas, o smulkesni gamintojai naudojami specializuotų gamintojų unifikuota produkcija.

Orinio slėgio imtuvai. Statinis ir pasipriešinančio oro pilnutinis slėgiai į oro duomenų tiekimo sistemą patenka per **orinio slėgio imtuvus** (Pito vamzdelius), kurių sandara pateikta 3.41 pav. **Statinis slėgis** P apibūdinamas kaip slėgis, tenkantis statinėje oro aplinkoje esančio kūno paviršiaus vienetui. 3.41 pav. a parodyta perteklinių slėgių pasiskirstymo ant cilindrinio kūno paviršiaus epiūra, esant pastoviam oro srauto greičiui V . Pjūvio I-I plokštumoje slėgis kūno paviršiuje didesnis už absoliutųjį slėgį P , o pjūvyje III-III – mažesnis. Pjūvyje II-II, nuo pjūvio I-I nuotolusiame atstumu l , kūno paviršiuje slėgis lygus statiniam slėgiui P . Aplink kūno perimetrą pjūvyje II-II padarius simetriškas kiaurymes, kūno viduje slėgis taptų lygus P . Statinio slėgio imtuvai, pagrįsti šiuo efektu, paprastai gaminami arba kaip specialūs antgaliai su kiaurymėmis jų paviršiaus vietose, arba kaip specialios plokštės su kiaurymėmis, įtaisytomis orlaivio sklandmens paviršiuje.

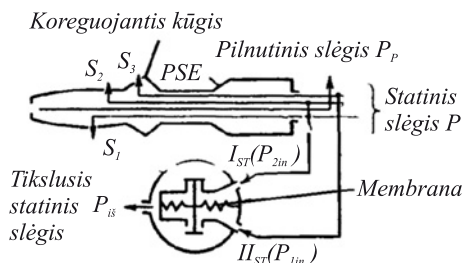
Pilnutinis slėgis P_p – tai slėgis, tenkantis kūno paviršiaus vienetui, kurio plokštuma statmena plūstančio oro srauto greičio vektoriui $\vec{V}$. Slėgis P_p lygus statinio P ir dinaminio P_{din} slėgių sumai. 3.41 pav. a slėgis P_p yra tik cilindrinio kūno paviršiaus taške A . Šiame taške A padarius kiaurymę, vidinėje cilindrinio kūno dalyje (plokštumoje II-II), jei daugiau angų nėra, nusistovės pilnutinis slėgis P_p . 3.41 pav. b pateiktas **pilnutinio slėgio imtuvo** variantas. Oro srautas, kurio greitis V , stabdomas prie kameros 1 įėjimo. Tada slėgis kameroje 1 , lygus P_p , per vamzdelį 6 , kamerą 8 , pneumolaidį 11 tiekiamas į atvamzdį 10 , prijungtą prie pilnutinio slėgio magistralės. Drenažo angos 3 su stogeliu 2 korpuse 4 yra skirtos drėgmei iš kameros 1 pašalinti. Imtuvą šildo nikelinio laido spiralė 5 , maitinama įtampos, perduodamos per jungtį 9 , laidais 7 . Imtuvas tvirtinamas prie jungtės 12 . Kameros hermetiškumą palaiko tarpinė 13 .



3.41 pav. Orinių slėgių imtuvai:

- a – perteklinių slėgių pasiskirstymo cilindrinio kūno pavišiuje epiūra;
b – pilnutinio slėgio imtuvas

3.42 pav. parodytas oro slėgio imtuvas, vienu metu tiekiantis pilnutinį P_p ir statinį P slėgį. Pilnutinis slėgis P_p perduodamas kiauryme P (II) ir nukreipiamas per vieną iš keturių atvamzdžių.



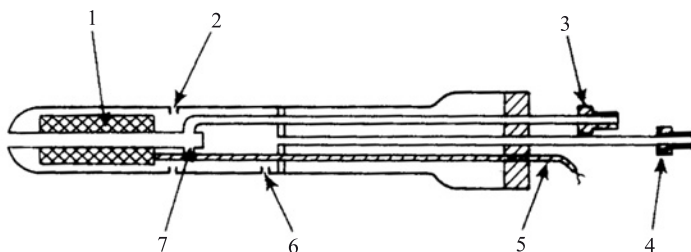
3.42 pav. Oro slėgių imtuvo su koreguojančiuoju kūgiu schema

Kiaurymės S_1 , S_2 , S_3 , perduodančios slėgį, susisiečia su trimis hermetinėmis kameromis, išvestomis į atskirus atvamzdžius. Imtuvas turi **koreguojantįjį** kūgį su „ikigarsine“ statinio slėgio kamera, susisiekiančia su kiauryme S_3 . Skrydžio metu, kai greitis $M < 1$, slėgis šioje kameroje artimas statiniam, o slėgiai kameroje su kiaurymėmis S_1 ir S_2 skiriasi nuo jo. Skrendant greičiu $M > 1$, atvirkščiai, kameroje su kiaurymėmis S_1 ir S_2 slėgiai artimi statiniam, o kameroje su kiauryme S_3 slėgis skiriasi nuo statinio. Skrendant greičiu $M < 1$, prie orlaivio

statinio slėgio magistralės prijungiama kamera su kiauryme $S3$, o greičiu $M > 1$ – kamera su kiaurymėmis $S2$ ir $S1$. Kameros, atsižvelgiant į skrydžio greitį, perjungiamos pneumatiniu jungikliu PP pagal slėgių skirtumo ženklą kamerose su kiaurymėmis $S1$ ($S2$) ir $S3$.

Oro slėgio imtuvams, be abejo, būdingos paklaidos. Statinio slėgio perdavimo paklaidos yra aerodinaminės, t. y. priklausančios nuo: eksperimento paklaidų, nustatant imtuvų charakteristikas; matavimo prietaisų netikslumų; imtuvo gaminimo netikslumų; imtuvo vietos sąlygų įtakos. Tokioms paklaidoms eliminuoti kartais naudojami aerodinaminių pataisų skaičiuokliai. Skrydžio metu orinio slėgio imtuvai, veikiami žemos priimamo oro temperatūros ir oro drėgmės, gali labai greitai apledėti. Tokiu atveju oro slėgio tiekimas Pito-statinei sistemai sutrinkdomas. Siekiant to išvengti, orinio slėgio imtuvų konstrukcijose numatoma galimybė šildyti oro priėmimo angas. Paprastai toks šildymas pradedamas prieš skrydį, net esant teigiamai temperatūrai, ir palaikomas skrydžio metu iki pat jo pabaigos.

3.43 pav. pateiktoje orinio slėgio imtuvo konstrukcijos schemoje: oro priėmimo angų elektrinis šildymo elementas 1 , sujungiamas su jo maitinimo šaltiniu – kabeliu 5 , gaubia pilnutinio orinio slėgio priėmimo tūtą. Šiluma perteikiama ir statinio atmosferos slėgio priėmimo kamerai ir angoms 2 . Orinio slėgio imtuve numatytas pilnutinio orinio slėgio tūtos дренаžinis drėgmės surinktuvas 7 ir statinio slėgio priėmimo kameros дренаžinė ertmė 6 . Prie pilnutinio ir statinio slėgių tiekimo magistralių imtuvas jungiamas 3 ir 4 jungtimis.

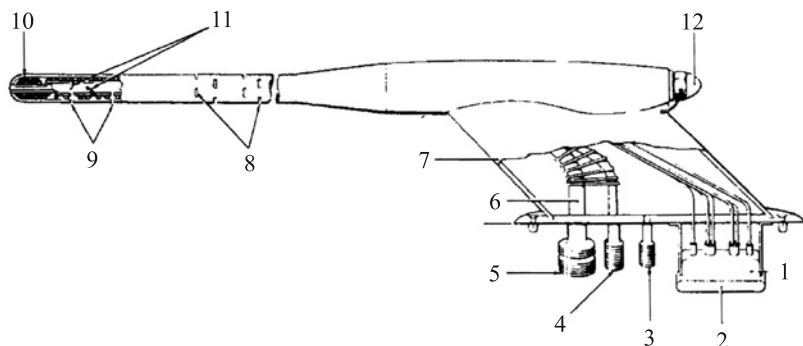


3.43 pav. Orinio slėgio imtuvo šildymo schema:

1 – šildymo elementas; 2 – šilumos tiekimo angos; 3, 4 – jungtys; 5 – kabelis;
6 – дренаžinė ertmė; 7 – drėgmės surinktuvas

3.44 pav. parodytas Pito-statinio imtuvo tipas, kuris taikomas eksploatuojant šiuolaikinius reisinius oro lainerius. Tokio tipo imtuvai montuojami ant stiebo, kuris tvirtinamas prie orlaivio liemens apvalkalo taip, kad būtų tinkamai išlaikyta reikiama oro priėmimo kampinė padėtis, t. y. būtų lygiagreti orlaivį aptekančiam oro srautui. Orlaivyje montuojami keli tokių imtuvų komplektai (3.38 pav.).

Pilnutinis slėgis perduodamas iš imtuvo per hermetišką kamerą, esančią imtuvo tvirtinimo stiebe, į jungtimis prijungtas tiekimo sistemos magistralės. Siekiant išvengti vandens ar kitų išorinių poveikių įtakos pilnutinio slėgio imtuve, numatyti specialūs oro srauto filtrai. Susikaupusiam vandens kondensatui pašalinti naudojamos drenažinės angos ir stiebo drenažinis varžtas. Imtuvo priekinė dalis ir stiebo ertmės šildomos dviem šildytuvais – priekiniu ir galiniu. Šildytuvai įjungiami ir šildymo intensyvumas reguliuojamas pilotų kabinoje esančiu prietaisų valdymo pultu, kuriame yra indikacija apie šildytuvų funkcionavimą.

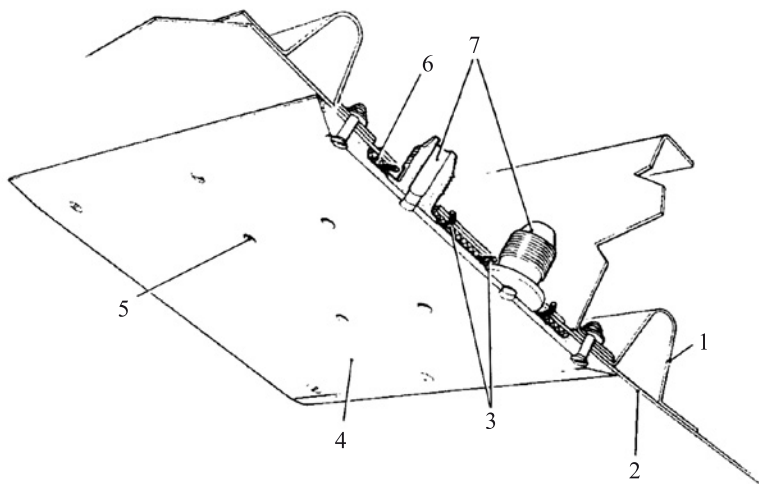


3.44 pav. Pito-statinio imtuvo konstrukcija:

- 1 – jungtis; 2 – dangtelis; 3 – pilnutinio slėgio jungtis;
- 4 – priekinės angos pastovioji jungtis; 5 – galinės angos pastovioji jungtis;
- 6 – galinis šildytuvas; 7 – stiebas; 8 – statinio slėgio angos;
- 9 – drenažo angos; 10 – priekinis šildytuvas; 11 – oro srauto filtrai;
- 12 – drenažinis stiebo varžtas

Kartu su mišraisiais Pito-statinio orinio slėgio imtuvais orlaivių orinio slėgio tiekimo sistemose papildomai įrengiami tik statinio

orinio slėgio imtuvai. Visuose orlaiviuose supančios orlaivį atmosferos statinis slėgis priimamas angų pavidalo statinio slėgio imtuvais 3.45 pav.

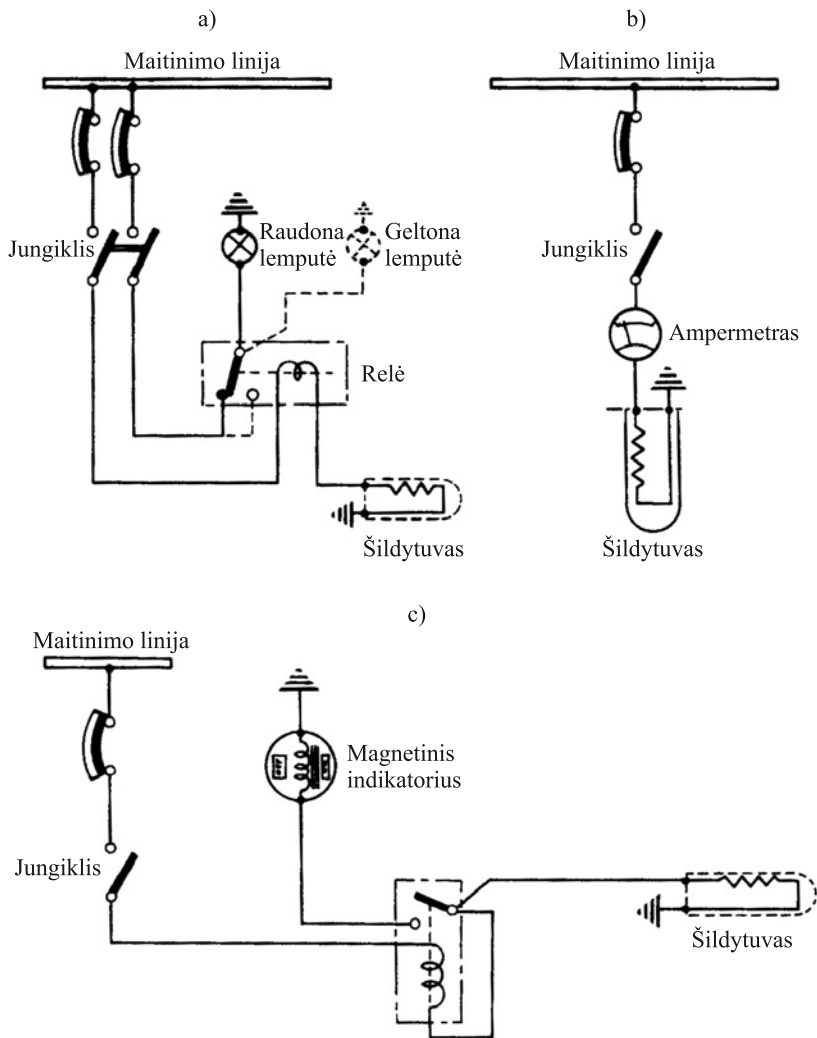


3.45 pav. Statinio orinio slėgio imtuvo konstrukcija:

- 1 – tarpas tarp briaunų; 2 – liemens apsiuva; 3 – sandarinimo apkaba;
- 4 – statinio orinio slėgio imtuvo plokštė; 5 – statinio slėgio priėmimo angos;
- 6 – temperatūros ir drėgnumo indeksas; 7 – jungės kyšulys

Statinio slėgio priėmimo angos daromos tose liemens dalyse, kur yra mažiausi oro sūkurių. Todėl tokie imtuvai statomi toliau nuo orlaivio priekio, lygioje liemens dalyje, simetriškai abiejose orlaivio pusėse. Simetriškas statinio orinio slėgio imtuvų išdėstymas orlaivio liemens atžvilgiu leidžia sumažinti paklaidas orlaiviui darant posūkius, kai jam sukantis išorinėje pusėje slėgis šiek tiek didėja, o vidinėje mažėja. Sujungus simetriškai išdėstytus statinio orinio slėgio imtuvus su viena statinio slėgio magistrale, slėgio vidurkis joje orlaivio posūkių metu išlieka pastovus ir lygus statiniam oriniam slėgiui.

Tipinė šildytuvų valdymo schema parodyta 3.46 pav. Schemoje (a) pavaizduotas šildytuvo prijungimas prie elektros maitinimo linijos ir atitinkamų šildymo signalizavimo elementų įjungimas (b) ir (c).



3.46 pav. Orinio slėgio imtuvo šildytuvo valdymo schema:
a – šildytuvo schema; kontrolės indikatorių prijungimo schemas –
b – ampermetro; c – magnetinio indikatoriaus

Schemoje (a) pavaizduotas įjungimo valdymas, kai sujungus jungiklio kontaktus nuo maitinimo linijos per šildytuvo spiralę pradeda

tekėti elektros srovė. Antrasis maitinimo šaltinio polius ir šildytuvo kaitinimo spiralės kontaktas yra įžeminti. Nuo šio momento šildytuvą pradeda veikti. Šildymą signalizuoja geltona signalinė lemputė, kurią įjungia relė, kai per nuosekliai sujungtos su šildytuvo spirale relės ritę pradeda tekėti elektros srovė. Lemputė maitinama atskiru laidu. Šildytuvui sugedus ar dėl kitos priežasties nutrūkus šildytuvo spiralės maitinimui, srovė per relės ritę nustoja tekėti. Tokiu atveju geltonoji lemputė gęsta ir užsidega raudonoji lemputė, pranešdama apie šildytuvo schemos gedimą. Panašiai gali būti naudojamas magnetinis indikatorius, leidžiantis taupyti elektros energiją (3.46 pav. c). Jei šildytuve numatytas šildymo intensyvumo keitimas, reguliuojant kaitinimo spiralės srovę, indikacijai tikslinga naudoti ampermetrą (3.46 pav. b).

3.4. Aukščiamatis

Aukštis matuojamas pagal vertikale tarp orlaivio ir atskaitos paviršiaus Žemėje. Atsižvelgiant į pasirinktą atskaitos paviršių skiriamas **absoliutusias (*QFE*)**, **tikrasis (*QNH*)**, **standartinis (*QNE*)** ir **santykinis** orlaivio skrydžio aukščiai (1.2 pav.).

Absoliutusias aukštis H atskaitomas nuo vietovės, virš kurios orlaivis yra tam tikru laiko momentu, tikrasis aukštis H_T – nuo jūros lygio, standartinis aukštis H_S – nuo standartizuoto atskaitos (standartinės atmosferos) lygio, santykinis aukštis – nuo kurios nors pasirinktos vietovės lygio, pavyzdžiui, nuo pakilimo arba tūpimo vietos.

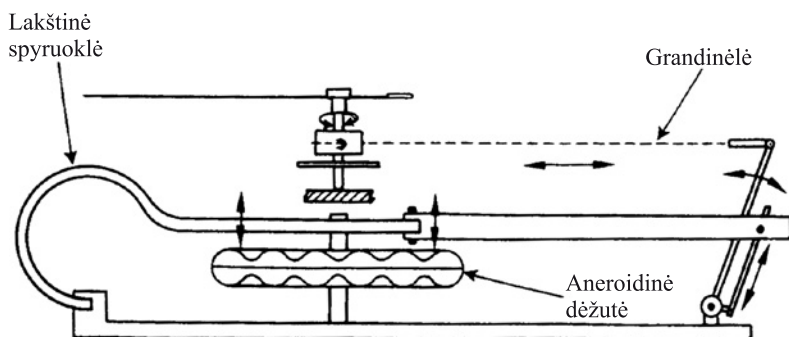
Standartinis aukštis vertinamas kylant, tupiant ir palaikant aukštį skrydžio metu; absoliutųjį aukštį reikia žinoti visuose orlaivio skrydžio etapuose. Esant orlaivio skrydžio aukščio stabilizacijos režimui, reikia turėti informacijos apie aukščio **nuokrypius** nuo pasirinktos reikšmės.

Absoliutųjį skrydžio aukštį nuo Žemės paviršiaus vietos, virš kurios skrenda orlaivis, galima matuoti radijo aukščiamočiais. Tikrasis ir standartinis orlaivio aukščiai matuojami barometriniais aukščiamočiais.

Mechaniniai aukščiamočiai. Paprasčiausiai orlaivio aukštį (žr. 3.1 poskyrį) galima nustatyti aneroidiniu barometru, kurio princi-

pinė schema pateikta 3.47 pav. Pagrindinis barometro elementas yra aneroidinė dėžutė, kurios deformacijos, kintant slėgiui, rodo aukščio indikacijos rodyklę – tam naudojamas paprastas jungiamasis mechanizmas.

Kiekviename orlaivyje esantys mechaniniai aukščiamatai sudaryti analogišku principu. Pagrindiniai mechaninio aukščiamatų mazgai yra: aneroidinė dėžutė – JE ir krumpliartinė pavara – PDM. Hermetizuotas aukščiamatų korpusas sujungiamas su statinio atmosferinio slėgio jutikliu.

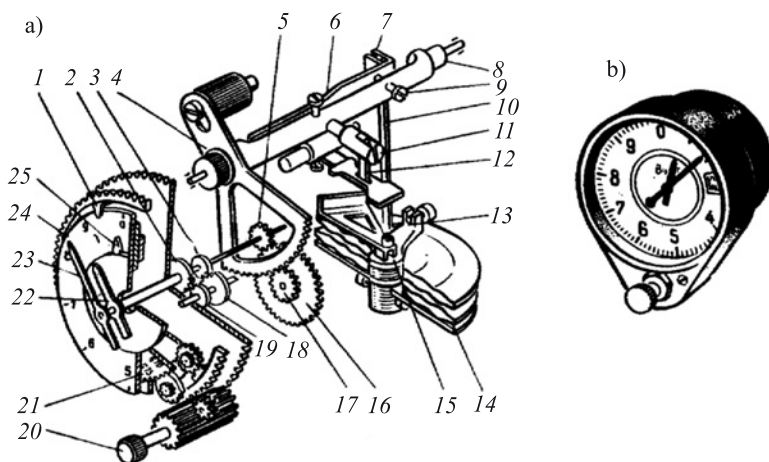


3.47 pav. Aneroidinio barometro schema

Kintant statiniam slėgiui, JE standžiojo centro poslinkis per PDM perduodamas prietaiso rodykliui. Tiesinė rodyklės rodmenų ir matuojamojo aukščio priklausomybė pasiekama naudojant aneroidines dėžutes, turinčias logaritminę slėgio charakteristiką, sudaromą profiliuojant membranas. Tokie barometriniai aukščiamatai matuoja orlaivio skrydžio aukštį nuo – 300 m iki 15 km ar net daugiau (nuo 1 000 iki 50 000 pėdų).

3.48 pav. pateikta tokio tipo aukščiamatų kinetinė schema. Deformuojantis aneroidinėms dėžutėms 14, jų standžiojo centro 15 poslinkis per bimetalinį pirmosios eilės termokompensatorių 13, traukę 10, šakutę 7 ir bimetalinį antrosios eilės termokompensatorių 6 perduodamas ašiai 8 su krumpliaračio sektoriumi 4. Šis sektorius 4 pasisuka ir jo sukamasis judesys krumpliaračiais 17, 16, 5 perduo-

damas daug kartų apsisukančiai rodyklei 23, kuri rodo aukštį skalėje 24 metrais. Rodyklė 22 rodo aukštį pagal vidinę skalę kilometrais. Ji pritvirtinta ant tuščiaavidurės dantračio 2, sujungto su tribu 5 per žeminančiąją pavarą (krumpliaračiai 2, 10, 18, 3), ašies.



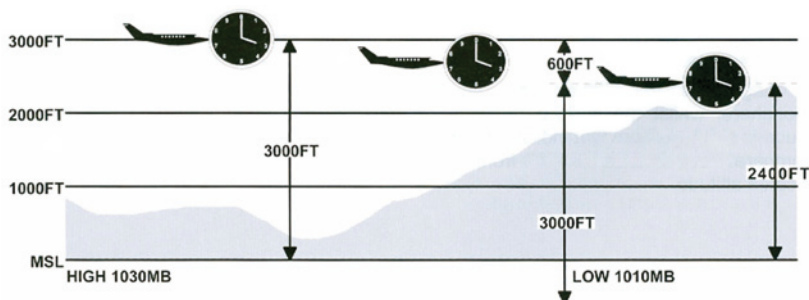
3.48. pav. Mechaninio aukščiamačio kinetinė schema (a) ir rodytuvas (b)

Krumpliaračių pavaros perdavimo santykis gali būti įvairus – tai priklauso nuo matuojamojo aukščio diapazono. Esant diapazonui iki 10 000 m perdavimas vyksta 1:10, o aukščiams iki 20 000 m – 1:20. Paslankus balansavimo elementas 11 su trauke 12 ir priesvoris ant sektoriaus 4 skirti judančiosioms dalimis balansuoti, atsirandant pagreičiams skrydžio metu. Krumpliaračių pavarų laisvumas sureguliuojamas tempiančiomis spyruoklėmis (3.49 pav. neparodyta). Atraminis varžtas 9 reikalingas temperatūros pokyčių kompensatoriaus 6 efektyviam ilgiui reguliuoti. Tam, kad prietaiso rodyklės grįžtų į nulinę padėtį, kintant atmosferiniam slėgiui, aukščiamačio mechanizmas pasukamas. Tai atliekama dantstiebiu 20. Sukant dantstiebį, pasukama barometrinio slėgio skalė ir indeksai 1 bei 25, rodantys aukštį nuo lygio, kuriame slėgis yra 760 mm Hg stulpelio. Indeksas 1 rodo aukštį metrais (pėdomis), indeksas 25 – kilometrais (tūkstančiais pėdų).

Prieš orlaiviui pakylant, aukščiamočio rodyklės dantstiebiu 20 nustatomos ties nuline padala. Tada barometrinėje skalėje 21 nurodomas slėgis, esantis aerodrome tam tikru momentu. Matuojant aukštį tūpimo vietos atžvilgiu, dantstiebiu 20 nustatomas tūpimo vietos barometrinis slėgis skalėje 21.

Aukščiamčiai suteikia informacijos ne tik apie orlaivio aukštį. Jį stebint, galima nustatyti orlaivio polinkį, palaikantį reikiamą skrydžio aukštį. Skrendant maršrutu ir tupiant, aukščiamatis yra vienas reikalingiausių prietaisų.

Anksčiau pateiktos barometrinio metodu aukščio nustatymo formulės pagrįstos tuo, kad tarp aukščio ir atmosferos parametrų egzistuoja standartinei atmosferai būdingos priklausomybės. Tačiau realios atmosferos parametrai (slėgis ir temperatūra) dažnai skiriasi nuo standartinės atmosferos duomenų. Todėl pilotai dažnai naudoja santykinį aukštį pagal oro tankį, t. y. nuo lygio, kuriame yra temperatūra kitokia nei +15 °C. Šis aukštis geriausiai atspindi orlaivio padėtį jam įsibėgėjant, kylant ir tupiant. Kai oro sąlygos standartinės, pagal oro tankį nustatomas aukštis atitinka standartinį. Kai temperatūra žemesnė už standartinę, aukščio pagal tankį reikšmė mažesnė, o kai aukštesnė – didesnė.



3.49 pav. Aukščiamatčių metodinės paklaidos kintant slėgiui

Realųjų oro sąlygų nuokrypiai nuo standartinės atmosferos parametrų lemia *metodines matavimų paklaidas*. Reikėtų skirti metodines

paklaidas, atsirandančias dėl atmosferos parametrų *neatitikimo* standartui ir paklaidas dėl *pasikeitusio vietos reljefo*. Paklaidos dėl atmosferos parametrų neatitikties standartui gali būti dalijamos į paklaidas dėl *slėgio* pokyčių prie Žemės paviršiaus ir paklaidas dėl standartinio pasiskirstymo pagal aukštį *temperatūros* pokyčių.

Dėl vietos reljefo pokyčių atsirandančioms metodinėms paklaidoms kompensuoti dažnai naudojami specialūs geografiniai žemėlapiai arba žinios perduodamos radiju. Taip įvedamos metodinės aukščiamojo pataisos.

Metodinė paklaida ΔH_P , atsirandanti dėl slėgio P_0 pakitimų ΔP prie Žemės paviršiaus (3.51 pav.), gali būti įvertinta pagal (3.5) formulę, imant $T_V = \text{const}$. P Aukščiamojo pataisa lygi:

$$\Delta H_P = H - H_{pr} = \frac{R_s T_v}{g_0} \ln \left(1 + \frac{\Delta P}{P} \right), \quad (3.30)$$

čia H ir H_{pr} – faktinis aukštis ir prietaisu nustatomas aukštis.

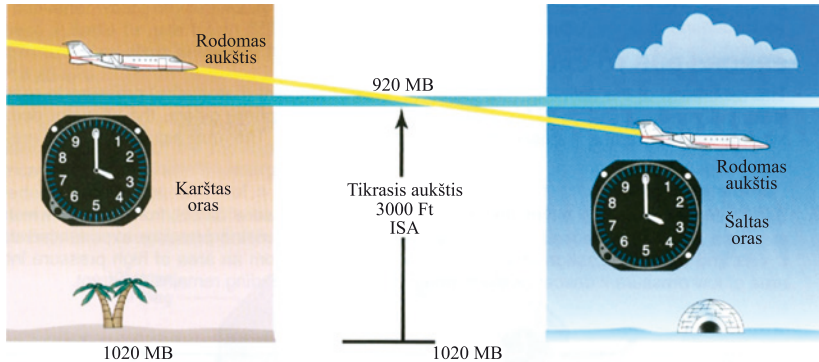
Iš (3.30) formulės matyti, kad pataisa ΔH_P nepriklauso nuo slėgio skrydžio aukštyje ir vienoda visiems aukščio diapazonams. Ji įvedama į prietaiso rodmenis, pasukant skalių atžvilgiu dantstiebiu rodykles.

Metodinė *temperatūrinė* paklaida ΔH_T , kintant oro temperatūrai pagal aukštį (3.50 pav.), gali būti nustatyta analogiškai iš (3.5) formulės, kai $P_0 = \text{const}$ ir temperatūra kinta nuo apskaičiuotosios reikšmės T_V iki faktinės reikšmės T_{vf} :

$$\Delta H_T = H_{pr} - H = \frac{R_s}{g_0} \ln \frac{P_0}{P} (T_v - T_{vf}). \quad (3.31)$$

$$\text{Padalijus reikšmes } H_{pr} \text{ ir } H, \text{ gaunama: } H = H_{pr} \frac{T_f}{T_v}. \quad (3.32)$$

Iš (3.30) formulės matyti, kad, norint nustatyti aukštį H , prietaiso rodmenis H_{pr} reikia padauginti iš santykio $\frac{T_{vf}}{T_v}$. Temperatūrą aukštyje H galima išmatuoti skrydžio metu, o duomenis apie temperatūrą prie Žemės galima sužinoti per radiją.



3.50 pav. Aukščiamačių temperatūrinės metodinės paklaidos

Mechaninių aukščiamačių vadinamosios *prietaiso* paklaidos yra tos pačios kilmės ir kompensuojamos analogiškai kaip ir deformaciniuose manometruose. Didžiausią įtaką turi temperatūrinės paklaidos. Tai atsiranda dėl to, kad temperatūrinis aukščiamačių darbo diapazonas yra nuo -60 iki $+60$ °C, o aukščiamačiai sugraduojami normalioje temperatūroje.

Didžiausią įtaką prietaiso rodmenims turi aneroidinių dėžučių medžiagos stangrumo modulio pokyčiai, kintant temperatūrai. Pasikeitus temperatūrai dydžiu ΔT , temperatūrinė paklaida sudaro:

$$\Delta P_T = -\beta_E P \Delta T, \quad (3.33)$$

čia β_E – stangrumo modulio temperatūrinis koeficientas.

Jeigu paklaidą ΔP_T išreikštume per temperatūrinę paklaidą $\Delta H\beta$ aukščio vienetais, galėtume gauti išraišką:

$$\Delta P_T = \Delta H\beta \zeta_H, \quad (3.34)$$

čia $\zeta_H = \frac{dP}{dH}$ – barometrinis gradientas.

Aukščiams $0 \leq H \leq 11\,000$ m:

$$\zeta_H = \frac{P_0 g_0}{R_s T_0} \left(1 - \frac{\tau_a H}{T_0} \right)^{\frac{g_0}{\tau_a R_s} - 1}. \quad (3.35)$$

Spręsdami (3.25–3.27) lygtis kartu, gauname:

$$\Delta H_{\beta} = A\Delta T - B H \Delta T, \quad (3.36)$$

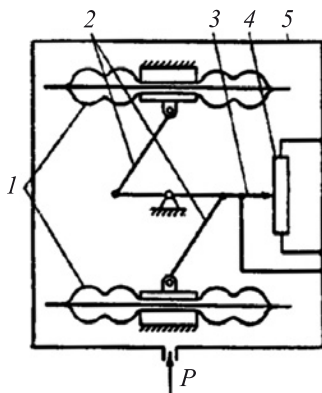
čia $A = \beta_E \frac{R_s T_0}{g_0}$; $B = \beta_E \frac{R_s \tau_a}{g_0}$.

Iš išraiškos (3.36) matyti, kad instrumentinė temperatūrinė paklaida susideda iš dviejų komponentų. Viena iš jų nepriklauso nuo aukščio (vienoda visai skalei), o antroji yra proporcinga aukščiui ir priešinga pagal dėsnį pirmajai komponentei.

Vadinamosios *prietaiso* paklaidos dėl temperatūros pokyčių kompensuojamos naudojant pirmosios ir antrosios eilės termokompensatorius. Pirmosios eilės termokompensatorius kompensuoja paklaidos komponentę $A\Delta T$, o antrosios eilės termokompensatorius – antrąją komponentę $B\Delta T$.

Prie vadinamųjų *prietaiso* mechaninių aukščiamųjų paklaidų dar priskiriamos paklaidos dėl statinio slėgio pokyčių imtuve (dėl orlaivio aerodinamikos, skrydžio aukščio ir greičio bei imtuvo vietos). Šios paklaidos nustatomos eksperimentiškai, atliekant orlaivio bandymus, ir vertinamos nustatant sumines aukščiamųjų pataisas.

Elektromechaninių aukščiamųjų sudarymo principai. Šiuose aukščiamajiuose proporcingas aukščiui slėgis keičiamas į elektrinį signalą. Tai daroma jungiant prie PDM išėjimo rodiklio vietoje reostato (kintamosios varžos) šliaužiklį. Tokie aukščiamieji gali turėti tiesioginę rodiklį ir elektrinį išėjimą per keitiklį (slėgis–įtampa). Paprasčiausias yra *potenciometrinis* aukščio keitiklis (3.51 pav.), kurio išėjimo signalas proporcingas santykinei varžai, lygiai varžos potenciometro išėjime ir jo pilnutinės varžos santykiui ($P \rightarrow U \rightarrow \frac{R_1}{R_p}$).

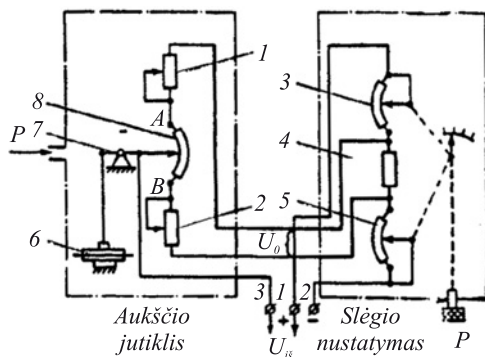


3.51 pav. Potenciometrinis aukščio keitiklis

Šiame keitiklyje naudojamos priešingai sujungtos aneroidinės dėžutės *1* yra hermetiškame korpuse *5*. Priešingas aneroidinių dėžučių sujungimas kompensuoja linijinių ir vibracinių perkrovų įtaką keitikliui. Kintant aukščiui, aneroidinių dėžučių *1* standžiųjų centrų poslinkiai per alkūnines pavaras *2* keičiami į potenciometro *4* šliaužiklio *3* kampinį poslinkį. Prietaise nenumatoma galimybė įvesti barometrinį slėgį Žemės paviršiuje.

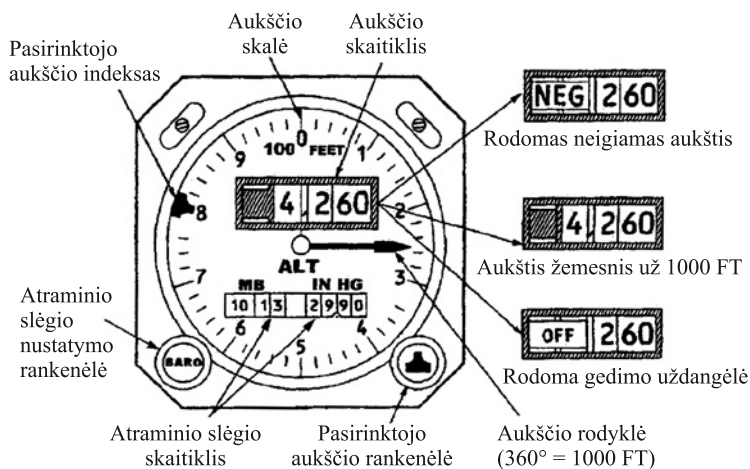
3.52 pav. pateikta principinė elektrinė **barometrinio** aukščio keitiklio schema, numatant galimybę tam tikru jutikliu nustatyti slėgį Žemės paviršiuje.

Slėgis *P* jaučiamas aneroidine dėžute *6* ir perduodamas PDM *7* potenciometro *8* šliaužikliui. Žemės paviršiaus lygio barometrinio slėgio reikšmė įvedama iš slėgio jutiklio nuotoliniu būdu, pasukant rankenėlę skalės centre arba tiesiogiai dantstiebiu. Reostatų *3*, *5* varžos leidžia keisti taškų *A* ir *B* elektrinius potencialus lygiais dydžiais, nekeičiant įtampos kritimo U_0 ant šunto *4* varžos. Taip įvedama matuojamojo skrydžio aukščio pataisa, pagal kintantį prie Žemės paviršiaus slėgį P_0 . Keitiklio išėjimo signalas, proporcingas skrydžio aukščiui, nuimamas nuo kontaktų *1*, *3*. Potenciometrai *1*, *2* naudojami reguliavimui. Potenciometriniai skrydžio aukščio keitikliai gali būti pritaikyti fiksuotajam aukščio lygiui signalizuoti.



3.52 pav. Potenciometrinis aukščio keitiklis su Žemės paviršiaus slėgio jutikliu

Elektromechaninio aukščiamočio, turinčio vizualų ir elektrinį išėjimus, indikatorius pateiktas 3.53 pav.



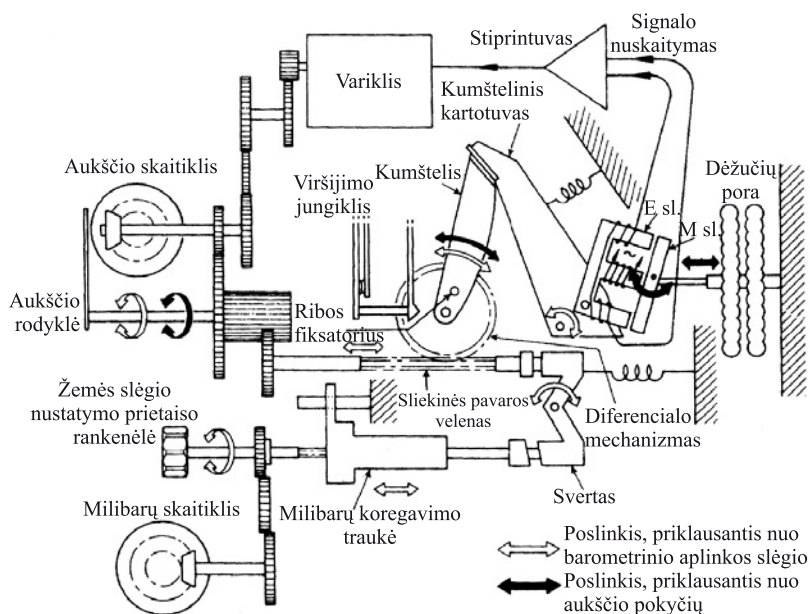
3.53 pav. Elektromechaninio aukščiamočio rodiklis

Aukščio korektoriai. Kad būtų garantuojamas skrydžių saugumas, kiekvienam orlaiviui skrydžio metu nurodomas aukščio intervalas (ešelonas), atskaitomas Žemės paviršiaus slėgio $P_0 = 760$ mm Hg stulpelio atžvilgiu. Dviejų priešingomis kryptimis skrendančių orlaivių aukščio ešelonai parenkami įvertinant reglamentuojamą mi-

nimalųjį saugumo zonos plotį, abiejų orlaivių aukščiams paklaidas, dvigubą aerodinaminę paklaidą, imant statinį slėgį oriniais slėgio imtuvais, ir dvigubą nurodyto aukščio stabilizavimo paklaidą.

Signalai, proporcingi orlaivio nukrypimui nuo nurodyto aukščio, gaunami prietaisais, vadinamaisiais **aukščio korektoriais**. Šių aukščio korektorių naudojimo schemas numato iš aukščio korektoriaus gaunamų signalus panaudoti į autopilotų sudėtį įeinančiose orlaivio aukščio stabilizavimo sistemose. Aviacijoje naudojami aukščio korektoriai (AK) ir aukščio korekcijos jutikliai (KAD).

Panagrinėsime aukščio korektoriaus AK veikimo principą pagal pateiktą (3.54 pav.) funkcinę schemą.



3.54 pav. Tipinė aukščio korektoriaus funkcinė schema

Kintant aukščiui, aneroidinių dėžučių standžiųjų centrų poslinkiai per PDM perduodami posūkio kampo ϕ_1 pavidalu į induktyvinio keitiklio judamąją antrinę apviją. Pirminė induktyvinio keitiklio *IK* apviją, padedama variklio ir reduktorių I ir II, pasisuka antrinės ap-

vijos atžvilgiu. Orlaiviui nukrypus nuo nurodyto aukščio H dydžiu ΔH , signalas ΔU , proporcingas šiam nuokrypiui, su faze, atitinkančia nuokrypio ženklą, patenka į stiprintuvo įėjimą. Iš stiprintuvo valdantysis signalas U_{vald} sklinda į valdančiąsias elektrinio variklio apvijas. Variklis per du reduktorius ϕ_2 kampu pasuka indukcinio keitiklio pirminę apviją iki subalansavimo kampo (t. y. lygybės $\phi_1 = \phi_2$).

3.5. Orinio greičio indikatoriaus

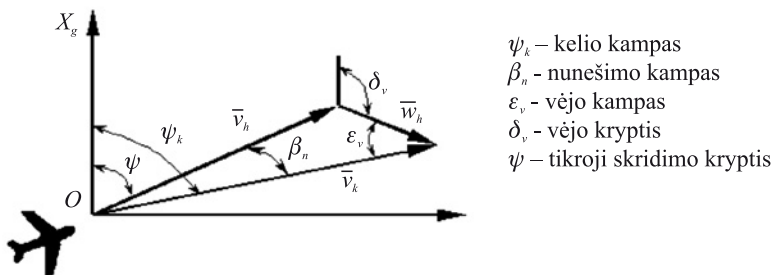
Orlaivio skrydį apibūdina *indikatorinis* (prietaiso) V_i (**IAS**), *kalibruotasis* V_c (**CAS**), (**EAS**) *tikrasis* V (**TAS**), *kelio* V_k ir *vertikalusis* V_v greičiai. Pilotuojant orlaivį reikia žinoti visus šiuos greičius.

Indikatorinis (prietaiso) orinis greitis V_i (**Indicated air speed**) atitinka dinaminio slėgio dydį, nuo kurio reikšmės priklauso aerodinaminės jėgos, veikiančios orlaivį, jo stabilumo bei valdymo charakteristikos, minimalus saugaus skrydžio greitis. Stebimojo greičio reikšmių laikomasi automatizuotai valdant skrydžio greitį, parenkant optimalias skrydžio ir variklių veikimo charakteristikas.

Kalibruotasis orinis greitis V_c (**Calibrated air speed**) – tai indikatorinis oro greitis, patikslintas įvertinus konkretaus orlaivio statinio slėgio matavimo paklaidas, kurios priklauso nuo statinio slėgio imtuvų vietos orlaivio paviršiuje ir oro srauto aptekėjimo savybių toje vietoje.

Tikrasis orinis greitis V (**True air speed**) yra orlaivio greitis supančio oro atžvilgiu. Jis taikomas įveiktam keliui arba iki skrydžio tikslo likusiam keliui apskaičiuoti, kai žinomi vėjo parametrai, arba vėjo parametrams apskaičiuoti, žinant kelio greitį V_k , optimalioms kilimo charakteristikoms pasirinkti bei automatinio orlaivio valdymo sistemoms reguliuoti visais skrydžio etapais. Matuojant tikrąjį oro greitį, įvertinamas ne tik oro pasipriešinimas, bet ir jo tankis bei temperatūra.

Kelio greitis $\vec{V}_k$ (**Ground speed**) atitinka orlaivio masių centro, suprojektuojamo taško pavidalą į horizontalųjį Žemės paviršių, judėjimo greitį šiame paviršiuje. Kelio greitis $\vec{V}_k$ lygus tikrojo oro greičio $\vec{V}_h$ ir vėjo greičio $\vec{W}_h$ horizontaliųjų dėmenų geometrinei sumai: $\vec{V}_k = \vec{V}_h + \vec{W}_h$. Vektoriai $\vec{V}_k, \vec{V}_h, \vec{W}_h$ sudaro *navigacinį greičių trikampį* (3.55 pav.).



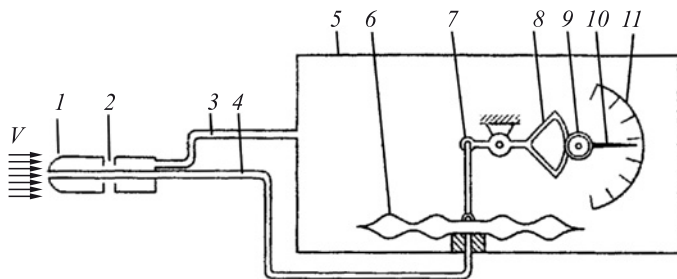
3.55 pav. Navigacinis greičių trikampis:

ψ_k – kelio kampas; β_n – nunešimo (nuonašos) kampas; ϵ_v – vėjo kampas;
 δ_v – vėjo kryptis; ψ – tikroji skrydžio kryptis

Tikrasis oro greitis yra vektorinis dydis, nustatomas pagal vektoriaus modulį ir jo kryptį. Su orlaiviu susijusioje koordinatinių sistemoje $OXYZ$ vektoriaus $\vec{V}$ kryptis nustatoma pagal **atakos** α kampą ir **nuonašos** (slydimo) kampą β . Informaciją apie atakos ir slydimo kampus naudoja įvairūs „borto vartotojai“.

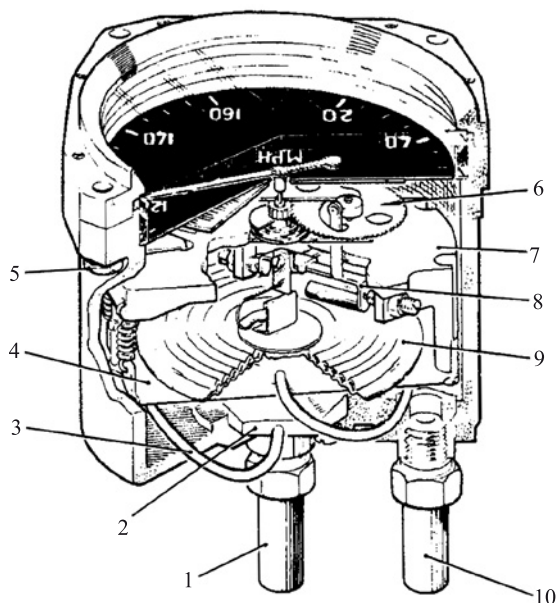
Bedimensė orlaivio skrydžio greičio charakteristika yra **skaičius M (Macho skaičius)**. Skaičiaus M reikšmę žinoti būtina, nes artėjant prie garso greičio ($M \geq 0,7$) keičiasi orlaivio sparno aptakumo pobūdis ir nuo šio skaičiaus M ima priklausyti orlaivio aerodinaminės charakteristikos. Taigi optimaliam orlaivio pilotavimo režimui palaikyti reikia žinoti skaičių M .

Kad išmatuotume **indikatorinį** oro greitį V_i , reikia nustatyti slėgių P_p ir P skirtumą, lygų P_{din} . Pilnutinį slėgį P_p priima pilnutinio slėgio imtuvus I (3.56 pav.)



3.56 pav. Principinė greičio indikatoriaus (GR tipo) schema

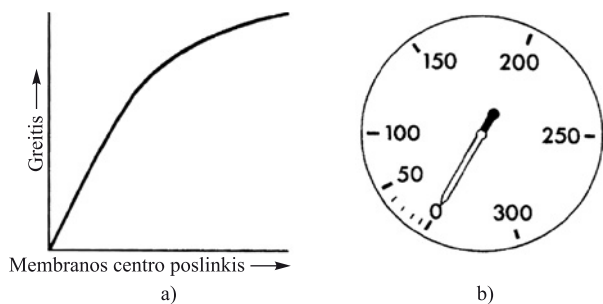
Pro pneumatinį vamzdį 4 šis slėgis perduodamas į membrani-
nę dėžutę 6. Statinį slėgį P priima statinio slėgio imtuvas 2 ir pneu-
matiniu vamzdžiu 3 perduoda į matuoklio korpusą 5. Membraninės
dėžutės standžiojo centro poslinkis per PDM, sudarytą iš alkūninio
mechanizmo 7 ir krumpliaračių pavaros 8, 9, perduodamas indikato-
riaus skalės 11 rodyklei 10 (arba elektrinio keitiklio JE). Paprasto oro
greičio indikatoriaus konstrukcija pateikta 3.57 pav.



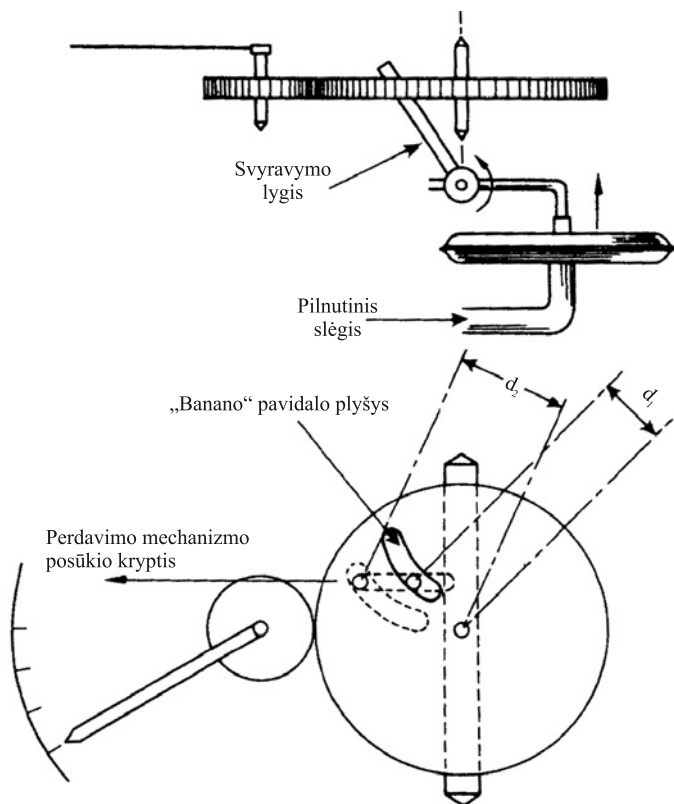
3.57 pav. Oro greičio indikatoriaus konstrukcija:

- 1 – pilnutinio slėgio jungtis; 2 – pilnutinio slėgio atvamzdis;
- 3 – pneumatinis vamzdelis; 4 – membrinės dėžutės pagrindas;
- 5 – veržlė; 6 – rodyklės posūkio mechanizmas; 7 – rėmas; 8 – sukimo ašies mechanizmas; 9 – membrinė dėžutė; 10 – statinio slėgio poslinkis

Kadangi, kaip matyti iš indikatorinio oro greičio (3.17) formu-
lės, greičio priklausomybė nuo dinaminio slėgio pokyčių yra kvadra-
tinė, t. y. dinaminį slėgį, jam tolygiai kintant, atitinkančios oro greičio
reikšmės keisis pagal logaritminį (atvirkščią kvadratiniam) dėsnį, tai
ir orinio greičio indikatoriaus skalė turi būti logaritminė 3.58 pav.



3.58 pav. Oro greičio kitimas „tiesiniame“ indikatoriuje (a) ir jo skalės pavidalas (b)



3.59 pav. Indikatoriaus rodmenų skalės kreivumo kompensavimo mechanizmas

Indikatoriaus matavimų skalei **linearizuoti** naudojami funkciniai jungiamieji mechanizmai, aprašyti 3.2 poskyriuje. Pavyzdžiui, 3.59 pav. parodytas gana paprastas indikatoriaus rodyklės tolydaus valdymo mechanizmas.

Indikatorinio oro greičio V_i matavimo vadinamosios **prietaiso paklaidos** ir anksčiau nagrinėtos aukščiausių paklaidos analogiškos. Didžiausią įtaką matavimų rezultatams turi paklaidos dėl trinties ir temperatūros poveikio.

Slėgio vienetais paklaida dėl trinties yra lygi:

$$\Delta P_{din.tr.} = \frac{F_{red.tr.}}{S_{ef}}, \quad (3.37)$$

čia S_{ef} – efektyvusis JE plotas; $F_{red.tr.}$ – redukuotoji trinties jėga.

Greičio vienetais ši paklaida:

$$\Delta V_{i.tr.} = \frac{F_{red.tr.}}{S_{ef} \rho_0 V_i}. \quad (3.38)$$

Siekiant sumažinti trinties paklaidas, tikslinga naudoti membraines dėžutes, kurių slėgio charakteristikos netiesinės, ir PDM, kurio perdavimo santykis pastovus. Jei naudojami JE, kurių gofro profilis toks, kad standžiojo centro poslinkis tiesiog proporcingas greičio V_i kitimui ir PDM, kurių perdavimo santykis pastovus – gaunama tiesinė skalės lygtis $\alpha = f(V_i)$.

Temperatūrinė prietaiso paklaida $\Delta P_{din.t}$ paaiškinama membrani-
nio JE stangrumo modulio temperatūrinės priklausomybės įtaka.

Slėgio vienetais ši paklaida:

$$\Delta P_{din.t} = -P_{din.} \beta_E \Delta T, \quad (3.39)$$

čia β_E – temperatūrinis stangrumo modulio koeficientas; ΔT – oro aplinkos temperatūros kitimas.

Greičio vienetais paklaida:

$$\Delta V_{it} = -\frac{1}{2} \beta_E V_i \Delta T. \quad (3.40)$$

Santykinė temperatūrinė paklaida nepriklauso nuo greičio, t. y.:

$$\frac{\Delta V_i}{V_i} = -\frac{1}{2} \beta_E \Delta T. \quad (3.41)$$

Šios paklaidos sumažėja, taikant bimetalinius terminius kompensatorius.

Kartais indikatorinio greičio matavimo prietaisais matuojamas skrydžio tikrasis oro greitis V . Tai atliekant, gali atsirasti metodinių paklaidų, nes V_i matavimo prietaisas graduojamas normaliomis sąlygomis. Keičiantis skrydžio aukščiui šios sąlygos keičiasi. Siekiant nustatyti tikrojo oro greičio V reikšmes, būtina matavimo rezultatus tikslinti pagal *oro tankio ir spūdumo* pokyčius.

3.6. Tikrojo oro greičio ir *Macho* skaičiaus nustatymas

Pagal (3.15) lygtį nustatomas *tikrojo oro* greičio dydis:

$$V = \sqrt{2R_s T \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[\left(\frac{P_m}{p} + 1 \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}, \quad (3.42)$$

čia R_s – santykinė dujų pastovioji (esamoji reikšmė); P_m – arba P_{din} , arba P_p .

Kadangi skrydžio aukštyje netrikdytos aplinkos temperatūrą T išmatuoti sunku, nustatoma sustabdytojo oro srauto temperatūra T_T . Šių temperatūrų ryšį nusako tokia priklausomybė:

$$T_T = \left(\frac{k-1}{k} \right) \frac{v^2}{2R_s} + T. \quad (3.43)$$

Išvertinus šią priklausomybę

$$V = \sqrt{2R_s \frac{k}{k-1} T_T \left[1 - \left(\frac{P_{din}}{p} + 1 \right)^{\frac{1-k}{k}} \right]}. \quad (3.44)$$

Kadangi garso greitis $a = \sqrt{kR_s T}$, taikant (3.42) išraišką, gaunama:

$$M = \frac{V}{a} = \sqrt{\frac{2}{k-1} \left[\left(\frac{P_{din}}{p} + 1 \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}. \quad (3.45)$$

Kai $M > 1$, dalis dinaminio slėgio energijos sunaudojama susidarant smūginėms bangoms. Vertinant šį reiškinį dydis P_{din} nustatomas pagal (3.16) formulę:

$$P_{din} = P \left\{ \left[\frac{(k+1)}{k} M^2 \right]^{\frac{k}{k-1}} \left[\frac{k+1}{2kM^2 - (k-1)} \right]^{\frac{1}{k-1}} - 1 \right\}. \quad (3.46)$$

Iš pateiktų formulių matyti:

- norint nustatyti tikrąjį oro skrydžio greitį V , reikia išmatuoti slėgius P_{din} ir P bei temperatūrą T skrydžio aukštyje;
- skaičiui M rasti reikia išmatuoti tik slėgius P_{din} ir P .

Tikrojo oro greičio matuokliai. Jie skiriasi nuo indikatorinio greičio V_i matavimo prietaisų tuo, kad juose yra kompensavimo mazgas, įvedantis *pataisas pagal temperatūros ir statinio slėgio pokyčius skrydžio aukštyje*. Tai atliekama, keičiant perdavimo koeficientą tarp indikatorinio greičio ir tikrojo oro greičio ašių. Statiniam slėgiui matuoti naudojama aneroidinė dėžutė, o temperatūrai matuoti galima naudoti termometrą.

Mechaniniuose tikrojo oro greičio indikatoriuose temperatūros kitimo pataisos įvedamos ne tiesiogiai, o pagal oro statinio slėgio ir temperatūros tarpusavio ryšio funkciją, kuri nustatoma iš (3.11) išraiškos, taikomos nespūdziajai oro aplinkai, atsižvelgiant į dujų būsenos lygtį $\rho = \frac{P}{R_s T}$:

$$V = \sqrt{\frac{2R_s T P_{din}}{P}}. \quad (3.47)$$

Oro temperatūros orlaivio išorėje reikšmė T apskaičiuojama pagal priklausomybę $T = T_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{0,2}$,

čia T_0, P_0 – standartinės atmosferos žemės paviršiuje parametrai.

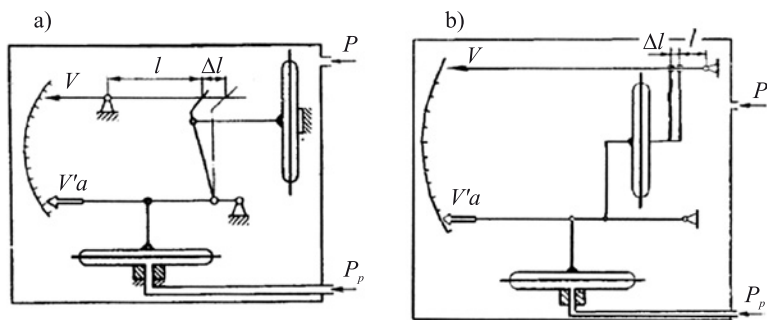
Atsižvelgiant į šią išraišką (3.47), formulė tampa:

$$V = P_0^{-0,1} \sqrt{2R_s T_0} \frac{P_{din}^{0,5}}{P^{0,4}}. \quad (3.48)$$

Iš (3.48) formulės matyti, kad norint išmatuoti greitį V , užtenka išmatuoti slėgius P_{din} ir P . Tačiau manometrinės dėžutės jautrumo charakteristika turi būti proporcinga dydžiui $P_{din}^{0,5}$, o aneroidinės dėžutės – dydžiui $P^{0,4}$. Toks temperatūros vertinimo būdas nėra absoliučiai tikslus, nes numatomas temperatūros ir slėgio kitimas vyksta pagal standartinės atmosferos modelį.

Greičio V matavimo prietaisai, *pagrįsti netiesiogine* temperatūrinės kompensacijos schema, **vadinami kombinuotaisiais** greičio indikatoriais (3.60 pav.). Šie greičių indikatoriai taip vadinami todėl, kad juose greičių V_i ir V indikatorius yra vienas (sutapdintasis), o rodmenis žymi skirtingos rodyklės. Pagal plačiąją rodyklę atskaitomas greitis V_i , o pagal siaurąją – greitis V .

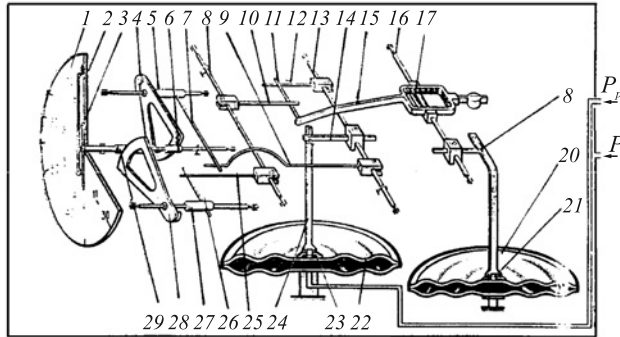
Konstrukcijos atžvilgiu šie prietaisai skiriasi pagal nuo aukščio slėgio ir temperatūros priklausančių pataisų įvedimo mazgo sandarą. Paprastai jis turi nejudamąją (3.60 pav. a) arba judamąją (3.60 pav. b) aneroidinę dėžutę. Aneroidinės dėžutės deformacijų perdavimo santykis kinta, keičiant PDM peties ilgį l dydžiu Δl .



3.60 pav. Kombinuotųjų greičio indikatorių principinės schemas:
a – su nejudamąja; b – su judamąja aneroidine dėžute

Kombinuotojo greičio indikatoriaus, turinčio nejudamąją aneroidinę dėžutę, kinetinė schema pateikta 3.61 pav. Šiame prietaise tikrasis oro greitis apsaichiuojamas pagal rodyklės 3, o indikatorinis grei-

tis – pagal rodyklės 2 rodmenis. Didėjant greičiui, aneroidinės dėžutės 22 standusis centras 23 pasislenka ir per traukę 24, alkūnę 14, ašį 13 ir pavadėlius 9, 7 veikia ašį 5. Ant ašies 5 pritvirtintas krumpliaračio sektorius 4 pasuka tribą 6 su rodykle 2.

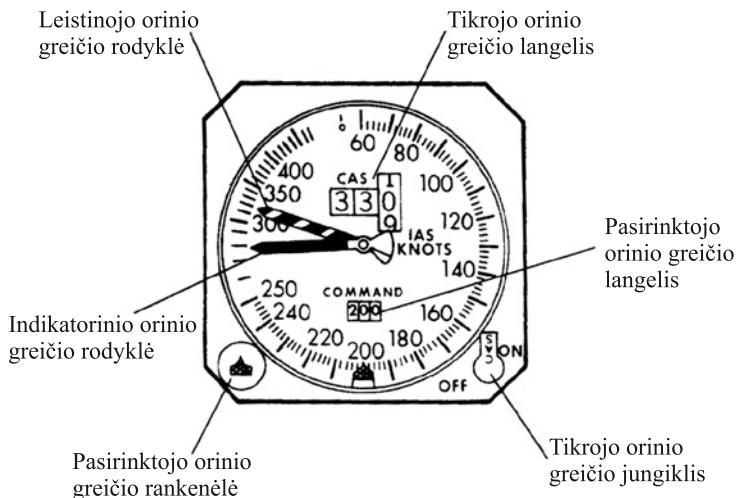


3.61 pav. Kombinuotojo greičio indikatoriaus kinetinė schema

Kintant skrydžio aukščiui deformuojasi ir aneroidinė dėžutė 20. Jos standžiojo centro 21 poslinkis per traukę 19 ir alkūnę 18 transformuojasi į ašies 16 sukamąjį judesį. Per šakutę 17 šis sukamasis judesys perduodamas traukei 15 su pavadėliu 11, kuriuo keičiami pavadėlių 10, 12 pečių ilgiai, taigi PDM perdavimo santykis. Pavadėliais 10–12 ašies 13 sukamasis judesys perduodamas ašiai 8. Savo ruožtu ašies 8 sukimasis per pavadėlius 25 ir 26 perduodamas ašiai 27 su sektoriumi 28. Sektorius 28 pasuka tribą 29 ir ašį, ant kurios pritvirtinta rodyklė 3. Ši rodyklė 3 rodo tikrąjį orinį greitį graduotoje skalėje. Ant rodyklės ir PDM ašių tvirtinamos juostinės spyruoklės, taip išvengiama mechanizmo laisvumo. Ašys subalansuojamos atsvarais. Visas mechanizmas yra korpuse, kurio išorėje įtaisyti du atvamzdžiai.

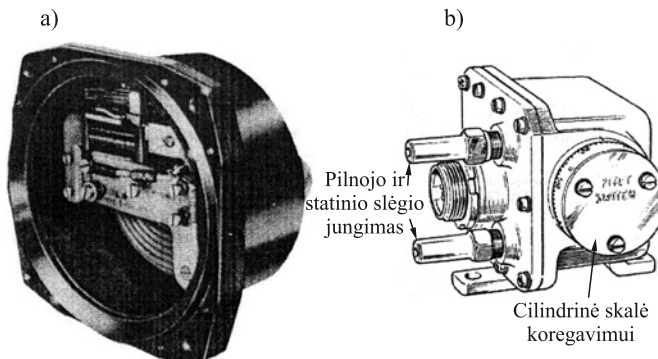
Greičio indikatorius matuoja orinį greitį nuo 50 iki 730 km/val. ir tikrąjį orinį greitį nuo 400 iki 1 100 km/val., kintant aukščiui nuo 0 iki 15 km. Kombinuotasis greičio indikatorius, sudarytas pagal 3.60 pav. b pateiktą principinę schemą, leidžia matuoti greitį V_i nuo 150 iki 1 200 km/val., o greitį V – nuo 400 iki 1 200 km/val., kintant aukščiui nuo 0 iki 15 km.

Kombinuotojo orinio greičio matavimo prietaiso, matuojančio indikatorinį ir tikrąjį orinius greičius, duomenų rodiklis pavaizduotas 3.62 pav.



3.62 pav. Indikatorinio ir tikrojo orinių greičių rodiklis

3.63 pav. pateikti tipiniai orinio greičio matavimo prietaisų komponavimo mazgai:



3.63 pav. Tipiniai skrydžio orinio greičio prietaisų mazgai:

a – mažų ir didelių greičių matavimo elementų junginys;

b – vienas bendrasis elementas

Skaičiaus M nustatymo prietaisai. Machometrai sudaromi pagal analogiškas elektrines ir kinetines schemas kaip ir tikrojo orinio greičio matavimo prietaisai, tik neįvertinant temperatūros T . Siekdami nustatyti skaičiaus M ir TOG matuoklių skirtumus, panagrinėsime skaičiaus M matuoklio principą, išreikštą apytikre aplinkos spūdumo neįvertinančia formule.

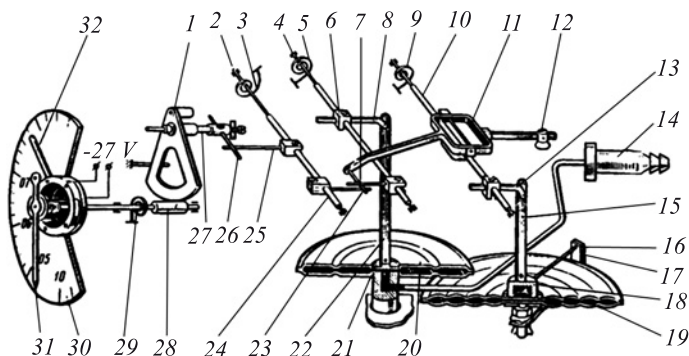
Atsižvelgiant į tai, kad $\rho = P/(R_s T)$, o nespūdziosios aplinkos $P_{din} = \rho V^2/2$, galima užrašyti, kad $V = \sqrt{2R_s T} \cdot (P_{din}^{0,5}/P^{0,5})$.

Padalijus abi šios išraiškos puses iš garso greičio $a = \sqrt{kR_s T}$ –

$$M = \sqrt{\frac{2}{k} \cdot \frac{P_{din}}{P}}. \quad (3.52)$$

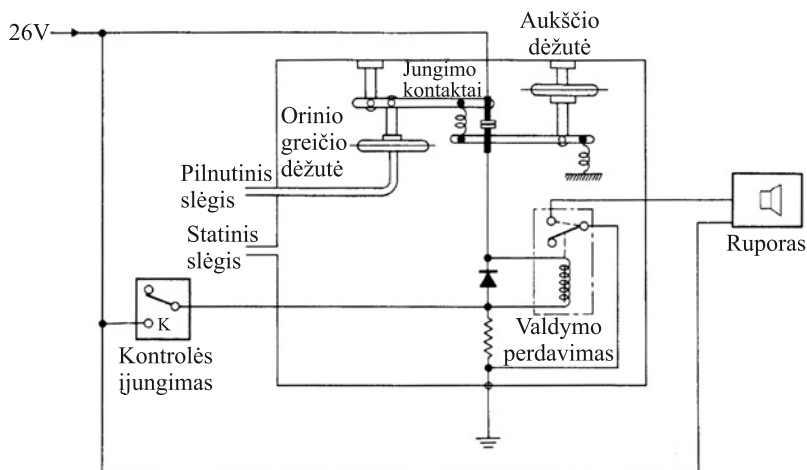
Palyginus (3.48) ir (3.52) priklausomybes akivaizdu, jog tam, kad skaičiaus M indikatorius veiktų pagal 3.60 pav. pateiktas schemas, reikia: pakeisti aneroidinės dėžutės jautrumo charakteristiką, kad ji taptų proporcinga ne dydžiui $p^{0,4}$, o dydžiui $p^{0,5}$.

Skaičiaus M indikatoriaus su signalizacija kinetinė schema pateikta 3.64 pav.



3.64 pav. Skaičiaus M indikatoriaus su signalizacija kinetinė schema

Indikatorius skirtas vizualiai nustatyti skaičių M nuo $0,5 M$ iki $1,0 M$. Be to, prietaisas generuoja elektrinį signalą, kai iki 18 km aukštyje skaičius M pasiekia nustatytą ribą (3.65 pav.).

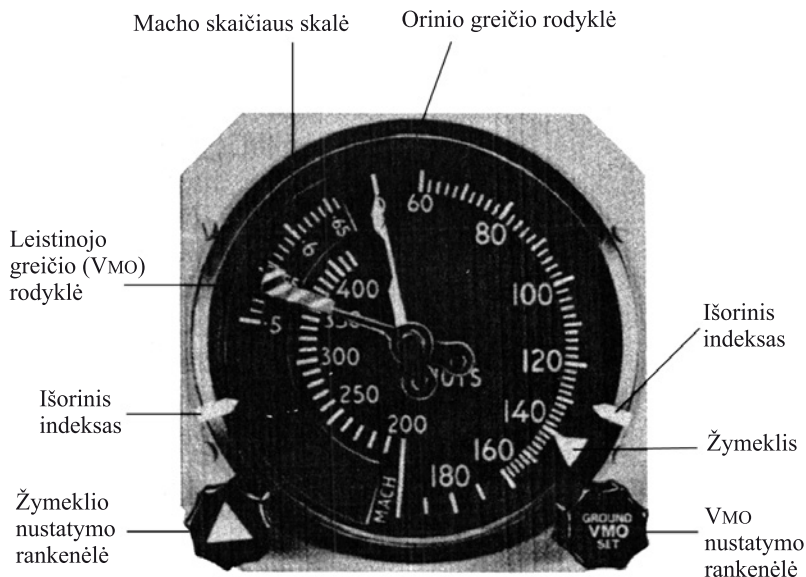


3.65 pav. Machometro signalizacijos schema

Bimetalinė apkaba 16 kompensuoja temperatūros pokyčių sukeliamas matavimo paklaidas. Apkabos išlinkimas perduodamas aneroidinės dėžutės standžiajam centrui 18 dviem adatomis 17. Tam tikras skaičiaus M ribinis dydis, kuriam esant signalinis įtaisas sujungia elektrinę grandinę ir generuoja įspėjamąjį signalą, nustatomas reguliuojant prietaisą signaline rodykle 32.

Dažnai machometrai ir tikrojo orinio greičio matavimo prietaisai naudojami kartu. Tokie greičio matuokliai rodyklėmis rodo tikrąjį orinį greitį bei didžiausią leistinąją jo reikšmę V_{MO} apvalioje skalėje (maždaug nuo 110 iki 900 km/val. keleiviniuose orlaviuose) ir atskiroje skalėje kita rodykle Macho skaičių (nuo 0,400 iki 0,999) bei pasirinktąjį TOG greitį indeksu (3.66 pav.).

Tikrojo orinio greičio matavimo prietaisuose, kai temperatūra vertinama netiesiogiai, **metodinė paklaida** atsiranda dėl realių ir standartinių sąlygų neatitikimo. Tokia paklaida kompensuojama, matuojant temperatūrą T skrydžio aukštyje. TOG ir skaičiaus M matuoklių vadinamosios prietaiso paklaidos ir aukštimačių paklaidos analogiškos. Iš dalies jos kompensuojamos priešingai jungiant aerodinamines dėžutes.



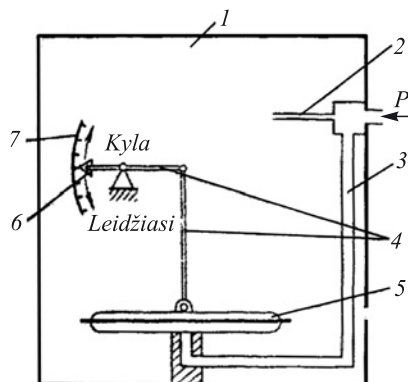
3.66 pav. Machometro ir tikrojo orinio greičio indikatorius

3.7. Vertikalojo greičio indikatorius

Vertikalojo greičio V_v matavimo metodai:

- tikrojo orinio greičio $\vec{V}$ vertikalojo dėmens matavimas;
- aukščio jutiklio signalo diferencijavimas;
- pneumomechaninio, nuo skrydžio aukščio priklausančio, statinio slėgio diferencijavimas.

Statinio slėgio P pneumomechaninio diferencijavimo metodas taikomas naudojant variometrą. Jis pagrįstas tuo, kad matuojamas statinio atmosferos slėgio ir slėgio prietaiso korpusė I , besisiekiančiame su atmosfera per kapiliarą 2 , skirtumas g_k (3.67 pav.).



3.67 pav. Variometro veikimo principas:

1 – korpusas; 2 – kapiliaras; 3 – pneumolaidis; 4 – PDM; 5 – manometrinė dėžutė; 6 – rodyklė; 7 – skalė

Kai skrydis *horizontalusis*, šis skirtumas lygus nuliui. Kintant aukščiui, slėgis P pneumolaide 3 ir aneroidinės dėžutės 5 viduje keičiasi iš karto, o korpuse 1 dėl oro srauto pasipriešinimo kapiliare slėgis P_k nusistovi pavėluotai. Kai vertikalusis greitis pastovus, $V_v = \text{const}$, kiekvieną jo reikšmę atitinka slėgių skirtumas $g_k = P - P_k$. Į slėgio skirtumą reaguojančio manometro JE 5 deformacijos veikia rodyklę 6 – pasuka ją skalės 7 atžvilgiu.

Išvedant variometro *gradavimo* formulę oro srautas kapiliare laikomas laminariniu. Slėgio kitimo greitis išreiškiamas taip:

$$\frac{dP_k}{dt} = \frac{\pi d_{kap}^4}{128 V_k l_{kap} \eta_0} \frac{T_k}{T_{kap}} P_{kap} (P - P_k), \quad (3.53)$$

čia P_k , T_k ir v_k – slėgis, oro temperatūra ir vidinis prietaiso korpuso tūris; d_{kap} , l_{kap} , P_{kap} ir T_{kap} – kapiliaro skersmuo, ilgis, slėgis ir oro temperatūra jame; η_0 – oro klampumas.

(3.53) išraiška galima tokia:

$$\tau_v \frac{dP_k}{dt} + P_k = P, \quad (3.54)$$

čia $\tau_v = \frac{128 V_k l_{kap} \eta_0 T_{kap}}{\pi d_{kap}^4 P_{kap} T_k}$ – aukščio gradientas (minėtas anksčiau).

Įvertinus žinomą barometrinę slėgio kitimo priklausomybę standartinėje atmosferoje $\frac{dp}{p} = -\frac{g_0}{R_s T} dH$ (3.54), lygtį galima transformuoti:

$$\tau_v \frac{dg_k}{dt} + g_k = -S_v V_v, \quad (3.55)$$

čia $S_v = \frac{\tau_v p}{RT}$ – prietaiso jautrumas; $V_v = dH/dt$; R – molinė dujų pastovioji.

Iš (3.55) lygties gauname variometro perdavimo funkciją kaip rodmenų priklausomybę nuo slėgio:

$$W(p) = -\frac{S_v}{\tau_v p + 1}. \quad (3.56)$$

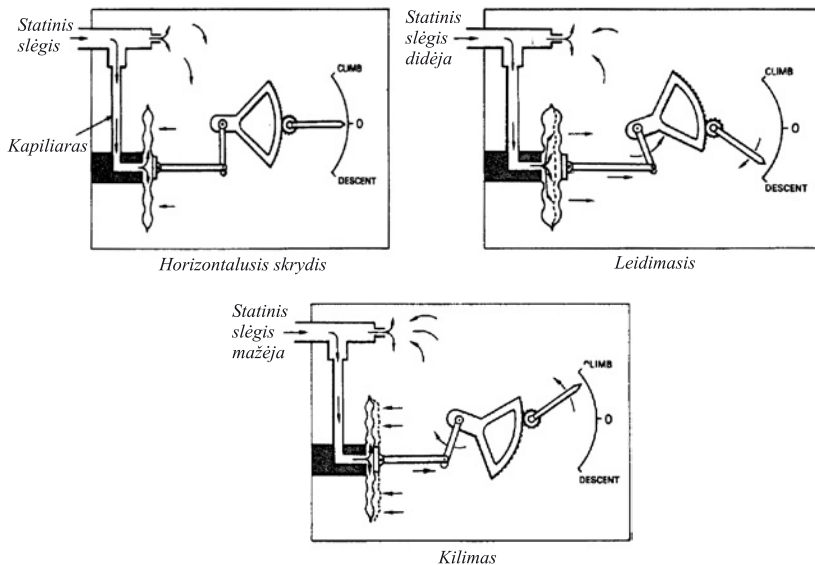
Nusistovėjus slėgio kitimui variometre $V_v = \text{const}$, todėl $g_k = -S_v V_v$. Tarę, kad $P_{kap} \approx p$, ir įvertinę τ_v – pagal (3.54) priklausomybę, gauname variometro **gradavimo** formulę:

$$g_k = -128 \frac{\eta_0 l_{kap} V_k T_{kap}}{\pi d_{kap}^4 R T_k t} V_v. \quad (3.57)$$

Minuso ženklas rodo, kad esant $V_v > 0$ slėgių skirtumas yra $g_k < 0$. Graduojant prietaisą imama, kad $T_{kap} = T_k = T = T_0$ – standartinės atmosferos temperatūra.

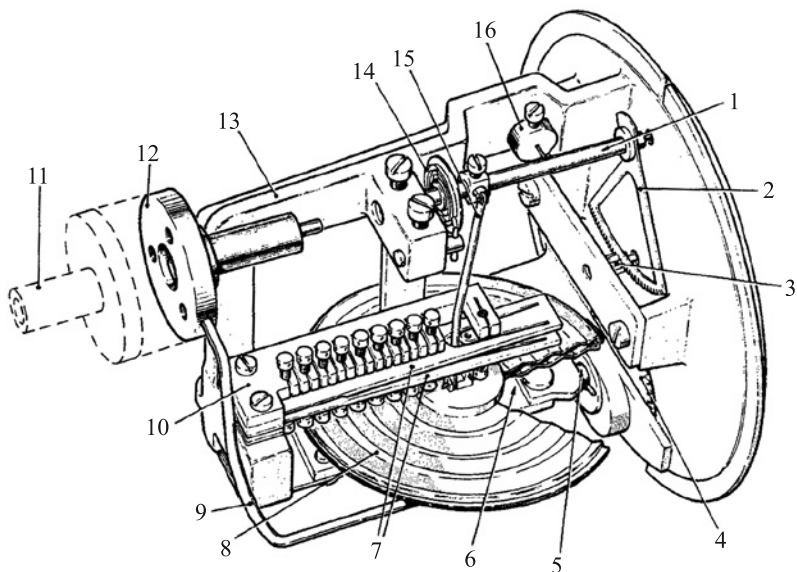
Jei variometro JE poslinkio priklausomybė matuojamojo slėgių skirtumo g_k atžvilgiu yra tiesinė ir PDM perdavimo santykis pastovus, turime variometrą su **tolygia** rodmenų skale (3.68 pav.).

Tokio tipo variometrai skirti nedideliems vetikalaus greičio V_v matavimo diapazonams (pavyzdžiui, $V_v = \pm 10$ m/s). Didesniems vertikaliojo greičio V_v kitimams matuoti prietaiso jautrumas (rodyklės polinkio kampas, kintant greičiui 1 m/s) turi būti sumažintas. Tačiau kad orlaivį būtų patogų pilotuoti, atliekant horizontalųjį skrydį, netikslinga mažinti prietaiso jautrumą ties nuline reikšme, nes pagal rodyklės nuokrypius nuo šios reikšmės nustatomi horizontaliojo skrydžio nesklandumai.



3.68 pav. Vertikalojo greičio indikatoriaus su tolygiąja skale veikimo principas

Todėl naudojami prietaisai su **netolygiąja** skale, kurios padalos mažėja simetriškai nuo skalės pradžios jos galų link. Netolygi skalė gaunama naudojant prietaiso PDM kulisinį mechanizmą, keičiantį PDM perdavimo santykį. 3.69 pav. pateiktoje variometro schemeje kulisinis mechanizmas 15 (pavadelis su smeige ir kulise) yra tarp rodyklės 11 ir tribo 2. Kai skrydis horizontalus, pavadelio smeigė yra vidurinėje kulisės dalyje. Orlaiviui kylant (leidžiantis), smeigė slysta išilgai kulisės, ir atstumas tarp rodyklės ašies ir smeigės keičiasi. Todėl tolygiai mažėja PDM perdavimo santykis ir padalos dydis. Ekscentrikas 5 skirtas rodyklei nustatyti ties skalės nuliu. 3.69 pav. pateikta kinetinė prietaiso schema būdinga variometrams, kurių greičio matavimo diapazonai – $V_v = \pm 30$ m/s, arba – $V_v = \pm 75$ m/s.

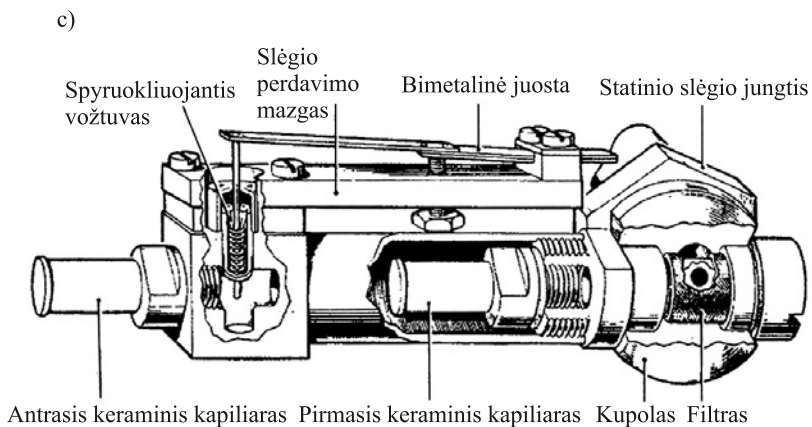
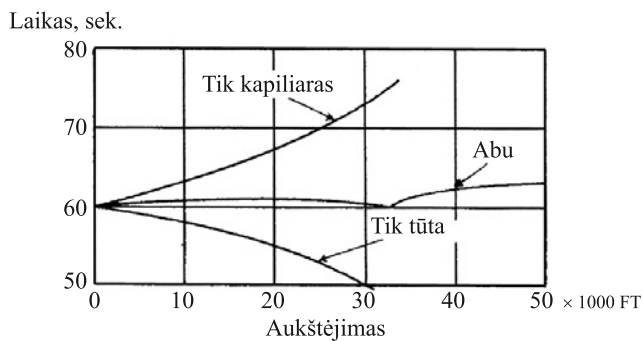
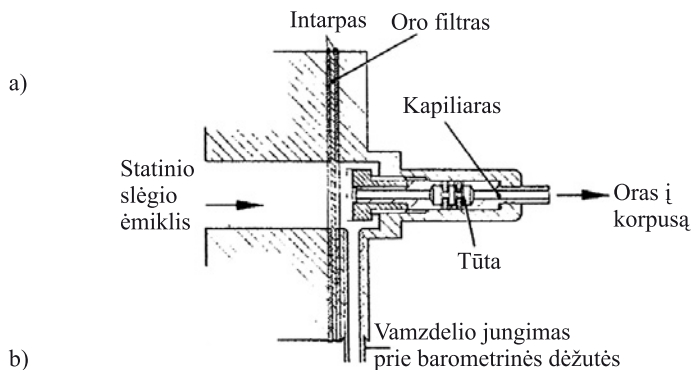


3.69 pav. Variometro su kulisiniu rodyklės ir tribo junginiu mechanizmas:

- 1 – rodyklės ašies pavaros mazgas; 2 – sektorius; 3 – velenas su tribu;
- 4 – krumpliaratis; 5 – ekscentriko pavaros mazgas; 6 – aneroidinės dėžutės tvirtinimo mazgas; 7 – kalibravimo spyruoklės; 8 – aneroidinė dėžutė;
- 9 – kapiliaro vamzdelis; 10 – kalibravimo blokas; 11 – statinio slėgio jungtis;
- 12 – orinio slėgio jutiklio mazgas; 13 – korpuso dalis; 14 – balansavimo spyruolė; 15 – kulisinis mechanizmas; 16 – balansavimo pasvaras

Didelio matavimo diapazono, pavyzdžiui, $V_v = \pm 300$ m/s, vario-
metruose skalė susideda iš kelių dalių: tolygiosios (greičių diapazono
 ± 30 m/s) ir tolygiai mažėjančios (kitos diapazono dalies).

Variometro oro slėgio jutiklių konstrukcijų variantai pateikti
3.70 pav. Čia parodyti du statinio slėgio tiekimo į matavimo ele-
mentą būdai: naudojant kapiliaro ir tūtos sistemą bei keramikinį jos
analogą.



3.70 pav. Variometro orinio slėgio jutiklių konstrukcijos: a – kapiliaro ir tūtos mechanizmas; b – kapiliaro ir tūtos slėgio tiekimo charakteristikos; c – keraminis statinio slėgio tiekimo mazgas

Metodinėms greičio V_v matavimo prietaisų paklaidoms priskiriamos temperatūrinės paklaidos atsiranda dėl atmosferos temperatūrų T_{kap} , T_k ir T skirtumų bei temperatūros T_k nepastovumo prietaiso korpuse, esančiame nehermetinėje orlaivio kabinoje. Prie metodinių paklaidų taip pat skiriamos slėgio kitimo korpuso viduje vėlavimo paklaidos.

Absoliučioji temperatūrinė paklaida Δg_k dėl temperatūrų T_{kap} , T_k ir T skirtumo išreiškiama:

$$\Delta g_k = g_k' \left[\frac{T_{kap}^2}{T_k T} - 1 \right], \quad (3.58)$$

čia g_k' – matuojamojo slėgio skirtumo gradacinė reikšmė.

Ši paklaida nyksta mažėjant greičiui V_v kai skrydis horizontalus, $\Delta g_k = 0$. Paklaida gali būti sumažinta, naudojant temperatūrinius kompensatorius, keičiančius PDM perdavimo santykį arba kapiliaro charakteristikas.

Paklaida dėl temperatūros T_k nepastovumo aiškinama tuo, kad kintant temperatūrai T_k oras, įtekėdamas arba ištekdamas pro kapiliarą, mažina slėgį. Tikrinant prietaisus įvedama temperatūrinio oro klampumo koeficiento pokyčio pataisa.

Paklaida dėl slėgio kitimo vėlavimo korpuso viduje aiškinama tuo, kad variometras esti kaip aperiodinė grandis, kurios laiko pastovioji τ_v nustatoma pagal (3.54) formulę. Sumažinti τ_v galima didinant parametą d_{kap} ir mažinant parametrus l_{kap} , v_k . Tai daro įtaką matavimų jautrumui, nes pagal (3.57) išraišką g_k darbo riba tokiu atveju mažėja. Todėl kiek įmanoma didinamas slėgmačio membraninės dėžutės jautrumas.

Variometrų vadinamosios **prietaiso** paklaidos analogiškos aukščiamųjų paklaidoms.

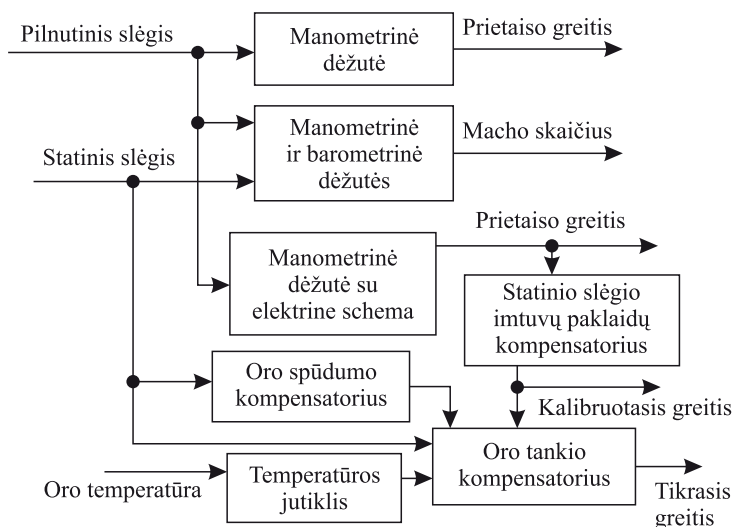
3.8. Oro duomenų kompiuteris

Orlaivio aerometriniai prietaisai, naudojami greičiui ir aukščiui nustatyti realiojo laiko masteliu, neišvengia matavimų metodinių paklaidų, kurias lemia pats matavimo būdas, pagrįstas standartinės atmosferos modelio panaudojimu. Šis modelis tik apytikriai atspindi

minėtiesiems matavimams naudojamus realiosios atmosferos parametrus. Reikia skirti metodines matavimo paklaidas, atsirandančias dėl atmosferos parametrų neatitikimo standartui, bei paklaidas dėl pasikeitusio vietos reljefo ir oro sąlygų skrydžio metu. Paklaidos dėl atmosferos parametrų neatitikimo standartui gali būti dalijamos į paklaidas dėl slėgio pokyčių prie Žemės paviršiaus ir dėl temperatūros pokyčių standartinio temperatūros pasiskirstymo pagal aukštį.

Matuojant orlaivio prietaiso orinį greitį pagal dinaminio slėgio dydį, tariama, kad pasipriešinančiojo orlaiviui oro tankis yra pastovus ir lygus tankiui ρ_0 normaliomis standartinėmis sąlygomis, nors aišku, kad skirtinguose skrydžio aukščiuose, matuojant šį greitį, oro tankis kinta. Norint išvengti arba bent sumažinti esamas oro duomenų prietaisų paklaidas, taikomos matavimų korekcijos, įvedant į matavimo kanalus statinio slėgio, temperatūros, oro tankio ir kitas atitinkamas pataisas, naudojant tam skaitmenines signalų apdorojimo priemones.

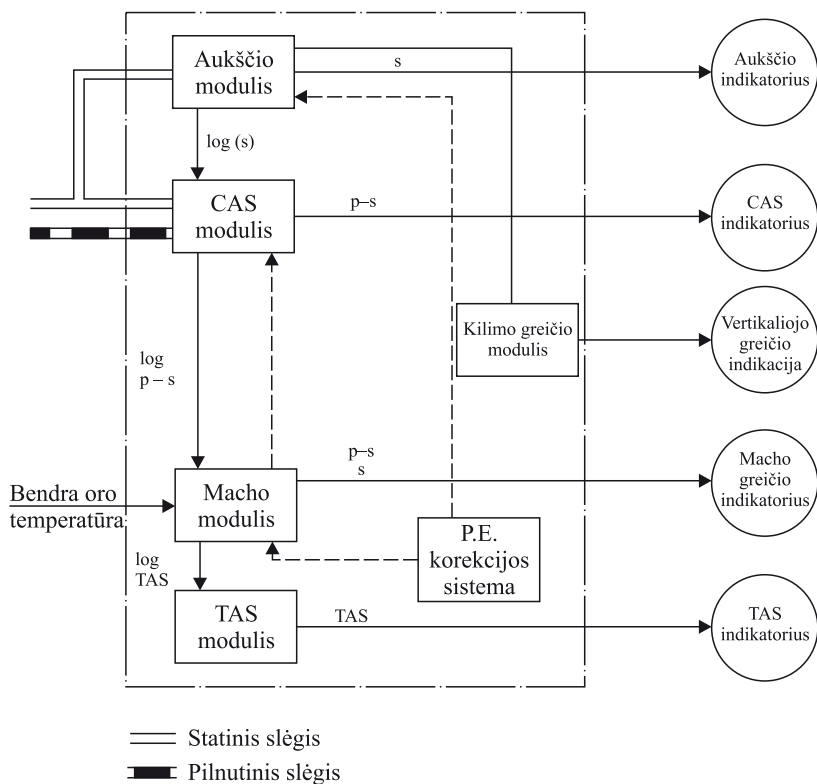
Tai atliekama bortiniu oro duomenų kompiuteriu pagal 3.71 pav. pateiktą algoritmą, siekiant eliminuoti aerometrinių prietaisų metodines paklaidas ir pasiekti tikslesnių matavimo rezultatų.



3.71 pav. Oro duomenų parametrų matavimu algoritmo blokinė schema

Apibendrinta oro duomenų kompiuterio struktūra pateikta 3.72 pav. Struktūrą sudaro:

- aukščio modulis;
- prietaiso orinio greičio (IAS) modulis;
- aukščio kitimo greičio modulis;
- Macho skaičiaus modulis;
- tikrojo orinio greičio (TAS) modulis;
- kalibruotojo orinio greičio (CAS) modulis;
- korekcijų modulis;



3.72 pav. Oro duomenų kompiuterio apibendrinta struktūrinė schema

Visi moduliai per duomenų perdavimo magistralę jungiasi tarpusavyje bei su matavimų vaizdavimo (indikatorių) moduliu ir su korekcijos formavimo moduliais. Sistemą ir duomenų srautus valdo centrinis procesorius, prijungtas prie modulių per duomenų magistralę.

Aukščio modulis skirtas orlaivio aukščiui nustatyti, įvertinant temperatūros ir slėgio pokyčių pataisas dėl reljefo ir realiosios atmosferos įtakos, pagal gaunamą informaciją iš korekcijų formavimo modulio. Šis modulis sujungtas su orlaivio statinio slėgio linija P_{st} ir jungia statinio slėgio keitiklius į elektrinį signalą, keitiklį analogas-kodas ir duomenų registrus, valdomus per duomenų magistralę iš centrinio procesoriaus. Be to, per duomenų magistralę, aukščio modulis sujungtas su indikatorinio greičio moduliu ir aukščio kitimo greičio moduliu bei procesoriumi.

Prietaiso greičio modulis skirtas indikatorinio orlaivio greičiui (IAS) nustatyti, įvertinant matavimų pataisas. Modulis sujungtas su orlaivio statinio P_{st} ir pilnutinio P_p slėgio linijomis, turi atitinkamus slėgio keitiklius į elektrinį signalą, keitiklius analogas-kodas ir duomenų kaupimo registrus. Be to, modulis per duomenų magistralę sujungtas su Macho skaičiaus nustatymo moduliu ir procesoriumi.

Macho skaičiaus nustatymo modulis skirtas Macho skaičiaus reikšmei nustatyti. Jis sujungtas su orlaivio sustabdyto oro temperatūros matavimo įtaisu. Be to, šis modulis per duomenų perdavimo magistralę sujungtas su prietaiso greičio, tikrojo orinio greičio ir duomenų korekcijos moduliais bei procesoriumi.

Aukščio kitimo greičio modulis skirtas orlaivio vertikalaliajam greičiui apskaičiuoti pagal iš aukščio nustatyto modulio gautus patikslintus duomenis. Per duomenų magistralę modulis sujungtas su procesoriumi, aukščio moduliu ir indikacijos moduliais.

Tikrojo orinio greičio modulio paskirtis – pagal iš kitų blokų gautus patikslintus duomenis nustatyti tikrąjį orinį orlaivio greitį. Todėl jis sujungtas su duomenų magistrale ir indikacijos bloku.

Centrinis procesorius skirtas visai sistemai valdyti, perduodamiems duomenims tarp modulių sinchronizuoti, metodinių matavimų paklaidų pataisoms apskaičiuoti pagal iš žinomų korekcinių priklaus-

somybių gaunamus specializuotos programinės įrangos algoritmus. Sistema sudaro sąlygas įvesti į matavimų kanalus reikiamas korekcijas koeficientų arba matematinių priklausomybių pavidalu, lanksčiai keisti jos konfigūraciją: matavimų ir paklaidų korekcijų modulių skaičių bei programinę valdymo įrangą.

Oro duomenų kompiuteris per skaitmenines ir analogines duomenų perdavimo magistrales siunčia pirminius oro duomenų parametrus ir atliekamų matavimų rezultatus kitoms orlaivio sistemoms.

Literatūra

- Moir, I., Seabridge, A. *Civil avionics systems*. John Wiley and Sons Ltd. 2006, 516 p.
- Pallett, E. H. J. *Aircraft instruments and integrated systems*. England: Longman Group Limited, 1992. 440 p.
- Pileckas, E. Aviaciniai prietaisai. *Laboratoriniai darbai*. Vilnius: Technika 2003. 36 p.
- Pileckas, E. Aviaciniai prietaisai. *Mokomoji knyga*. Vilnius: Technika, 2004. 243 p.
- Pileckas, E. Aviaciniai skrydžio valdymo prietaisai ir sistemos. *Mokomoji knyga*. Vilnius: Technika, 2011. 364 p.
- Spitrer, C. R. *The avionics hand book*. NewYork, Washington D. C, : Boca Ramion, 2001, 700 p.